

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การแยกส่วนไขมันไก่ด้วยอุณหภูมิต่ำ

(Dry Fractionation of Chicken Fat)



จัดทำโดย

รศ.ดร. วรรณมา ตังเจริญชัย

นางสาว ศลิษา แสงทอง

RCH
TP
676
๑๘๖๗๖

เลขามู.....
เลขทะเบียน 73052
วัน,เดือน,ปี 27 ส.ย. 2550

11๙๖๙๔๘๙
b.....
i.....

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่ คือ อุณหภูมิตกผลึกที่ 25°C , 15°C และ 10°C อัตราการกวน 10 rpm และ 30 rpm ต่อคุณสมบัติของไขมัน (Iodine Value, Saponification Number, Fatty Acid Composition, Triglyceride Profile, ปริมาณกรดไขมันอิสระ, จุดหลอมเหลว และ พฤติกรรมการหลอมเหลว) ที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียวและแบบหลายขั้น การแยกส่วนแบบขั้นเดียวที่แต่ละอุณหภูมิสามารถแยกส่วนไขมันเป็น 2 กลุ่ม คือไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (ไขมันแข็ง) และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวดำ (ไขมันเหลว) อัตราการกวนมีผลต่อลักษณะของผลึกและปริมาณไขมันแข็งที่แยกได้ โดยการตกผลึกด้วยอุณหภูมิ 25°C 10 rpm ให้ปริมาณไขมันแข็งต่ำสุด $19.50 \pm 1.19\%$ ในขณะที่อุณหภูมิ 10°C 30 rpm ให้ปริมาณไขมันแข็งสูงสุด $61.25 \pm 5.22\%$ แต่ผลึกมีขนาดเล็กและเกิดการคูดซับน้ำมันไว้ระหว่างผลึกไขมัน (oil entrapment) กระบวนการแยกส่วนแบบหลายขั้นที่ทำการตกผลึกซ้ำโดยอุณหภูมิลดลงจาก 25°C 15°C จนถึง 10°C ด้วยอัตราการกวน 10 rpm และ 30 rpm ให้ไขมันทั้งหมด 6 ส่วน แบ่งตามจุดหลอมเหลวได้ 3 กลุ่ม คือไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (ไขมันแข็งที่ 25°C และ 15°C) ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวปานกลาง (ไขมันแข็งที่ 10°C) และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวดำ (ไขมันเหลวจากทุกอุณหภูมิ) อัตราการกวนไม่มีผลต่อปริมาณผลึกที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายขั้น แต่มีผลต่อขนาดผลึกโดยอัตราการกวนที่เพิ่มขึ้น (30 rpm) ผลึกไขมันมีขนาดลดลงและเมื่อทำการแยกส่วนซ้ำผลึกจะมีขนาดลดลง อุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันที่แยกได้จากวิธีการแยกส่วนทั้งสองวิธี โดยทั้งไขมันแข็งและไขมันเหลวมีค่า Iodine Value เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิตกผลึกลดลงเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิตกผลึกที่ลดลงส่งผลให้ไขมันเหลวที่แยกได้มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ชนิดจุดหลอมเหลวดำเพิ่มขึ้นทำให้มีจุดหลอมเหลวลดลง อุณหภูมิการตกผลึกที่ 25°C สามารถตกผลึกไตรกลีเซอไรด์ชนิดจุดหลอมเหลวสูงได้มากที่สุดทำให้ได้ไขมันแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูง พฤติกรรมการหลอมเหลวของไขมันสามารถนำมาเป็นแนวทางในการเลือกส่วนของไขมันไปใช้ประโยชน์ กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้มีคุณภาพที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Investigations were carried on effects of crystallization temperatures at 25, 15 and 10°C with agitation rates of 30 and 10 rpm on physical and chemical properties (Iodine Value, Saponification Number, Free Fatty Acid, Fatty Acid Composition, Triglyceride Profile, Melting Point and Melting Behavior) of chicken fat fraction obtained from single-step dry fractionation and multiple-step dry fractionation. Single fractionation at each temperature resulted in a high melting fraction (HMF) and a low melting fraction (LMF). The maximum yield of the solid fat crystallized at 10°C, 30 rpm was 61.25±5.22%. The minimum yield of the solid fat crystallized at 25°C, 10 rpm was 19.50±1.19% with some oil entrapment. Agitation rates effected yield and crystal size of the solid fat. Multiple-step fractionations were made at temperatures of 25°C 15°C to 10°C with agitation rates of 10 and 30 rpm. Three group of high melting fraction (solid fat at 25°C, 15°C) middle melting fraction (solid fat at 10°C) and low melting fraction (liquid fat) were obtained. Agitation rates effected crystal size, the crystal size decreased with an increase in agitation rate. Crystallization temperatures influenced both chemical and physical properties of fat fractions. Iodine Value of solid and liquid fat increased with a decrease in crystallization temperature, this was due to an increase in the amount of unsaturated fatty acids. Decreasing in crystallization temperature effected a higher yield of low melting triglyceride. Melting behavior of chicken fat fractions suggested more specific utilization of fractions in food products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 บทตรวจเอกสาร.....	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	17
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	54
บรรณานุกรม.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คุณสมบัติของไขมันไก่.....	17
4.2 ปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว.....	21
4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว.....	24
4.4 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันไก่และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว (% fatty acid composition).....	32
4.5 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว	35
4.6 ปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น.....	40
4.7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น.....	43
4.8 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันไก่และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น (% fatty acid composition).....	48
4.9 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการแยกส่วนไขมัน.....	6
3.1 การแยกส่วนแบบขั้นเดียว (single-step fractionation).....	15
3.2 การแยกส่วนแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation).....	16
4.1 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 25°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน....	18
4.2 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 15°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน....	18
4.3 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 10°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน....	19
4.4 วิธีการแยกส่วนแบบขั้นเดียว (single-step fractionation).....	20
4.5 ปริมาณไขมันจากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว.....	21
4.6 ลักษณะไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว.....	22
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Iodine value กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	25
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลว กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	25
4.9 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว.....	27
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saponification number กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วน แบบขั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ.....	28
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Free fatty acid กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบ ขั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ.....	28
4.12 กรดไขมันหลักของไขมันไก่และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวด้วย อัตราการกวน 10 rpm.....	33
4.13 กรดไขมันหลักของไขมันไก่และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวด้วย อัตราการกวน 30 rpm.....	34
4.14 ไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และส่วนของไขมันไก่ จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวด้วยอัตราการกวน 10 rpm.....	36
4.15 ไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และส่วนของไขมันไก่ จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวด้วยอัตราการกวน 30 rpm.....	37
4.16 วิธีการแยกส่วนแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation).....	38
4.17 ลักษณะไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายขั้น.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น.....	40
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Iodine value กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลว กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.21 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น.....	44
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saponification number กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วน แบบหลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Free fatty acid กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบ หลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
4.24 กรดไขมันหลักใน ไขมันไก่และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วย อัตราการกวน 10 rpm.....	49
4.25 กรดไขมันหลักของ ไขมันไก่และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วย อัตราการกวน 30 rpm.....	50
4.26 ไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบใน ไขมันไก่และส่วนของไขมันไก่ จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วยอัตราการกวน 10 rpm	52
4.27 ไตรกลีเซอไรด์ (% peak area) ที่เป็นองค์ประกอบใน ไขมันไก่และส่วนของไขมันไก่ จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วยอัตราการกวน 30 rpm.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

$^{\circ}\text{C}$ หมายถึง องศาเซลเซียส

Ø หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

LLL	หมายถึง trilinoleate
LLLn	หมายถึง 1,2-dilinoleyl-3-linolenyl glycerol
M25LF	หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 25°C
M25SF	หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 25°C
M15LF	หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 15°C
M15SF	หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 15°C
M10LF	หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 10°C
M10SF	หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น ที่ 10°C
MUFA	หมายถึง monounsaturated fatty acid
OLL	หมายถึง 1,2-dilinoleyl-3-oleyl glycerol
OOL	หมายถึง 1,2-dioleyl-3-linoleyl glycerol
OOO	หมายถึง Trioleate
OOS	หมายถึง 1,2-dioleyl-3-steroyl glycerol
PLL	หมายถึง 1,2-linoleyl-3-pamitoyl glycerol
PLO	หมายถึง 1-palmitoyl-2-linoleyl-3-oleyl glycerol
POO	หมายถึง 1,2-dioleyl-3-palmitoyl glycerol
PPL	หมายถึง 1,2-dipalmitoyl-3-linoleyl glycerol
PPO	หมายถึง 1,2-dipalmitoyl-3-oleyl glycerol
PPP	หมายถึง tripamitate
PPS	หมายถึง 1,2-dipalmitoyl-3-steroyl glycerol
PSO	หมายถึง 1-pamitoyl-2-steroyl-3-oleyl glycerol
PUFA	หมายถึง polyunsaturated fatty acid
rpm (round per minute)	หมายถึง รอบต่อนาที
S25LF	หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 25°C
S25SF	หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 25°C
S15LF	หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 15°C
S15SF	หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 15°C

เอกสารนี้ได้รับลิขสิทธิ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากคุณทหารลาดกระบัง
S15SF หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 15°C นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

- S10LF หมายถึง ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 10 °C
S10SF หมายถึง ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ที่ 10 °C
SAF หมายถึง saturated fatty acid
SSS-TAG หมายถึง trisaturated triglyceride
USFA หมายถึง unsaturated fatty acid
USS-TAG หมายถึง monounsaturated-disaturated triglyceride
UUS-TAG หมายถึง diunsaturated-monosaturated triglyceride
UUU-TAG หมายถึง triunsaturated triglyceride



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเนื้อไก่ที่สำคัญแหล่งหนึ่งของโลก มีกำลังการผลิตในปี 2545 ประมาณ 1.29 ล้านตัน แบ่งเป็นสัดส่วนการบริโภคในประเทศ 64% และการส่งออก 36% (กระทรวงพาณิชย์, 2545; กรมปศุสัตว์, 2544) และมีผลให้อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่และไก่สดแช่แข็งมีแนวโน้มของการผลิตและส่งออกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไขมันไก่ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการชำแหละมีปริมาณมากขึ้นด้วย จากการชำแหละไก่สดมีปริมาณของไขมันไก่ซึ่งอยู่ร่วมกับเครื่องในไก่คิดรวมกันเป็นปริมาณ 7% (ธานี และ วิภาวรรณ, 2539) ปัจจุบันการนำไขมันไก่ไปใช้ประโยชน์ยังมีอยู่อย่างจำกัด ส่วนใหญ่มักนำไปเจียวเป็นน้ำมันบริโภคในระดับครัวเรือนหรือใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไส้กรอกและจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์จึงมีราคาต่ำ เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการแล้วไขมันสัตว์มีกรดไขมันอิ่มตัวคาร์บอนอะตอม 16-18 เป็นองค์ประกอบสูงกว่าไขมันพืชจึงเป็นสาเหตุของโรคเกี่ยวกับเส้นเลือด และหัวใจทำให้เป็นข้อจำกัดของการบริโภคไขมันสัตว์ (O'Donnell, 1993) แต่ไขมันไก่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายสูงกว่าไขมันสัตว์ชนิดอื่น คือมีปริมาณกรดไขมันโอเลอิก 38.9-40.5% กรดไขมันลิโนเลอิก 18.4-19.1% และมีกรดไขมันอิ่มตัวพามิติกเพียง 25.9% อีกทั้งยังมีปริมาณโคเลสเตอรอล 11% ซึ่งน้อยกว่าไขมันสัตว์ชนิดอื่น ไขมันไก่มีข้อได้เปรียบในด้านโภชนาการมากกว่าไขมันชนิดอื่นเนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid; MUFA) ประมาณ 45-50% ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีผลช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลที่ไม่ดี (Low density lipoprotein cholesterol; LDL-C) ที่เป็นสาเหตุของโรคไขมันอุดตันในผนังหลอดเลือด และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวนี้ยังมีผลช่วยเพิ่มหรือรักษาระดับโคเลสเตอรอลที่ดี (High density lipoprotein cholesterol; HDL-C) ที่ทำหน้าที่พาโคเลสเตอรอลจากเซลล์และกระแสเลือดไปเผาผลาญ จึงช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจโรคหลอดเลือดได้ (นัยนา และ เรวดี, 2545; Lee and Foglia, 2000c; Foglia *et al.*, 2002) ทำให้มีความน่าสนใจในการนำไขมันไก่มาปรับปรุงคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าทั้งทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์จากไขมันไก่

ไขมันและน้ำมันมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรกลีเซอไรด์แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันโดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลว ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ การปรับปรุงคุณสมบัติของไขมันให้ได้ตามต้องการมีอยู่หลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ วิธีทางเคมี เช่นการใช้ปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) หรือปฏิกิริยาอินเตอร์เอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอริฟิเคชันด้วยเอนไซม์ (enzymatic interesterification) ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการสูญเสียกลิ่นรสที่ดีของไขมัน และมีปัญหาของสารเคมีตกค้าง วิธีทางชีวภาพ ได้แก่ การควบคุมอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์เพื่อให้ผลิตไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลาค่อนข้างนาน (Kaylegian and Lindsay, 1994; Palmquist *et al.*, 1993) ส่วนวิธีทางกายภาพโดยการแยกส่วน (Fractionation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดหลอมเหลว และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันและไขมัน ทำให้น้ำมันหรือไขมันที่ผ่านการแยกส่วนมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติทางกายภาพให้กับไขมัน โดยผลิตภัณฑ์หลักในการแยกส่วนคือ โอลีนในส่วนไขมันเหลว (liquid fat fraction) และ สเตียริน ในส่วนไขมันแข็ง (solid fat fraction) (Rajah and Moran, 1994; Hamm, 1995)

สามารถจำแนกกรรมวิธีการแยกส่วนของไขมันได้ 3 วิธี คือ (1.) การตกผลึกไขมันด้วยอุณหภูมิต่ำ (Dry Fractionation) (Grall and Hartel, 1992; Hamm, 1995) (2.) การแยกส่วนด้วยสารลดแรงตึงผิว (Detergent Fractionation) (Bussey *et al.*, 1981; Defouw *et al.*, 1981; Hamm, 1995) (3.) การแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (Solvent Fractionation) (Amer *et al.*, 1985; Rajah and Moran, 1994; Hamm, 1995; Foglia *et al.*, 2002; Ünsal and Nesimi, 2003) โดยทั้ง 3 วิธีใช้หลักการตกผลึกแยกไตรกลีเซอไรด์ด้วยความแตกต่างของจุดหลอมเหลว แต่วิธีการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำอาศัยการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันเพียงอย่างเดียวในการตกผลึกเป็นวิธีที่ง่ายและปลอดภัยใช้ต้นทุนต่ำ ไม่มีผลกระทบจากการใช้สารเคมี มีรายงานวิจัยในต่างประเทศที่ผ่านมาเกี่ยวกับการแยกส่วนไขมันทั้งจากน้ำมันพืชและสัตว์ เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของไขมันหรือน้ำมันให้มีลักษณะเหมาะสมกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น O'Shea *et al.* (2000) เพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลิโนเลอิก ในไขมันนมวัวด้วยวิธีการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ไขมันนม ส่วน Fatouh *et al.* (2003) ศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมันนมกระป๋องที่อุณหภูมิ 15-40°C เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไขมันดังกล่าว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการปรับปรุงทั้งคุณสมบัติของไขมันได้ด้วยอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการของไขมันโดยรวมทั้งช่วยเพิ่มมูลค่าของไขมันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และ อัตราการกวน ต่อการแยกส่วนไขมันไก่ด้วยอุณหภูมิต่ำทั้งแบบขั้นเดียว (single-step fractionation) และแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation)
- 1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพแต่ละส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ เพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำส่วนของไขมันไก่ที่แยกส่วนได้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

บทตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีและรายายวิจัย

2.1.1 วิธีการและหลักการแยกส่วนไขมัน

การแยกส่วน (fractionation) เป็นวิธีที่นิยมในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันและไขมันมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Rajah and Moran, 1994) วัตถุประสงค์ในการแยกส่วนคือ 1) เพื่อแยกส่วน ไขมันจุดหลอมเหลวสูงที่มีปริมาณน้อยออกจากน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีความใสป้องกันการเกิดผลึกไขมันแข็งเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เรียกการแยกส่วนเพื่อวัตถุประสงค์นี้ว่า winterization 2) เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้กับน้ำมันเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ 3) ทำการแยกส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไปใช้ เช่น ผสมน้ำมันส่วนที่เป็นไขมันเหลวกับน้ำมันชนิดอื่นใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอด หรือทำการแยกส่วนไขมันเพื่อให้ได้ไขมันส่วนที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวแคบที่เหมาะสมใช้เป็นส่วนผสมในไขมันสำหรับเคลือบขนมหวาน หรือใช้ทดแทนไขมันช็อคโกแลต (Hamm, 1995)

การแยกส่วนไขมันและน้ำมันเป็นการตกผลึกน้ำมันออกเป็น ไขมันเหลวและไขมันแข็งโดยอาศัยความแตกต่างของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน คือ ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกออกมาก่อนซึ่งเป็นส่วนที่เรียกว่า สเตียริน และส่วนของไขมันเหลวที่เป็นส่วนที่เรียกว่า โอลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกส่วนสามารถแบ่งเป็นสองส่วนหรือมากกว่าสองส่วนขึ้นอยู่กับชนิดของกระบวนการแยกส่วน วิธีการแยกส่วน (Fractionation) โดยทั่วไปมี 3 วิธีคือ 1) การแยกส่วนโดยใช้อุณหภูมิต่ำในการตกผลึก (Dry Fractionation) 2) การแยกส่วนด้วยสารลดแรงตึงผิว (Detergent Fractionation) และ 3) การแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (Solvent Fractionation) โดยทั้ง 3 วิธีใช้หลักการในการตกผลึกการแยกไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันออกจากกัน (Kaylegian and Lindsay, 1994; Hamm, 1995)

การแยกส่วนโดยใช้อุณหภูมิต่ำในการตกผลึก (Dry Fractionation) อาศัยการลดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันเป็นวิธีที่สะดวกปลอดภัยแต่มีข้อจำกัดที่ผลึกที่เกิดขึ้นขนาดเล็ก ทำให้การแยกผลึกโดยการกรองทำได้ยาก (Grall and Hartel, 1992; Hamm, 1995) โดย O'Shea *et al.* (2000) ทำการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ลิโนเลอิก (conjugated linoleic acid) ในไขมันนมวัวด้วยวิธีการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ไขมันนม ส่วน Fatouh *et al.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

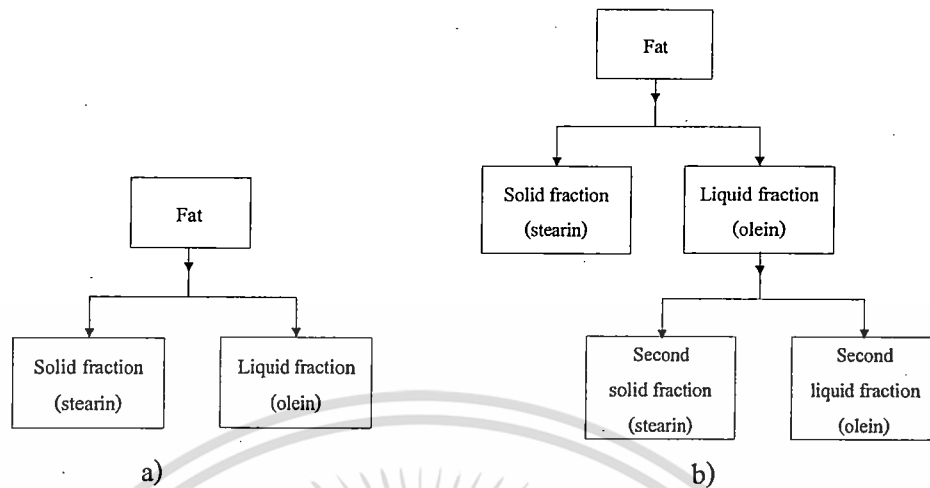
(2003) ศึกษาวิธีการแยกส่วนด้วยวิธีการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำกับไขมันนมจากกระป๋องที่อุณหภูมิ 15-40 °C

วิธีการแยกส่วนด้วยสารลดแรงตึงผิว (Detergent Fractionation) ใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant solution) หรือเกลืออินทรีย์ เช่น Na_2SO_4 ช่วยในการแยกไขมันแข็ง (solid fat) ออกจากไขมันเหลว (liquid fat) โดยส่วนของผลึกไขมันจากน้ำมันจะแยกอยู่ในส่วนของสารลดแรงตึงผิว ทำให้ง่ายในการแยกต่อไป วิธีนี้จึงให้ส่วนของผลึกมีความบริสุทธิ์กว่าวิธีอื่น แต่ก็มีปัญหาด้านสารเคมีตกค้าง (Hamm, 1995) Bussey *et al.* (1981) ได้ทำการปรับปรุงวิธีการใช้สารลดแรงตึงผิว (sodium dodecyl sulfate; SDS) ร่วมกับสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในการแยกส่วนไขมันวัว เปรียบเทียบกับวิธีของ Haraldsson 1974 ที่ทำการแยกส่วนไขมันวัวด้วยสารลดแรงตึงผิวอย่างเดียว พบว่าวิธีการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารอิเล็กโทรไลต์มีประสิทธิภาพในการแยกส่วนดีกว่า Defouw *et al.* (1981) ได้นำเอาส่วนของน้ำมันเหลว (liquid oil) จากการแยกส่วนไขมันวัวด้วยสารลดแรงตึงผิว (sodium dodecyl sulfate; SDS) มาพัฒนาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดมันฝรั่ง

วิธีการแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (Solvent Fractionation) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแยกส่วน เนื่องจากช่วยลดปัญหาการแยกส่วนไม่สมบูรณ์ที่มีสาเหตุมาจากการที่ผลึกไขมันดูดซับน้ำมัน (entrainment) แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะมีปัญหาด้านสารเคมีตกค้าง กลิ่นรสของไขมันเปลี่ยนแปลง ราคาในการดำเนินงานสูง (Amer *et al.*, 1985; Rajah and Moran, 1994; Hamm, 1995) ตัวทำละลายที่ใช้คือ อะซิโตน เอทานอล และเฮกเซน โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ อะซิโตน Ünsal and Nesimi (2003) ทำการแยกส่วนไขมันแกะโดยใช้อะซิโตนพร้อมกับศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพสามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในส่วนของไขมันเหลว Kaylegian and Lindsay (1992) พบว่า การแยกส่วนไขมันนมแบบหลายขั้น (multiple-stage fractionation) จะให้ไขมันนมส่วนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำในปริมาณมาก และส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงและปานกลางในปริมาณน้อย

การแยกส่วนขั้นเดียว (Single-step fractionation) เป็นกระบวนการแยกส่วนเพียงหนึ่งขั้นตอนที่ให้ผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ ส่วนไขมันแข็ง (solid fat fraction) และ ส่วนไขมันเหลว (liquid fat fraction) ณ หนึ่งอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.1a การแยกส่วนหลายขั้น (Multiple-step fractionation) มักเริ่มตกผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่าก่อนจากนั้นนำส่วนของไขมันเหลวที่ได้มาแยกส่วนซ้ำ (refractionation) ที่อุณหภูมิต่ำลงมา ดังรูปที่ 2.1b Roland and Riel (1966) ยกส่วนไขมันนมแบบหลายขั้นโดยนำส่วนของไขมันแข็งมาแยกส่วนซ้ำด้วยการตกผลึกไขมันแข็งดังกล่าวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไขมันแข็งที่แยกได้ในลำดับต่อมามีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการแยกส่วนไขมัน

a) การแยกแบบขั้นเดียว (Single-step fractionation)

b) การแยกแบบหลายขั้น (Multiple-step fractionation)

หลักการแยกส่วนไขมันสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การตกผลึก (crystallization) และ การแยกผลึก (separation)

การตกผลึก (Crystallization)

เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วย การก่อผลึก (nucleation) และการเจริญของผลึก (growth) เพื่อเปลี่ยนสถานะจากน้ำมันไปเป็นผลึกไขมัน โดยชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเป็นปัจจัยหลักที่บ่งบอกถึงช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวและการตกผลึกของไขมัน

การก่อผลึก (nucleation) เป็นขั้นตอนการก่อเกิดนิวเคลียสขนาดเล็กๆ ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมัน (supercooling) แล้วก่อตัวเป็นผลึก ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกออกมาก่อน โดยโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์นี้จะจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างตาข่าย (lattice structure) ซึ่งพันธะที่เชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลนั้นแสดงถึงลักษณะและโครงสร้างของผลึก (polymorphs) ถ้าเชื่อมต่อกันด้วยแรงวานเดอวาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งเป็นแรงที่เชื่อมกันอย่างอ่อน จะทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวหลวมๆ มักพบลักษณะการจัดเรียงตัวนี้ในผลึกของเนยขาวและมาการีน แต่ถ้าเชื่อมต่อกันด้วยแรงไอออนิก (ionic force) โมเลกุลจะยึดเรียงตัวแน่นด้วยแรงจากประจุทำให้ผลึกมีความแข็งแรง อัตราการก่อผลึกจะเพิ่มขึ้นได้ด้วยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ซึ่งจำนวนและขนาดของผลึกในขั้นตอนการก่อผลึกสามารถควบคุมจากอัตราการทำเย็น อัตราเร็วในการกวน และขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมัน (Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญของผลึก (growth) เป็นขั้นตอนที่นิวเคลียสของผลึกมีการเจริญขึ้น โดยการรวมตัวกันของไตรกลีเซอไรด์ที่บริเวณผิวผลึก อัตราการเจริญของผลึกขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก อัตราการทำเย็น และระยะเวลา ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกผลึกต่ำลง หรือใช้อัตราการทำเย็นอย่างรวดเร็วการเจริญของผลึกไขมันจะเกิดก่อนข้างช้า และขนาดของผลึกลดลงเนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวเร่งให้นิวเคลียสขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลึกที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าระดับอุณหภูมิทำเย็นในการตกผลึกไม่ต่ำมากจะช่วยเร่งการเจริญของผลึก (Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002)

การแยกผลึก (Separation)

สามารถควบคุมผลึกที่เกิดขึ้นด้วย อัตราการให้ความเย็น อัตราการกวน อุณหภูมิในการตกผลึก (Grall and Hartel, 1992; Rajah and Moran, 1994; Fatouh and Singh, 2003) ผลึกที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกโดยวิธีการกรองด้วยสุญญากาศ (vacuum filtration) กรองด้วยความดัน (pressure filtration) หรือหมุนเหวี่ยง (centrifugation) ขนาดของผลึก และความบริสุทธิ์ของผลึกเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการแยกผลึก เนื่องจากไขมันเหลวมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับโดยผิวหน้าของผลึกได้ หรือเรียกว่า entrapment ทำให้ผลึกที่แยกได้มีไขมันเหลวปน สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้ตัวทำลายในการแยกส่วน (Kaylegian and Lindsay, 1994; Hamm, 1995) Black (1975) กล่าวว่า ขนาดผลึกที่เหมาะสมสำหรับการแยกด้วยวิธีหมุนเหวี่ยงคือ 100-150 μm ในขณะที่ผลึกขนาด 200-350 μm จะเหมาะกับวิธีการกรองสุญญากาศ

การแยกผลึกด้วยการกรองสุญญากาศ (Vacuum filtration) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด สามารถใช้อุปกรณ์ในการกรองคือ กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) เครื่องกรองเมลิตต้าพอร์ซาลิน (melitta porcelain filter) เครื่องกรองแบบลูกกลิ้งหมุน (rotating drum filter) หรือเครื่อง Tirtiaux florentine filter ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีทั้งชุดอุปกรณ์การตกผลึกและการแยกผลึก โดยมีตัวกรองเป็นสายพานซึ่งไขมันที่ต้องการแยกจะถูกกรองที่บริเวณนี้ ระหว่างการกรองชุดสายพานจะหมุนวนโดยไขมันเหลวจะถูกกรองผ่านระบบสุญญากาศ ส่วนไขมันแข็งที่ติดอยู่บนสายพานจะถูกดูดออกที่บริเวณส่วนท้าย (Deffense 1985; Deffense 1993)

การกรองโดยใช้ความดัน (Pressure filtration) เป็นการแยกผลึกผ่านโพลีเมอร์ (polymer) ผ้า แผ่นไนลอน หรือ หรือตัวกรองโพลีโพรไพลีน (polypropylene filter membrane) การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) ใช้แยกผลึกจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (batch process) หลังจากหมุนเหวี่ยง ส่วนของเหลวจะถูกแยกออก ส่วนของแข็งที่อยู่ในหลอดจะนำไปหลอม นอกจากนี้ยังมีการใช้ filter or basket-type centrifuge tube ในการแยก Breeding and Marshall (1995) ศึกษาการแยกผลึกไขมันเนย โดยใช้หลอดหมุนเหวี่ยงที่มีตัวกรอง (filter-centrifuge bottle) แยก นำส่วนผลึกไขมันนำมาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนเหวี่ยงช้าเพื่อลดปริมาณน้ำมันที่จะถูกดูดซับในผลึก Black (1975) กล่าวถึง ผลของอัตราการกวนว่ามีผลต่อขนาดของผลึก โดยอัตราการกวนที่ 10 rpm ให้ขนาดผลึกไขมันนม 200-350 μm เหมาะกับวิธีการกรองสุญญากาศ ขณะที่ผลึกขนาด 100-150 μm เหมาะสมสำหรับการแยกด้วยวิธีหมุนเหวี่ยง Rolland and Riel (1966) เปรียบเทียบวิธีการแยกผลึกไขมันนมด้วยการกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองกับการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 400 rpm พบว่าวิธีการหมุนเหวี่ยงประหยัดเวลากว่า ให้ปริมาณส่วนไขมันที่แยกได้ค่อนข้างสูงกว่า

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการแยกส่วนไขมัน

Deffense (1993) กล่าวถึงเทคนิคและการออกแบบเครื่องมือในการตกผลึกและการควบคุมปัจจัยในการตกผลึก อันได้แก่ การควบคุมการก่อผลึกของผลึกเริ่มต้นโดยการใช้อุณหภูมิต่ำช่วยการควบคุมการเจริญของผลึกโดยการควบคุมอัตราการทำเย็น อัตราการกวน เช่นเดียวกับ Patience *et al.* (1999) ที่กล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการตกผลึกไขมันนม เช่น ชนิดถังตกผลึก ชนิดใบกวน สภาวะในการควบคุมเครื่องว่ามีผลต่อการควบคุมกระบวนการตกผลึกและคุณสมบัติของไขมัน องค์ประกอบของน้ำมัน มีผลทำให้คุณสมบัติทางความร้อน ทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของส่วนไขมันหรือน้ำมันที่ได้แตกต่างกันไป (Deffense, 1993)

อัตราการทำเย็น (Cooling rate) มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยก และรูปแบบของผลึกไตรกลีเซอไรด์ (polymorphic) โดยอัตราการทำเย็นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกไตรกลีเซอไรด์ซึ่งสามารถตกผลึกได้รูปแบบต่างกันไป คือ อัลฟา, เบต้าไพรม, และ เบต้า (α β' β) ซึ่งจะมีความคงตัวและจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยการทำเย็นอย่างช้าๆผลึกที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้อยู่ในรูปที่คงตัวที่สุด คือ เบต้า (β form) การเกิดผลึกลักษณะนี้จะเกิดกับไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่ซบซ้อน เช่น เนยโกโก้ ทำให้มีผลต่อการแยกผลึกไขมันและคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของส่วนไขมันที่แยกได้ (Deffense, 1993; Kiyotaka, 2000; and Ghotra *et al.*, 2002) โดยทั่วไปผลึกที่พบในไขมันมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ 1) ผลึกชนิด อัลฟา (α form) ให้ลักษณะจุดหลอมเหลวต่ำ (low-melting point) เนื่องจากผลึกมีการจับตัวกันหลวมๆ เกิดจากการใช้อัตราในการทำเย็นอย่างรวดเร็ว ผลึกมีรูปร่างเป็นรูปเข็ม 2) ผลึกชนิด เบต้าไพรม (β' form) ให้ลักษณะจุดหลอมเหลวสูง (high-melting point) ผลึกมีรูปร่างเป็นรูปทรงกลม (spherulite) เกิดจากการใช้อัตราในการทำเย็นอย่างช้า 3) ผลึกชนิด เบต้า (β form) ให้ลักษณะจุดหลอมเหลวสูงมาก (very high-melting point) มีการจัดเรียงตัวกันแน่น ผลึกมีรูปร่างเป็นรูปทรงกลม (spherulite) เกิดจากการใช้อัตราการทำเย็นแบบช้า เป็นผลึกที่มีความคงตัวมากที่สุด และยังมีผลึกชนิด แกรมมา (γ form) ที่มีลักษณะจุดหลอมเหลวต่ำ (low-melting point) แต่เป็นผลึกที่ไม่คงตัว มีผลึกมีรูปร่างเป็นรูปเข็ม เกิดจากการใช้อัตราในการทำเย็นอย่างรวดเร็ว (Deffense, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kaylegian and Lindsay (1994) กล่าวถึงการทำเย็นอย่างช้า (slow cooling) จะให้ผลึกขนาดใหญ่ ลดการรวมตัวของส่วนไขมันเหลวในผลึกไขมันทำให้แยกได้ดีขึ้น ส่วนอัตราการทำเย็นอย่างรวดเร็วจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงรวมตัวกันมากกว่าการใช้อัตราการทำเย็นอย่างช้า ไขมันที่ได้จะมีปริมาณไขมันแข็ง (solid fat content) และความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการทำเย็นอย่างช้า แต่ถ้าอัตราการทำเย็นรวดเร็วมากเกินไปจะเกิดการรวมตัวกันของไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวปานกลางและจุดหลอมเหลวสูงเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวที่มีลักษณะที่เรียกว่า ผลึกผสม (mixed crystal) อัตราการทำเย็นอย่างรวดเร็ว (rapid and deep cooling) ทำให้เกิดผลึกแบบจุดหลอมเหลวต่ำและไม่คงตัว (α และ γ form) ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิและการลดอัตราทำเย็นลงส่งเสริมให้เกิดผลึกแบบ เบต้าไพรม (B' form) มากขึ้น นอกจากนี้ยังรายงานว่าขนาดผลึกขึ้นกับอัตราการทำเย็น ถ้าไขมันนมมีอัตราการทำเย็นอย่างรวดเร็ว จะเกิดผลึกขนาดเล็กจำนวนมากเป็นรูปเข็ม (needle) หรือ รูปเกล็ด (platelet) ขนาด \varnothing 0.1-3 μm ถ้าใช้อัตราการทำเย็นช้า เกิดผลึกรูปทรงกลม (spherulite) ที่ค่อนข้างใหญ่ ($\varnothing \sim 40 \mu\text{m}$) เช่นเดียวกับรายงานของ Herrera and Hartel (2000) ที่พบว่าเมื่อใช้อัตราการทำเย็นอย่างช้าจะให้ผลึกที่มีขนาดใหญ่และหนาแน่น ในขณะที่อัตราการทำเย็นอย่างรวดเร็วจะให้การกระจายตัวของขนาดผลึกสม่ำเสมอมากขึ้น Herrera *et al.* (1992) พบว่าอัตราการทำเย็นอย่างช้าๆ ในระยะเวลาพอเพียง โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างโมเลกุลในรูปของ solid solution, eutectics และ pseudocompound ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิในการตกผลึกให้คงที่ ณ อัตราการทำเย็นอย่างช้า จะมีประโยชน์ในการก่อผลึกที่มีขนาดใหญ่ O'Shea *et al.* (2000) ศึกษาผลของอัตราการทำเย็น และอัตราการกวนต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลิโนเลอิกในไขมันนมวัว โดยการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิค่าแบบหลายขั้น (multiple-step dry fractionation) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ไขมันนม โดยใช้อัตราการทำเย็น 0.58, 0.74, 1.17, และ 2.8 $^{\circ}\text{C/hr}$ ในการตกผลึกที่อุณหภูมิ 33, 19, 15 และ 10 $^{\circ}\text{C}$ กวนด้วยอัตรา 16 rpm ในช่วงเริ่มต้นการทำเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าอัตราการทำเย็นที่ 0.58 $^{\circ}\text{C/hr}$ กวนด้วยอัตรา 16 rpm ในช่วงเริ่มต้นการทำเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณส่วนของไขมันเหลวที่มีกรดลิโนเลอิก สูงสุด คือ 63.2%

อัตราการกวน (Agitation rate) การกวนช่วยลดอุณหภูมิของน้ำมันระหว่างการตกผลึก เนื่องจากช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่งผ่านระหว่างมวลของน้ำมัน Herrera and Hartel (2000) พบว่าการกวนมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการตกผลึกน้อยมากแต่มีส่วนช่วยแลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการกวนมีความสำคัญต่ออัตราการตกผลึก การเจริญของผลึก และประสิทธิภาพในการแยก จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าผลของปัจจัยนี้ค่อนข้างเหมือนกัน คือ การกวนด้วยอัตราเร็วต่ำ ผลึกจะเกิดการรวมตัวกัน ในขณะที่การกวนด้วยอัตราเร็วสูงจะให้ผลึกไขมันที่มีขนาดเล็กลง เนื่องจากแรงเฉือนจากใบพัดที่เพิ่มขึ้นไปทำลายผลึกให้มีขนาดเล็กลงส่งเสริมให้เกิดนิวเคลียสใหม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น และเกิดผลึกที่มีขนาดเล็กลง การกระจายของขนาดอนุภาคจึงลดลง Black (1975) รายงานถึงผลของอัตราการกวนมีผลต่อขนาดของผลึก โดยอัตราการกวนที่ 10 rpm ให้ผลึกไขมันขนาด 200-350 μm เหมาะกับการแยกผลึกด้วยการกรองสุญญากาศ Grall and Hartel (1992) ทำการศึกษากลไกการตกผลึกไขมันเนยในกระบวนการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ (dry fractionation) โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ (30 20 และ 15°C) อัตราการกวน (75 100 และ 125 rpm) ด้วยใบกวนชนิดกั้งหัน (impeller) ต่อผลของการก่อตัวและอัตราการเจริญของผลึก พบว่าในขณะที่เพิ่มอัตราเร็วในการกวน จำนวนผลึกจะเพิ่มขึ้นผลึกมีขนาดลดลง ทำให้มีอัตราการก่อนิวเคลียสและอัตราการตกผลึกสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มความเร็วในการกวนจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนของใบกวน ซึ่งส่งเสริมให้เกิดนิวเคลียสใหม่ขึ้น (2° nucleation) นั่นคือเมื่อแรงเฉือนเพิ่มจะไปรบกวนการเจริญของผลึกเดิมที่มีอยู่ทำให้ผลึกขนาดเล็กเกิดขึ้น มีผลไปลดประสิทธิภาพการกรองและเพิ่มปริมาณการดูดซับของน้ำมันในผลึกระหว่างการกรอง ในขณะที่อุณหภูมิในการตกผลึก 15°C จำนวนผลึกเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่อัตราการกวนที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถทำให้ผลึกมีขนาดลดลงได้ง่าย ณ อุณหภูมิ 15°C

Kaylegian and Lindsay (1994) กล่าวถึงการตกผลึกโดยไม่มีอาการกวนจะให้ผลึกไขมันนมที่มีแนวโน้มที่มีลักษณะผลึกแบบทรงกลม (spherulite) ที่มีโครงสร้างเปิดซึ่งสามารถกักเก็บน้ำมันไว้ในผลึกทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและลดประสิทธิภาพในการแยก และรายงานว่าการกวนด้วยความเร็วต่ำ (13.8 rpm) ให้ผลึกสม่ำเสมอ ขนาดใหญ่ การกวนด้วยความเร็วปานกลาง (60 rpm) ให้ผลึกที่มีขนาดสม่ำเสมอ ส่วนการกวนด้วยความเร็วสูง (120 rpm) ให้ผลึกค่อนข้างสม่ำเสมอแต่มีขนาดผลึกเล็กลง และการใช้ความเร็วที่สูงมากจะให้ผลึกที่ละเอียดยากต่อการแยก ตรงข้ามกับ Breeding and Marshall (1995) ที่พบว่าอัตราการกวนอย่างช้า (10 rpm) จะให้ผลึกที่มีขนาดเล็ก รูปร่างเป็น rod-shape ในขณะที่กวนด้วยอัตราเร็วสูงจะให้ผลึกขนาดเล็กและมีอัตราการตกผลึกสูง Feng and Chin (1995) ศึกษาผลของอัตราการทำเย็น ความเร็วในการกวน ใช้ใบกวนชนิดใบพัดเรือ (45° pitched-propeller) ในการแยกส่วนน้ำมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น พบว่าผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดลดลงเมื่อใช้อัตราการทำเย็นเพิ่มขึ้น ความเร็วในการกวนที่สูงขึ้นให้ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น แต่ขนาดผลึกลดลงและทำให้ความแน่น (firmness) ของผลึกลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับการกวนด้วยความเร็วสูงจะทำให้การแยกผลึกด้วยการกรองทำได้ยาก การแยกส่วนไขมันที่อุณหภูมิต่ำช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในส่วนของไขมันเหลว

อุณหภูมิในการแยกส่วน (Fractionation temperature) มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมตกผลึก ปริมาณส่วนของไขมันที่แยกได้ องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ โดย Grall and Hartel (1992) รายงานว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ (30, 20 และ 15°C) และอัตราการกวน พบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อจุดหลอมเหลวและปริมาณส่วนของไขมันนมที่แยกได้ โดยการตกผลึกที่อุณหภูมิ 15°C ให้ปริมาณไขมันแข็งสูงสุด และไขมันส่วนต่างๆที่แยกได้ทั้ง 4 ส่วน (ไขมันแข็งที่เอกละอองเป็นเอกละอองที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30, 20 และ 15°C และไขมันเหลวที่ 15°C) มีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างในช่วงกว้างคือ 43°C , 33.9°C , 19.5°C และ 12.5°C Kaylegian and Lindsay (1994) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันเล็กน้อย แต่จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอย่างมาก การใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับการกวนด้วยความเร็วสูง จะทำให้การแยกผลึกด้วยการกรองทำได้ยาก การแยกส่วนไขมันที่อุณหภูมิต่ำช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในส่วนของไขมันเหลว (Feng and Chin, 1995)

ระยะเวลาในการตกผลึก (Crystallization time) มีผลต่อขนาดผลึกและปริมาณ โดยส่วนของผลึกไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการตกผลึกเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ระยะเวลานานเกินไปในการตกผลึกจะมีผลไปเพิ่มไขมันเหลวในส่วนผลึกที่แยกได้ (Kaylegian and Lindsay, 1994) ในขณะที่ Bussey *et al.* (1981) กล่าวถึงปัจจัยของระยะเวลา (6, 12 และ 18 ชั่วโมง) ในการตกผลึกไขมันวัวด้วย SDS ว่าระยะเวลามีอิทธิพลเล็กน้อยต่อปริมาณไขมันที่แยกได้ โดยสังเกตว่าเมื่อตกผลึกเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ขนาดของผลึก และปริมาณไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากส่วนไขมันที่แยกได้

สามารถนำไขมันเหลวและไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารขึ้นกับคุณสมบัติของไขมัน เช่น การแยกลำดับน้ำมันถั่วเหลืองช่วยทำให้ได้น้ำมันที่ใช้ทอดและน้ำมันทำสลัดที่มีความคงตัว นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันผสม โดยใช้ไขมันพืชร่วมกับไขมันนมที่ผ่านการแยกลำดับส่วน (Antila, 1979) Defouw *et al.* (1981) นำเอาส่วนของไขมันเหลวจากการแยกส่วนไขมันวัวด้วยสารลดแรงตึงผิว sodium dodecyl sulfate (SDS) มาพัฒนาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดมันฝรั่ง Bussey *et al.* (1981) แยกส่วนไขมันวัวได้ส่วนต่างๆที่เหมาะสมในการผลิตเนยขาว (shortening) ไขมันทดแทนไขมันเนยโกโก้ และน้ำมันสำหรับทอด Kaylegian *et al.* (1993) ได้นำไขมันนมส่วนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาใช้ในการผลิตขนมอบประเภทบิสกิต ใช้ทอดอาหาร ตลอดจนช่วยปรับปรุงคุณภาพการละลายของนมผง ในขณะที่ไขมันส่วนที่มีจุดหลอมเหลวสูงนำมาใช้ทดแทน ไขมันเนยโกโก้ในช็อคโกแลต ผลิตฟิล์มเคลือบอาหาร (edible film) และใช้ในอาหารหวานแช่แข็ง Chiu *et al.* (2002) ทำการการแยกส่วนไขมันไก่ พบว่าส่วนของผลึกไขมันที่ 10°C มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกและแผ่ปาดได้ (plastic and spreadable) สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมขนมอบ เช่น ขนมพาย พัฟ มาการีน และ ชุปก้อนคินรูป (dehydrated soup cubes) สำหรับส่วนของโอเลอีนมีความเหมาะสมในการใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอด Foglia *et al.* (2002) จดสิทธิบัตรกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่ด้วยตัวทำละลาย (solvent fractionation) เพื่อแยกส่วนให้ได้ไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อนเพิ่มขึ้น Lee and Foglia (2000a) เปรียบเทียบการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ (dry fractionation) การแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (solvent fractionation) และการแยกส่วนด้วยเทคนิคการคั่ว ไม่ว่าจะวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดด้วยของไหลที่อยู่ในสถานะเหนือจุดวิกฤต (supercritical CO₂ extraction) ในการผลิตไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเพิ่มขึ้น การแยกส่วนด้วยตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว Lee *et al.* (2000b) ทำการพัฒนาวิธีการแยกส่วนไขมันไก่และน้ำมันปลาเมนฮาเดน (menhaden) ด้วยอนุกรมมิติต่ำ (dry fractionation) และการแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (solvent fractionation) เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อนในส่วนไขมันเหลว และขณะเดียวกันส่วนไขมันเหลวนี้อาจมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

ไขมันไก่แช่แข็ง (บริษัท อาหารเบทเทอร์ จำกัด) บรรจุถุงละ 3.5 kg เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-20°C)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์การแยกส่วน

ถังสำหรับตกผลึก (Jacketed stainless steel vessel) ขนาดความจุ 1.5 ลิตร, $\text{Øภายใน} \times$ ความสูง = 11 x 21 cm

3.3 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันไก่และส่วนไขมัน

3.3.1 Iodine value : Cyclohexane – Acetic acid Method (AOCS method Cd 1- 25, 1999)

3.3.2 Saponification number (AOCS method Cd 3-25, 1999)

3.3.3 Free fatty acid (AOCS method Ca 5a- 40, 1999)

3.3.4 Fatty acid composition by Gas Chromatographic Method (Compendium of method for food analysis, 2003)

3.3.5 Triglyceride profile by High Performance Liquid Chromatographic Method (ปรับปรุงจากวิธีของ Marikkar, 2002a)

3.3.6 Melting point by capillary tube (AOCS method Cc 1- 25, 1999)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมน้ำมันไก่

เจียวไขมันไก่แบบแห้งในหม้อสแตนเลส ที่อุณหภูมิ 110°C (นิธิยา, 2529) นาน 10 นาที แยกกากมันไก่ออกโดยกรองผ่านผ้าขาวบาง ชั่งน้ำหนักน้ำมัน รายงานปริมาณน้ำมันที่เจียวได้เป็นเปอร์เซ็นต์

3.4.2 การศึกษาสภาวะสำหรับการแยกส่วนน้ำมันไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.4.2.1 การเลือกอุณหภูมิสำหรับตกผลึกใช้ในการแยกส่วนไขมันนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกไขมันไก่โดยการลดอุณหภูมิน้ำมันจาก 40-4°C อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดฝ้าและแข็งตัวจนหมดอยู่ในช่วง 25-10°C นำมาแบ่งช่วงอุณหภูมิเพื่อใช้ในการศึกษาออกเป็น 3 อุณหภูมิ คือ 25, 15 และ 10°C

3.4.2.2 การศึกษาหาระยะเวลาในการตกผลึกไขมันไก่

ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึก ณ แต่ละอุณหภูมิที่ศึกษา คือ 25, 15 และ 10°C โดยทำการตกผลึกน้ำมันไก่ 1000 g ในถังตกผลึกที่อุณหภูมิ 25, 15 และ 10°C ด้วยอัตราการกวน 10 rpm ที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดทำการแยกส่วนที่เป็นไขมันแข็ง (solid fat) ออกจากไขมันเหลว (liquid fat) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับปริมาณผลึกไขมัน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design: (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และความแตกต่างด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4.3 การศึกษาวิธีการแยกส่วนน้ำมันไก่แบบขั้นเดียว (single-step fractionation) และแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation)

3.4.3.1 การศึกษาวิธีการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

ศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และอัตราการกวน ในการแยกส่วนแบบขั้นเดียว (single-step fractionation) ต่อปริมาณไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ดังนี้

อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 25, 15 และ 10°C

อัตราการกวน 2 ระดับ คือ 10 และ 30 rpm

วางแผนการทดลองการแยกส่วนแบบขั้นเดียว แบบ Factorial in CRD โดยจำนวน treatment ของการทดลอง (combination) = $3 \times 2 = 6$ เปรียบเทียบปริมาณไขมันแข็ง และ ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และความแตกต่างด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ขั้นตอนการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

ทำการแยกส่วนไขมันไก่ (fractionation) โดยตกผลึกในถังสำหรับตกผลึก ด้วยอุณหภูมิ และ อัตราการกวนที่ใช้ในการศึกษา (รูปที่ 3.1) ตกผลึกด้วยระยะเวลาจากข้อ 8.2.2 แยกส่วนไขมันแข็งออกจากไขมันเหลวซึ่งนำหนักส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แยกได้

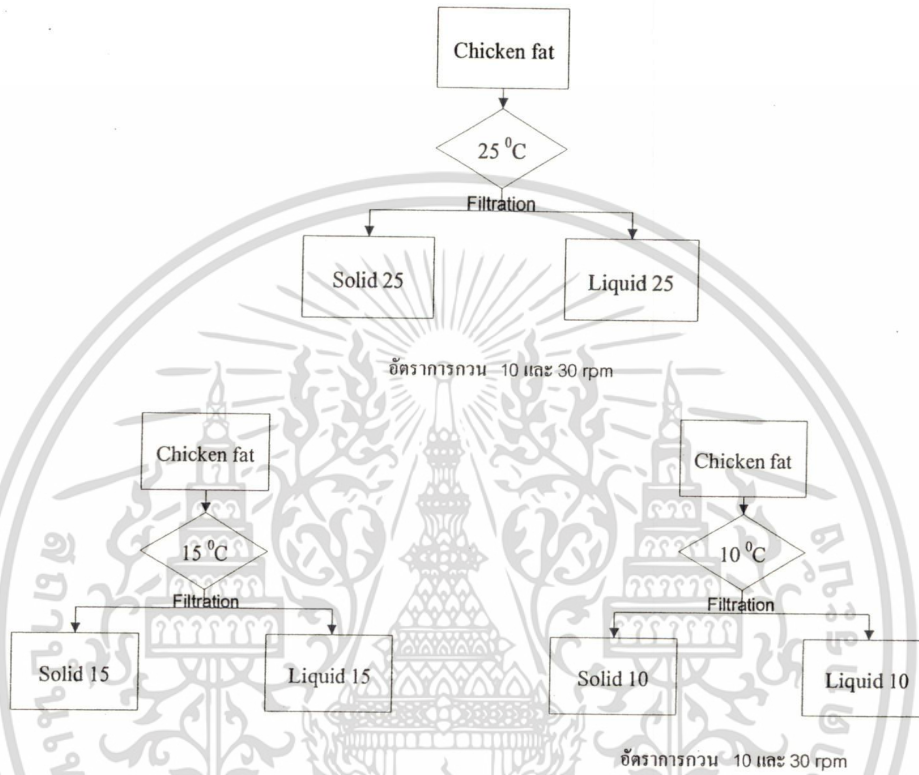
3.4.3.2 การศึกษาวิธีการแยกส่วนแบบหลายขั้น

ศึกษาอิทธิพลของ อัตราการกวน (10 และ 30 rpm) ในการแยกส่วนโดยใช้อุณหภูมิ 25, 15 และ 10°C แยกส่วนแบบหลายขั้น ต่อปริมาณไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้

ขั้นตอนการแยกส่วนแบบหลายขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแยกส่วนไขมันโดยตกผลึกในถังสำหรับตกผลึก โดยใช้อัตราการกวน (10 และ 30 rpm) ในการแยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ (25→15→10°C) ด้วยระยะเวลาจากข้อ 8.2.2 แยกไขมันแข็งออกจากไขมันเหลว นำส่วนของไขมันเหลวมาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิต่ำลงมา (ดังรูปที่ 3.2) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันแข็งที่แยกได้



รูปที่ 3.1 การแยกส่วนแบบขั้นเดียว

3.4.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติกายภาพของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้นำไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้จากทั้งวิธีแยกส่วนแบบขั้นเดียว และ แบบหลายขั้น วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของไขมันที่แยกได้แต่ละส่วน วิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างด้วย Duncan 's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิเคราะห์น้ำมันไก่อ่อนการแยกส่วน และส่วนของไขมันไก่แต่ละส่วนที่ได้หลังการแยกส่วนดังนี้

คุณสมบัติทางเคมี

Iodine Value : Cyclohexane – Acetic acid Method (AOCS Method Cd 1- 25, 1999),

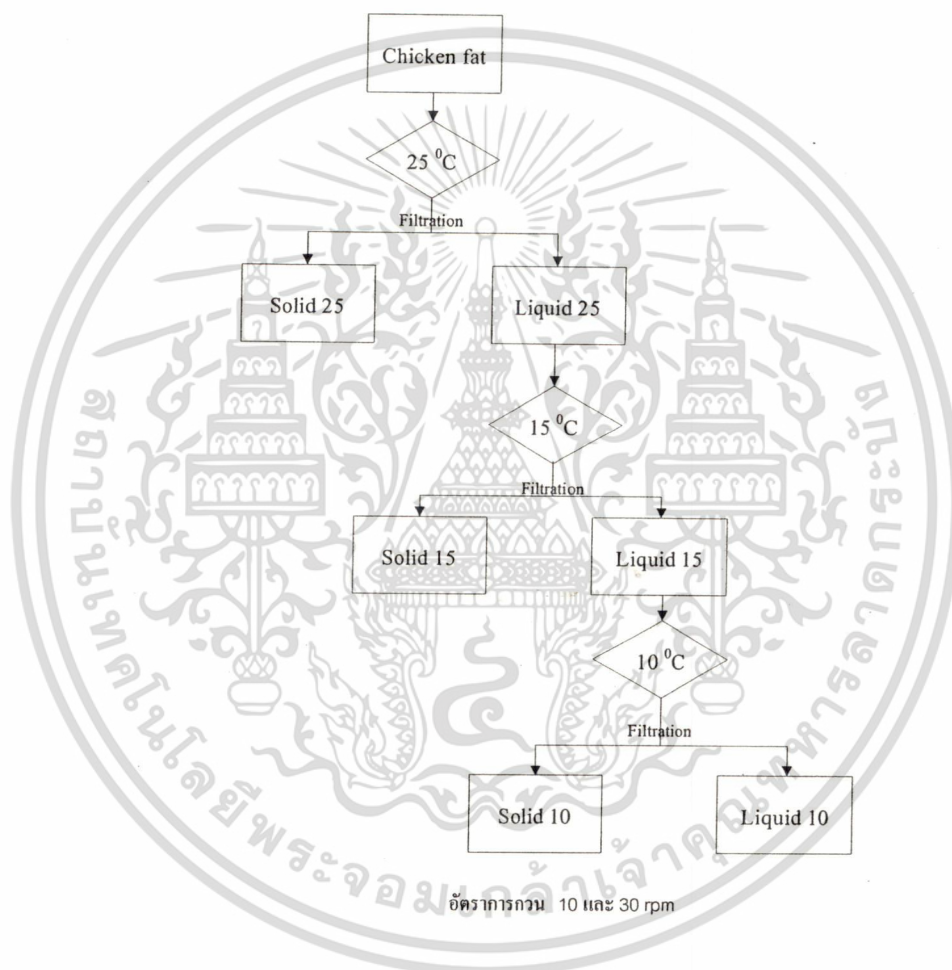
Saponification Number (AOCS Method Cd 3-25, 1999), Free Fatty Acid (AOCS Method Ca 5a-40, 1999), Fatty Acid Composition by (GC Compendium of Method for Food Analysis, 2003),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Triglyceride profile by High Performance Liquid Chromatographic Method (ปรับปรุงจากวิธีของ Marikkar, 2002a)

คุณสมบัติทางกายภาพ

Melting Point by capillary tube (AOCS Method Cc 1- 25, 1999)



รูปที่ 3.2 การแยกส่วนแบบหลายขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติไขมันไก่

ไขมันไก่ก่อนนำมาแยกส่วนมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของไขมันไก่

คุณสมบัติ	
ปริมาณน้ำมันไก่ที่ได้จากการเจียวด้วยอุณหภูมิ 110°C (%)	75.67 ± 0.68
จุดหลอมเหลว (°C)	35.50 ± 0.50
FFA (as % oleic)	0.49 ± 0.12
Iodine Value (จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม)	78.65 ± 0.43
Saponification Number (จำนวนมิลลิกรัม KOH ที่ใช้ saponify ไขมัน 1 กรัม)	210.93 ± 1.69

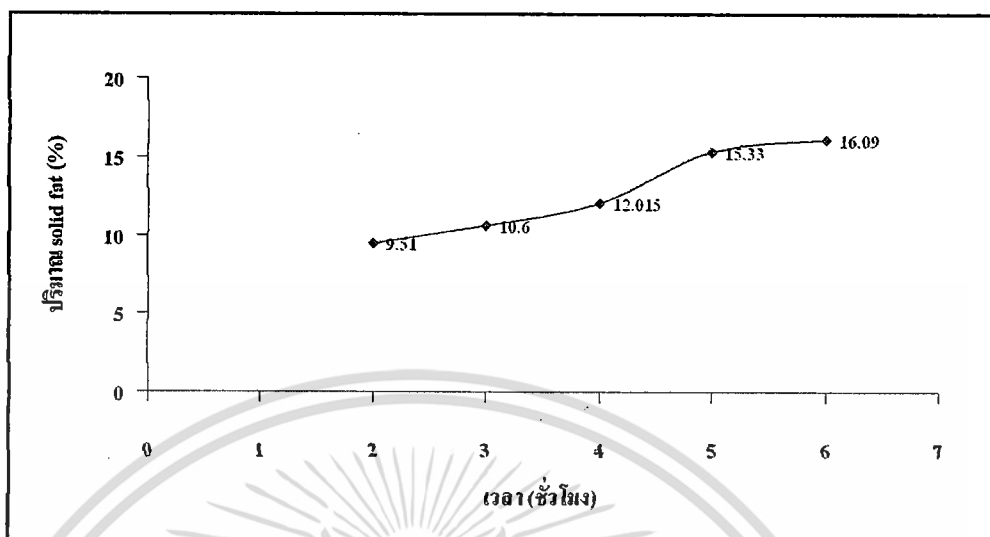
4.2 การศึกษาสภาวะสำหรับการแยกส่วนน้ำมันไก่

อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดฝ้าจนกระทั่งน้ำมันไก่กลายเป็นของแข็งทั้งหมดอยู่ในในช่วง 25-10°C ถูกนำมาใช้เป็นช่วงอุณหภูมิในการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 3 อุณหภูมิ คือ 25, 15 และ 10°C ตามลำดับ เมื่อศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกของแต่ละอุณหภูมิศึกษา โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ปริมาณไขมันแข็งเกิดขึ้นจนมีปริมาณคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.1-4.3

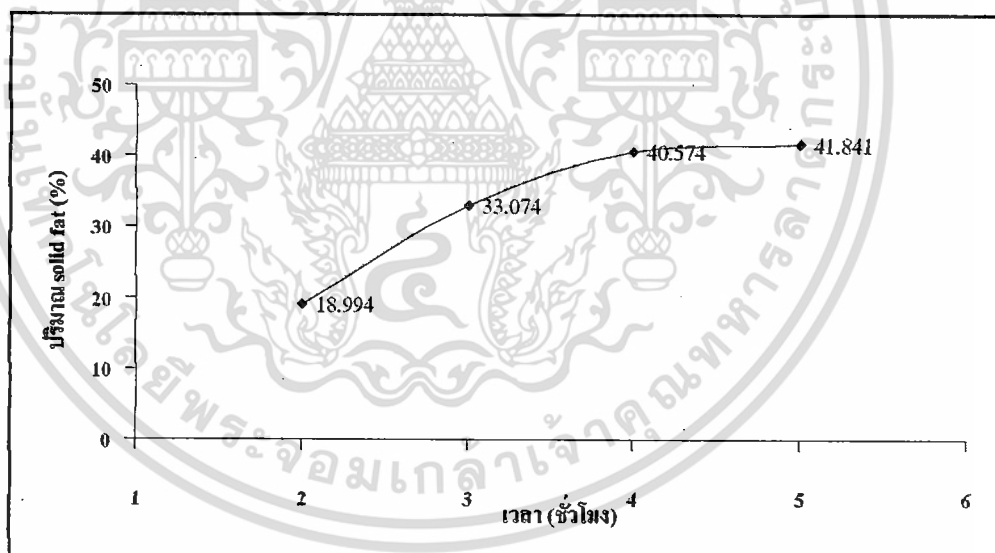
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางภาคผนวก ก1. พบว่า ปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นจากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 25°C อัตราการกวนคงที่ 10 rpm มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีแนวโน้มปริมาณไขมันแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการตกผลึก และระยะเวลาการตกผลึกที่ 5 ชั่วโมงมีปริมาณไขมันแข็งไม่แตกต่างกับเวลา 6 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณไขมันแข็งที่เกิดขึ้นเริ่มมีความปริมาณคงที่เป็น 5 ชั่วโมง สำหรับการตกผลึกที่อุณหภูมิ 25°C

ระยะเวลาที่ใช้ตกผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิ 15°C อัตราการกวนคงที่ 10 rpm มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก 2. เมื่อเวลาระยะเวลาตกผลึกเพิ่มขึ้นปริมาณไขมันแข็งเพิ่มขึ้นด้วย โดยระยะเวลาที่ปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นจนมีปริมาณไขมันแข็งคงที่สำหรับการแยกส่วนที่ 15°C คือ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



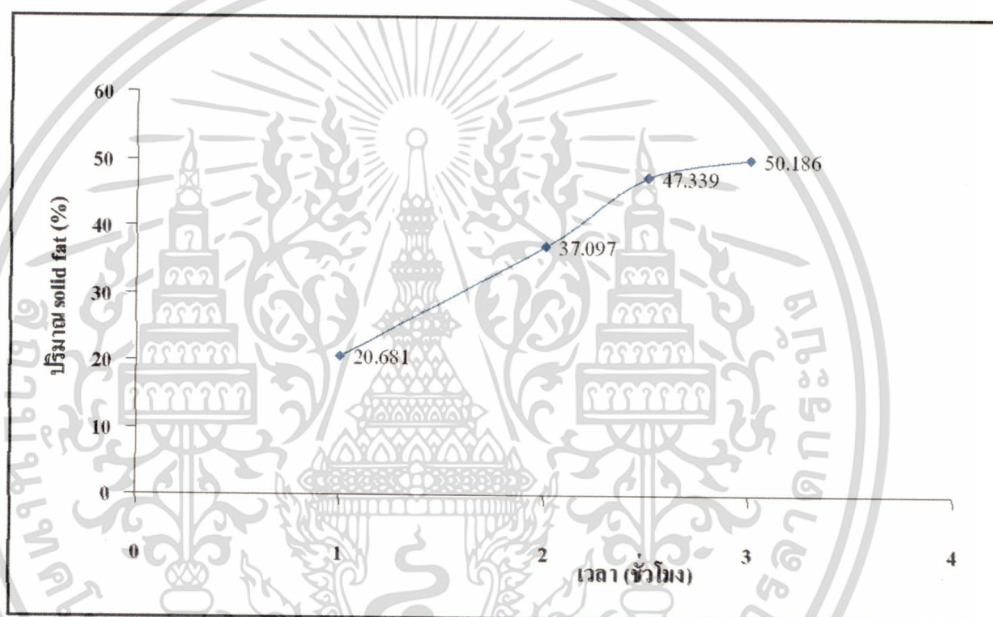
รูปที่ 4.1 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 25°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 15°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตกผลึกจนถึงระยะเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที (210 นาที) เกิดผลึกปริมาณมากจนทำให้ใบกวนหยุดหมุนและไม่สามารถกรองได้ แต่การตกผลึกระยะเวลา 3 ชั่วโมง (180 นาที) ผลึกไขมันเกิดขึ้นมากแต่ใบกวนยังสามารถหมุนต่อไปได้ ในขณะที่การกรองผลึกไขมันจากอุณหภูมิดังกล่าวใช้ระยะเวลาในการกรองเป็นเวลานานและเกิดปัญหา oil entrapment ต้องแบ่งกรองจึงสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ เมื่อทดลองลดระยะเวลาในการตกผลึก ณ อุณหภูมิ 10°C เป็น 2 ชั่วโมง 30 นาที และทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณไขมันแข็งเมื่อตกผลึกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ไม่มีความแตกต่างจากไขมันแข็งที่ตกผลึกที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตารางภาคผนวก ก3. จึงเลือกใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ในการแยกส่วนที่ 10°C



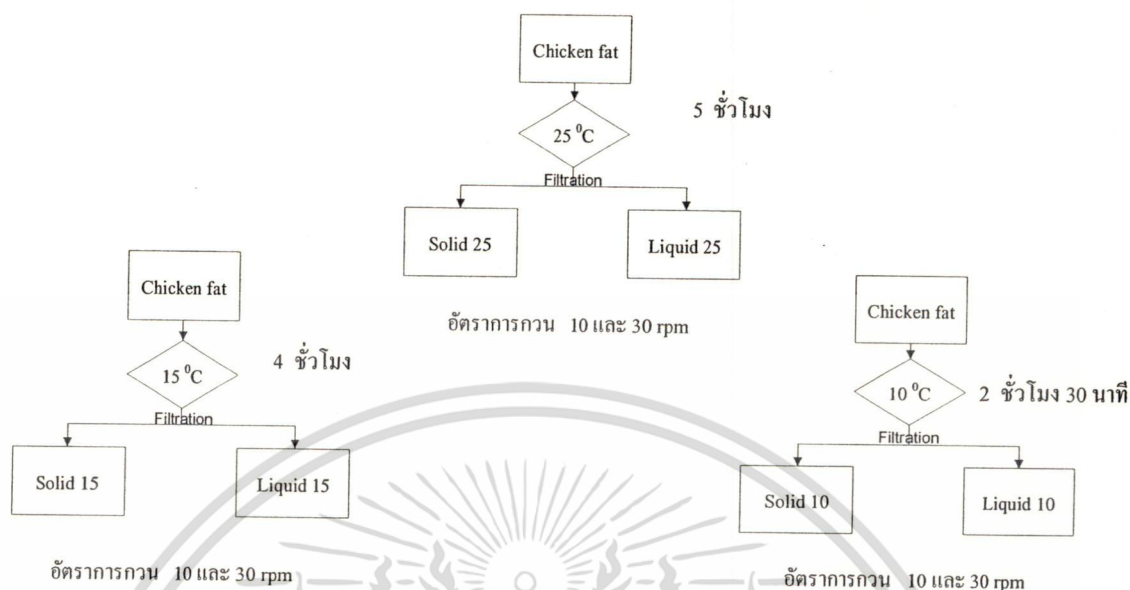
รูปที่ 4.3 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึก ที่ 10°C อัตราการกวน 10 rpm ในเวลาแตกต่างกัน

4.3 การศึกษาวิธีการแยกส่วนน้ำมันไก่แบบขั้นเดียว และแบบหลายขั้น

4.3.1 ผลการศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมันไก่แบบขั้นเดียว

โดยทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และอัตราการกวน ในการแยกส่วนแบบขั้นเดียว ดังรูปที่ 4.4 ต่อปริมาณไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วิธีการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

4.3.1.1 ผลของกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่แบบขั้นเดียวต่อปริมาณและลักษณะของไขมันที่แยกได้

การแยกส่วนแบบขั้นเดียว อุณหภูมิ และ อัตราการกวนมีผลต่อปริมาณไขมันแข็ง (รูปที่ 4.5) เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกผลึกลดลง ทำให้มีปริมาณไขมันแข็งเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยการตกผลึกที่ 25°C ให้ปริมาณไขมันแข็งน้อยที่สุด $19.50 \pm 1.19\%$ (ที่อัตราการกวน 10 rpm) และ $22.88 \pm 3.76\%$ (ที่อัตราการกวน 30 rpm) และให้ปริมาณไขมันแข็งสูงสุดที่อุณหภูมิ 10°C ($p \leq 0.05$) $52.83 \pm 2.60\%$ (ที่อัตราการกวน 10 rpm) และ $61.25 \pm 5.22\%$ (ที่อัตราการกวน 30 rpm) และมีปริมาณไขมันเหลว $38.75 \pm 5.22\%$ (ที่อัตราการกวน 10 rpm) และ $47.18 \pm 2.60\%$ (ที่อัตราการกวน 30 rpm) ที่อุณหภูมิการตกผลึกเดียวกันอัตราการกวนสูง (30 rpm) ให้ปริมาณไขมันแข็งสูงกว่าอัตราการกวนต่ำ (10 rpm) ผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิ 15°C และ 10°C มีขนาดเล็กลง ผลึกที่เกิดจากการใช้อัตราการกวน 30 rpm มีแนวโน้มที่ไขมันแข็งดูดซับไขมันเหลวไว้ระหว่างผลึกมากกว่าการใช้อัตราการกวน 10 rpm (รูปที่ 4.6) โดยการใช้ อัตราการกวน 30 rpm ตกผลึกที่ 10°C จะมีปริมาณไขมันแข็งสูงสุด คือ $61.25 \pm 5.22\%$ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อัตราการกวน 10 rpm ตกผลึกที่ 25°C ให้ปริมาณไขมันแข็งต่ำสุด คือ $19.50 \pm 1.19\%$ เนื่องจากผลึกที่มีขนาดเล็กนี้จะลดประสิทธิภาพในการกรอง ณ อุณหภูมิดังกล่าว จึงเพิ่มปริมาณการดูดซับไขมันเหลวไว้มาก ส่วนอุณหภูมิตกผลึกที่ 25°C ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นจะมีการเจริญของผลึกทำให้ได้ผลึกขนาดใหญ่ แต่มีปริมาณน้อยจึงกรองง่าย และที่อุณหภูมิดังกล่าวแรงเฉือนที่สูงขึ้นจากการใช้อัตราการกวน 30 rpm ไม่ทำให้ขนาดผลึกลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ผลของอัตราการกวนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grall and Hartel (1992) ที่ศึกษากลไกการตกผลึกไขมันเนย พบว่าผลึกไขมันจะยึดเกาะกันด้วยแรงวันเดอวาล์ (Van der Waals force) ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ถูกละลายได้ง่าย ดังนั้นการใช้อัตราการกวนที่สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนของใบพัด สามารถทำลายพันธะที่ยึดเกาะกันของผลึกไขมัน ทำให้รบกวนกลไกการเจริญของผลึก (การรวมตัวกันระหว่างเดิมกับผลึกที่เกิดขึ้นใหม่) ส่งผลให้ผลึกไขมันมีขนาดเล็กลงและมีปริมาณผลึกขนาดเล็กมากขึ้น ทำให้ผลึกไขมันขนาดเล็กนี้เกิดการดูดซับไขมันเหลวไว้ระหว่างอนุภาคของผลึก (oil entrapment) มากกว่าผลึกที่ใช้อัตราการกวนต่ำ

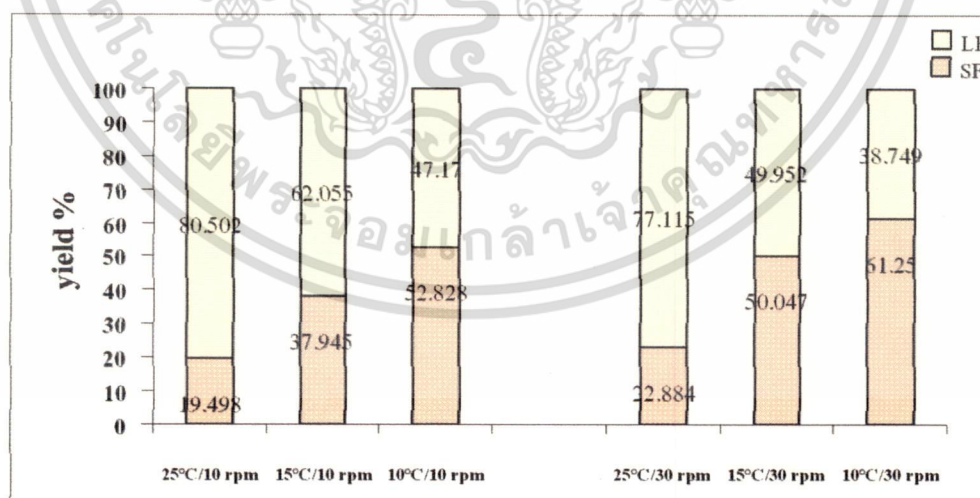
ตารางที่ 4.2 ปริมาณ ไขมันแข็งและ ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

อัตราเร็วของการกวน							
10 rpm				30 rpm			
อุณหภูมิ	25°C	15°C	10°C	อุณหภูมิ	25°C	15°C	10°C
LF (%)	80.50 ^{+1.19}	62.06 ^{+1.41}	47.18 ^{+2.60}	LF (%)	77.12 ^{+3.76}	49.95 ^{+0.96}	38.75 ^{+5.22}
SF (%)	19.50 ^{Cb} +1.19	37.95 ^{Bb} +1.41	52.83 ^{Ab} +2.60	SF (%)	22.88 ^{Ca} +3.76	50.05 ^{Ba} +0.96	61.25 ^{Aa} +5.22
น้ำมันเริ่มต้น	100	100	100	น้ำมันเริ่มต้น	100	100	100

หมายเหตุ LF: ไขมันเหลว (%), SF: ไขมันแข็ง (%)

A,B,C: อักษรตัวใหญ่ที่ต่างกันแทนความแตกต่างของอุณหภูมิทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

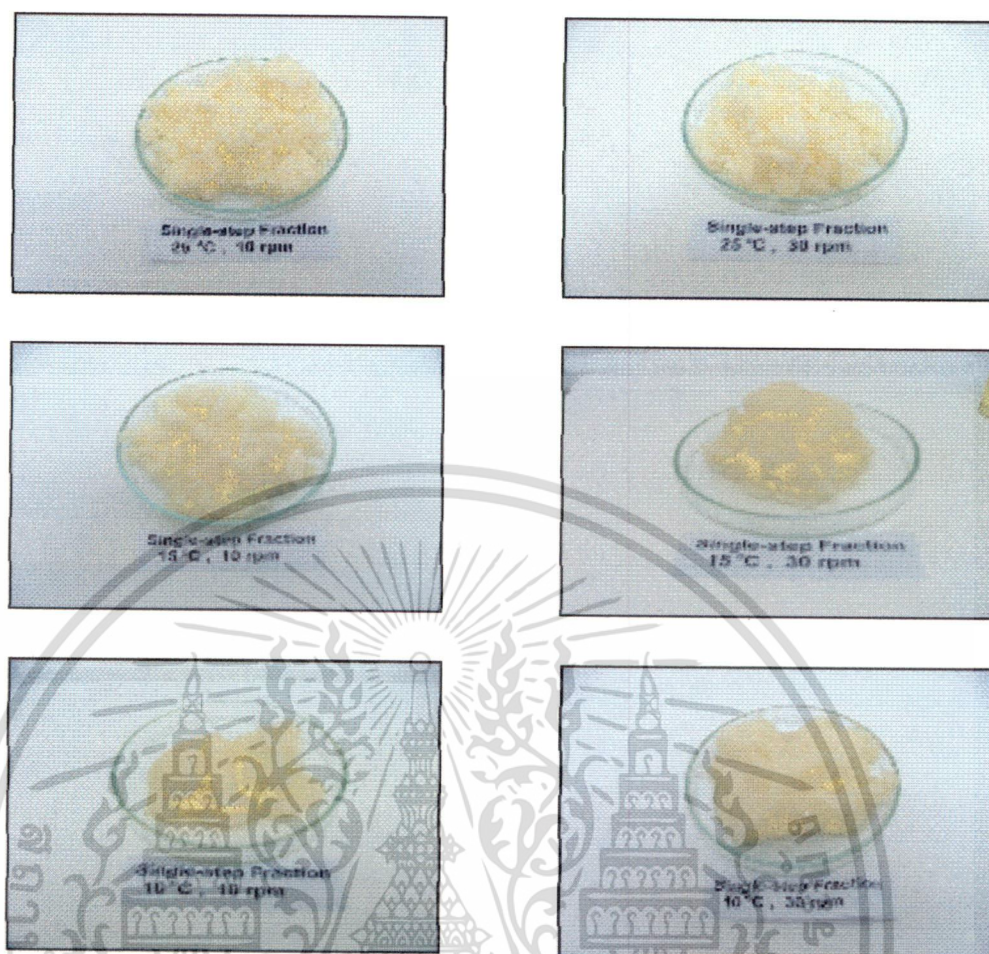
a,b: อักษรตัวเล็กที่ต่างกันแทนความแตกต่างของอัตรา การกวนทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.5 ปริมาณ ไขมันและ ไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว ที่แต่ละอุณหภูมิ

หมายเหตุ SF: ไขมันแข็ง LF: ไขมันเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ลักษณะ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

4.3.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของไขมันที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

จากการวิเคราะห์ค่า Iodine Value ของไขมัน ก่อนการแยกส่วนและส่วนของไขมัน ภาย หลังการแยกส่วน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความไม่อิ่มตัวของไขมัน ดังตารางที่ 4.3 พบว่าการตกผลึกด้วย อุณหภูมิต่ำลงมีผลทำให้ค่า IV ของไขมันที่แยกได้ทั้งส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวมีค่า สูงขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยการใช้อุณหภูมิต่ำคือ 10°C เพิ่มค่า IV สูงสุดเมื่อเทียบกับไขมันส่วนอื่น และ ในส่วนของไขมันเหลวมีค่า IV สูงกว่าไขมันแข็ง แสดงให้เห็นว่าไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่ม ตัวสูงถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนของไขมันเหลวได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำในการตกผลึกลดลง และมีแนวโน้มที่กระจายตัวอยู่ในส่วนของไขมันเหลวมากกว่าไขมันแข็ง (รูปที่ 4.7) อัตราการวนมีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า IV ของไขมันที่แยกได้ โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการตกผลึกเดียวกันจะ พบว่า อัตราการวนต่ำ (10 rpm) ให้ส่วนของไขมันที่แยกได้มีค่า IV สูงกว่าอัตราการวน 30 rpm ($p \leq 0.05$) โดยที่การที่ใช้อัตราการวน 10 rpm จะให้ไขมันเหลวที่มีความไม่อิ่มตัวสูงกว่าอัตราการ วน 30 rpm แต่ไขมันเหลวที่ 10°C 30 rpm และไขมันเหลว ที่ 10°C 10 rpm มีค่า IV สูงสุดที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 93.45 ± 0.31 และ 92.17 ± 0.26 ตามลำดับ โดยส่วนของไขมันเหลวที่ 10°C 30 rpm มีแนวโน้มของค่า IV สูง เนื่องจากผลึกไขมันจากสภาวะ 10°C 30 rpm มีขนาดเล็กและดูดซับน้ำมันไว้ ทำให้เมื่อกรองผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกคือ 10°C ทำให้กรองได้ค่อนข้างยากใช้เวลานาน ผลึกไขมันบางส่วนซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำอาจหลอมกลับสู่น้ำมันได้ (Herrera and Anon, 1991) จึงทำให้ไขมันเหลวมีค่า IV สูงกว่าไขมันเหลวที่ 10°C 10 rpm เมื่อพิจารณาในส่วนไขมันแข็งจากอุณหภูมิตกผลึก 25°C ด้วยอัตราการกวน 10 rpm มีค่า IV สูงกว่าอัตราการกวนที่ 30 rpm แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น 15°C และ 10°C ไขมันแข็งที่ได้จากการใช้อัตราการกวน 30 rpm จะมีค่า IV สูงกว่าที่ 10 rpm โดยที่ส่วนไขมันแข็งที่ 10°C 30 rpm มีปริมาณความไม่อิ่มตัวสูงสุดคือ 80.95 ± 0.57 ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การตกผลึกที่ 15°C 10 rpm, 15°C 30 rpm และ 10°C 10 rpm ให้ค่า IV ในไขมันแข็งที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากผลึกที่ได้จาก 10°C 30 rpm แรงเฉือนที่สูงทำให้ผลึกมีขนาดเล็ก ลดประสิทธิภาพในการกรองจึงดูดซับไขมันเหลวไว้ที่ผลึกมากกว่าผลึกไขมันที่ได้จาก 15°C 10 rpm, 15°C 30 rpm และ 10°C 10 rpm ทำให้ไขมันแข็งที่ได้จากสภาวะ 10°C 30 rpm มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าจึงมีค่า IV สูง

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว

อัตราการกวน	Fraction	การวิเคราะห์			
		จุดหลอมเหลว, °C (clear point)	Iodine value	Saponification number	% Free fatty acid
	น้ำมันไก่	35.50 ^c ± 0.50	78.65 ^f ± 0.43	210.92 ^c ± 1.68	0.49 ^{ab} ± 0.12
10 rpm	SF ที่ 25°C	45.66 ^a ± 0.23	74.56 ^g ± 0.98	217.62 ^a ± 1.72	0.38 ^{cd} ± 0.01
	LF ที่ 25°C	19.33 ^c ± 2.59	86.99 ^c ± 0.36	214.06 ^{bcd} ± 0.98	0.49 ^{ab} ± 0.00
	SF ที่ 15°C	42.58 ^b ± 0.12	77.44 ^f ± 1.27	216.11 ^{abc} ± 0.22	0.37 ^d ± 0.02
	LF ที่ 15°C	15.25 ^f ± 0.12	90.97 ^b ± 1.30	213.73 ^{cde} ± 0.00	0.46 ^g ± 0.01
	SF ที่ 10°C	41.50 ^b ± 1.64	79.02 ^f ± 0.67	216.25 ^{abc} ± 0.40	0.45 ^{abcd} ± 0.01
	LF ที่ 10°C	14.91 ^f ± 0.58	92.17 ^{ab} ± 0.26	214.44 ^{bcd} ± 1.22	0.54 ^a ± 0.010
30 rpm	SF ที่ 25°C	44.83 ^a ± 0.47	70.28 ^h ± 1.10	216.95 ^{ab} ± 1.03	0.44 ^{bcd} ± 0.01
	LF ที่ 25°C	22.00 ^d ± 0.47	85.02 ^d ± 0.17	214.16 ^{bcd} ± 1.02	0.52 ^{ab} ± 0.01
	SF ที่ 15°C	42.08 ^b ± 1.29	78.72 ^f ± 0.41	215.42 ^{abc} ± 2.61	0.47 ^{ab} ± 0.02
	LF ที่ 15°C	18.16 ^c ± 0.47	88.04 ^c ± 0.71	211.94 ^{de} ± 2.09	0.53 ^{ab} ± 0.02
	SF ที่ 10°C	40.33 ^b ± 0.94	80.95 ^e ± 0.57	214.25 ^{bcd} ± 0.24	0.46 ^{abcd} ± 0.01
	LF ที่ 10°C	14.58 ^f ± 0.58	93.45 ^a ± 0.31	212.14 ^{de} ± 0.56	0.53 ^a ± 0.00

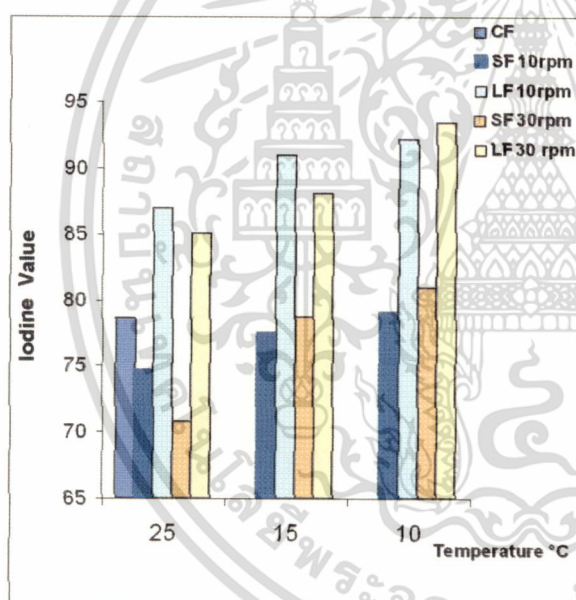
หมายเหตุ SF: ไขมันแข็ง, LF: ไขมันเหลว; Iodine value (g I₂ / 100 g oil); Saponification number (mg KOH / 1 g oil); FFA (as % oleic);

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อุณหภูมิในการแยกส่วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลวของไขมันแต่ละส่วนที่ต่างกัน ($p \leq 0.05$) ไขมันเหลวมีจุดหลอมเหลวลดลงเมื่อลดอุณหภูมิตกผลึก ไขมันแข็งที่แยกได้มีจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นและสูงกว่าไขมันไก่ที่ไม่ผ่านการแยกส่วน (ตารางที่ 4.3) อัตราการกวนมีผลต่อจุดหลอมเหลวของไขมัน พบว่าที่อุณหภูมิตกผลึก 25°C และ 15°C ไขมันเหลวที่แยกส่วนด้วยอัตราการกวน 10 rpm มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันที่แยกด้วยอัตราการกวนสูง (30 rpm) จุดหลอมเหลวของส่วนของไขมันที่แยกได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของไขมัน ไขมันแข็งมีปริมาณความไม่อิ่มตัวต่ำมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว การแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำที่ 15°C และ 10°C ไขมันที่แยกได้มีความไม่อิ่มตัวหรือมีค่า IV เพิ่มขึ้นทั้งส่วนไขมันแข็งและไขมันเหลว ทำให้มีแนวโน้มของจุดหลอมเหลวต่ำลง โดยที่ส่วนของไขมันเหลวซึ่งมีค่า IV สูงกว่าไขมันแข็งจึงมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า และจากกราฟรูปที่ 4.8 พบว่ากระบวนการแยกส่วนแบบชั้นเดียวจุด

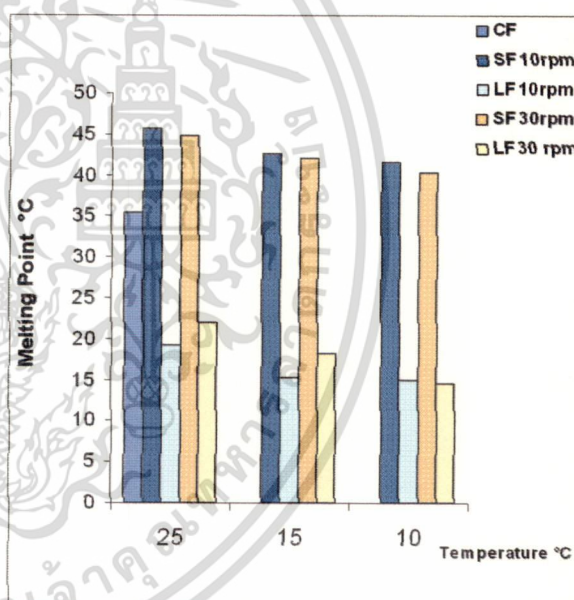
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุลอมเหลวของไขมันแข็งและไขมันเหลวมีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นการตกผลึกน้ำมันเริ่มต้นเพียงขั้นตอนนี้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ดังนั้นการตกผลึกน้ำมันเริ่มต้นที่ 15°C ทำให้ได้ไขมันแข็งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 25°C แต่ไม่เกิน 15°C แต่การตกผลึกน้ำมันเริ่มต้นที่ 25°C ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 25°C สามารถตกผลึกที่อุณหภูมิดังกล่าว ทำให้ไขมันแข็งที่ 25°C มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าที่ไขมันแข็งที่ 15°C (ซึ่งไม่มีไขมันกลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 25°C) จากจุดหลอมเหลวที่แสดงในตารางที่ 4.3 สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามรายงานของ Kaylegian and Lindsay (1994) ได้ 2 กลุ่ม คือ ส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (high melting fraction: HMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $35\text{-}45^{\circ}\text{C}$ และส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (low melting fraction: LMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $10\text{-}25^{\circ}\text{C}$ โดยกลุ่มของ HMF คือไขมันแข็งที่ 25°C ไขมันแข็งที่ 15°C และไขมันแข็งที่ 10°C ส่วนกลุ่มของ LMF เป็นไขมันเหลวที่ 25°C ไขมันเหลวที่ 15°C และไขมันเหลวที่ 10°C



รูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Iodine value กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ



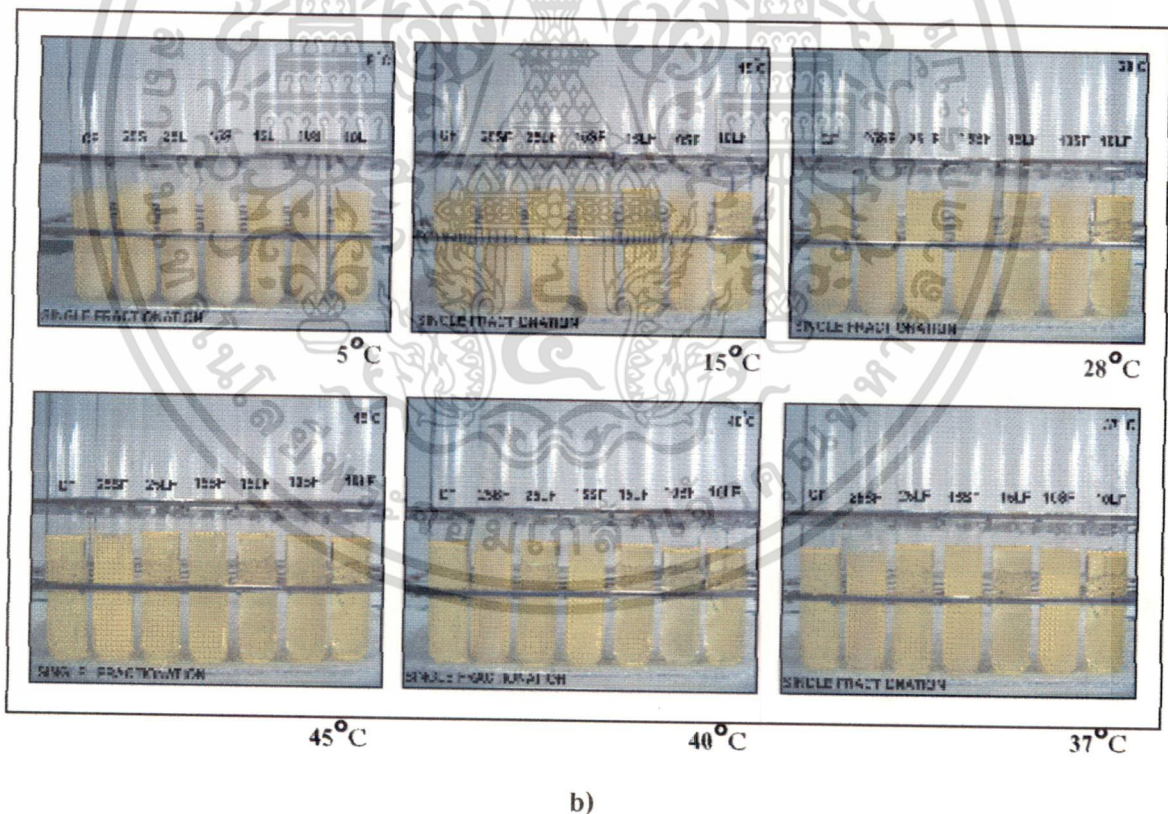
รูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลว กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบขั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมการหลอมเหลวของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ณ อุณหภูมิ 5°C 15°C 28°C 37°C 40°C และ 45°C โดยส่วนของไขมันจากสถานะที่ใช้อัตราการกวน 10 และ 30 rpm มีลักษณะการหลอมเหลวที่คล้ายกัน คือ ที่อุณหภูมิ 5°C ไขมันทุกส่วนยังคงมีสถานะเป็นของแข็ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 15°C ส่วนของไขมันเหลวที่ 10°C ซึ่งมีจุดหลอมเหลว $14.58-14.91^{\circ}\text{C}$ จะหลอมเหลวจนหมด ในขณะที่ไขมันเหลวที่ 15°C มีการหลอมเหลวไปบางส่วนแต่ยังคงมีไขมันแข็งปนอยู่ และไขมันเหลวที่ 25°C เริ่มที่จะหลอมเหลวเมื่อให้อุณหภูมิแก่ไขมันเป็น 28°C ส่วนของไขมันเหลวที่ 10°C และ 15°C จะหลอมเหลวจนหมด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 37°C ไขมันเหลวที่ 25°C มีการหลอมเหลวจนหมด ในขณะที่ไขมันแข็งที่ 15°C น้ำมันที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันแข็งที่ 10°C เริ่มหลอมเหลวมากขึ้นตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 40°C ไขมันแข็งที่ 10°C และน้ำมันไก่หลอมเหลวจนหมด ส่วนไขมันแข็งที่ 25°C เริ่มจะหลอมเหลวที่ 45°C ในขณะที่อุณหภูมิดังกล่าว ไขมันแข็งที่ 15°C จะยังคงมีไขมันแข็งปนอยู่

อุณหภูมิในการตกผลึกมีผลทำให้ค่า SN ในส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แยกได้ต่างกัน (ตารางที่ 4.3) พบว่าที่ทุกอุณหภูมิกการตกผลึกแยกส่วนแบบชั้นเดียวไขมันแข็งมีค่า SN สูงกว่าไขมันเหลว ($p \leq 0.05$) ดังกราฟในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการตกผลึกที่แต่ละอุณหภูมิทำให้ไขมันที่มีกรดไขมันชนิดมวลโมเลกุลต่ำถูกแยกให้อยู่ในส่วนของไขมันแข็ง และไขมันที่มีกรดไขมันโมเลกุลใหญ่หรือพวกที่มีสายโซ่ยาวจะถูกแยกให้อยู่ในส่วนของไขมันเหลว และจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) พบว่าทุกอุณหภูมิที่ตกผลึกให้ส่วนของไขมันเหลวที่แยกได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าไขมันแข็ง ($p \leq 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.3 การแยกส่วนแบบชั้นเดียวที่แต่ละอุณหภูมิลดปริมาณกรดไขมันอิสระในส่วนของไขมันแข็ง แต่จะทำให้ไขมันเหลวมีกรดไขมันอิสระสูงขึ้น และมีแนวโน้มของปริมาณกรดไขมันอิสระที่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิกการตกผลึกลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของไขมันที่แยกส่วนได้ โดยส่วนของไขมันเหลวซึ่งมีค่า IV สูง คือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สูงกว่าไขมันแข็ง ทำให้ไขมันเหลวมีความสามารถในการเกิดออกซิเดชันได้สูงกว่าไขมันแข็ง จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

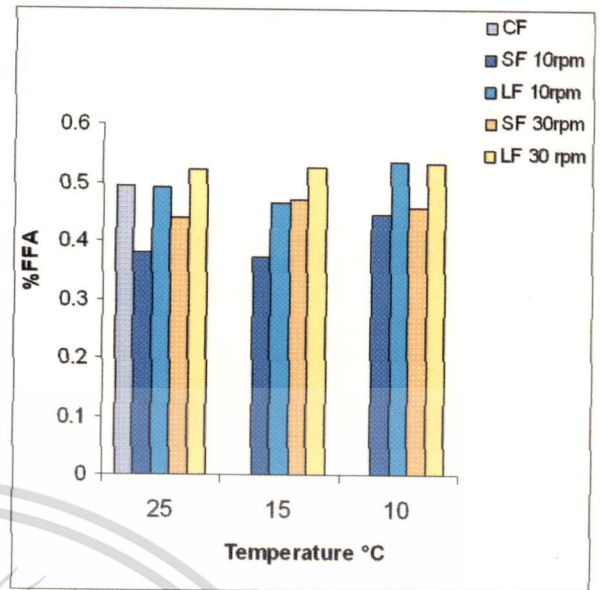
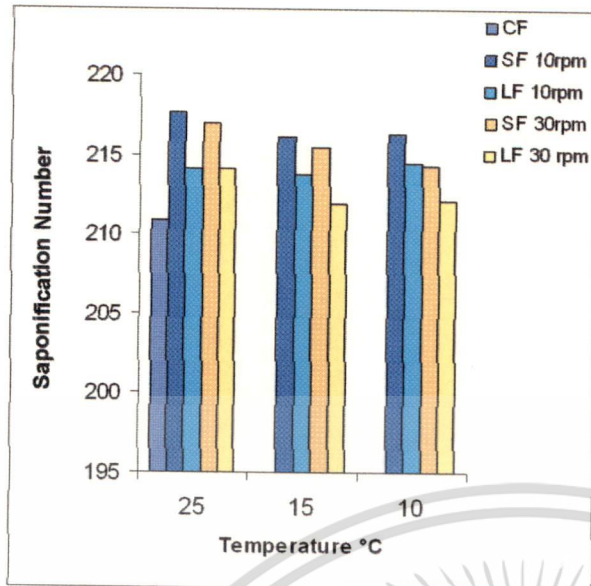


รูปที่ 4.9 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันไก่ และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว

a) อัตราการกวน 10 rpm b) อัตราการกวน 30 rpm

เรียงหลอดจากซ้ายไปขวาในแต่ละภาพดังนี้ CF, 25SF, 25LF, 15SF, 15LF, 10SF, 10LF

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saponification number กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Free fatty acid กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ

การวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันส่วนต่างๆที่แยกได้ (Fatty acid composition) แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกไขมันมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันที่แยกได้มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ในขณะที่การแยกส่วนที่อัตราการกวน 10 rpm และ 30 rpm ให้ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันไก่คือ โอเลอิก (C18:1) 33.15%, พามิติก (C16:0) 25.27%, ลิโนเลอิก (C18:2) 20.75%, ลิโนเลนิก (C18:3) 10.11%, พามิโตเลอิก (C16:1) 5.21%, สเตริอริก (C18:0) 4.95%, และไมริสติก (C14:0) 0.55% สภาพที่ทำการศึกษาในกระบวนการแยกส่วนไขมันแบบชั้นเดียว มีผลทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันที่แยกได้มีการเปลี่ยนแปลง แสดงในกราฟในรูปที่ 4.12 และ 4.13 คือไขมันทุกส่วนที่แยกได้เมื่ออุณหภูมิในการตกผลึกลดต่ำลงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวจะลดลง เช่น การตกผลึกที่ 25°C ไขมันเหลวปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้นจาก 69.22% (ไขมันไก่) เป็น 69.70-70.60% และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ลดลงจาก 30.78% (ไขมันไก่) เป็น 29.40-30.30% ในขณะที่ส่วนของไขมันแข็งให้ผลตรงข้ามกันคือมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้นจาก 30.78% (ไขมันไก่) เป็น 41.69-42.63% และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มตาม equivalent carbon number คือ ECN = 40 (LLL_n) ECN = 42 (LLL) ECN = 44 (OLL, PLL) ECN = 46 (OOL, PLO, PPL) ECN=48 (OOO, POO, PPO, PPP) ECN= 50 (OOS, PSO, PPS)

ผลการวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่ที่ผ่านการแยกส่วน พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิตกผลึกลดลงมีผลทำให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) คือมีผลต่อปริมาณ UUS-TAG และ SSS-TAG อย่างเห็นได้ชัด โดยการใช้อุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้ส่วนของไขมันเหลวและไขมันแข็งมีปริมาณ UUS-TAG เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในส่วนของไขมันเหลวที่มีปริมาณ UUS-TAG มากกว่าส่วนไขมันแข็ง ในขณะที่ส่วนของไขมันแข็งมีปริมาณ SSS-TAG ลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาผลของอัตราการกวนที่อุณหภูมิการตกผลึกเดียวกันพบว่าอัตราการกวนที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในไขมันที่แยกได้แตกต่างกัน

จากข้อมูลไตรกลีเซอไรด์ดังตารางที่ 4.5 จะพบว่าไตรกลีเซอไรด์กลุ่มหลักที่พบในน้ำมันไก่ มี 4 กลุ่ม คือ UUS-TAG 48.42% (โดยมี PLO 19.48% และ POO 16.45% เป็นไตรกลีเซอไรด์หลัก) UUU-TAG 26.18% (OOL 9.11%, OLL 6.51% และ OOO 5.806% เป็นไตรกลีเซอไรด์หลัก) USS-TAG 22.54% (PPO 12.01% เป็นไตรกลีเซอไรด์หลัก) และ SSS-TAG 2.85% (PPP 1.95% เป็นไตรกลีเซอไรด์หลัก) ตามลำดับ

ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียวทั้งที่อุณหภูมิ 25 °C และ 10 °C มีปริมาณ UUU-TAG และ UUS-TAG สูงกว่าส่วนของไขมันแข็งที่แยกด้วยอุณหภูมิเดียวกัน และอุณหภูมิแยกส่วนที่ 10 °C สามารถแยกไตรกลีเซอไรด์ชนิด UUS-TAG และ UUU-TAG ให้อยู่ในไขมันเหลวได้มากที่สุดคือ UUS-TAG 52.97% (ที่ 10 rpm) และ 51.93% (ที่ 30 rpm) และ UUU-TAG 33.06%(ที่ 10 rpm) และ 32.71%(ที่ 30 rpm) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เหล่านี้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงทำให้มีจุดหลอมเหลวต่ำ จากรายงานของ Ghotra *et al.* (2002) กล่าวถึงจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ดังนี้ PLO = -2.8 °C, POO = 15.5 °C, OLL = -6.6 °C, OOL = -1.1 °C, และ OOO = 5.5 °C ทำให้ไขมันเหลวที่ 10 °C มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แยกส่วนที่อุณหภูมิ 15 °C และ 25 °C ในขณะเดียวกันจากข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าส่วนของไขมันเหลวที่ 15 °C และ 10 °C ไม่พบ SSS-TAG ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 56.1-60 °C Ghotra *et al.* (2002) ทำให้ไขมันเหลวดังกล่าวมีจุดหลอมเหลวต่ำ

ส่วนของไขมันแข็งมีปริมาณ SSS-TAG และ USS-TAG สูงกว่าส่วนของไขมันเหลว โดยเฉพาะไขมันแข็งจากการแยกส่วนที่ 25 °C มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์กลุ่มดังกล่าวมากกว่าไขมันแข็งที่แยกด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C เนื่องจาก SSS-TAG เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงสามารถละลายใน UUS-TAG และ USS-TAG ได้น้อยจึงเป็นกลุ่มแรกที่ตกผลึกออกมาก่อน (Loisel

et al., 1998) ไขมันแข็งที่ตกผลึกด้วยอุณหภูมิ 10°C และ 15°C มีปริมาณ UUU-TAG (ประกอบด้วย OOL) และ UUS-TAG (PLL, PLO และ POO) สูงกว่าไขมันแข็งที่ 25°C ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์เหล่านี้เป็นกลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ไขมันแข็งที่อุณหภูมิ 10°C และ 15°C ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันแข็งที่ 25°C และจากผลของลักษณะผลึกไขมัน รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าไขมันแข็งที่ได้จากอุณหภูมิ 10°C และ 15°C มีแนวโน้มเกิดลักษณะผลึกไขมันคู่คี่ไขมันเหลวไว้ ซึ่งไขมันเหลวที่ถูกคู่คี่นี้เป็นไตรกลีเซอไรด์ประเภทจุดหลอมเหลวต่ำทำให้ไขมันแข็งจากอุณหภูมิดังกล่าวมีจุดหลอมเหลวต่ำ ปริมาณ SSS-TAG ที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.5 มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการหลอมเหลวของไขมัน คือไขมันแข็งที่มี SSS-TAG (ประกอบด้วย PPP และ PPS ที่มีจุดหลอมเหลว 56.1°C และ 60°C ตามลำดับ) เป็นองค์ประกอบสูงทำให้ไขมันแข็งที่ตกผลึกที่ 25°C เริ่มหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 45°C ในขณะที่ไขมันแข็งที่ 10°C และ 15°C มีปริมาณ UUS-TAG และ UUU-TAG ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำเป็นองค์ประกอบสูงกว่าจึงทำให้ไขมันแข็งดังกล่าวเริ่มมีหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 37°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันไก่ และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบซินติว (% fatty acid composition)

อัตราการกวน	single Fraction	กรดไขมัน (% fatty acid composition)										
		C14	C16	C16:1	C18	C18:1	C18:2	C18:3	SFA	MUFA	PUFA	USFA
10 rpm	CF	0.55 ^{ab} ± 0.02	25.27 ^b ± 2.77	5.21 ^{ns} ± 0.72	4.95 ^{de} ± 0.23	33.15 ^{bc} ± 0.98	20.75 ^{ab} ± 3.40	10.11 ^a ± 1.28	30.78 ^b ± 2.99	38.37 ^{abcd} ± 1.70	30.86 ^{ns} ± 4.68	69.22 ^a ± 2.99
	25SF	0.54 ^{ab} ± 0.00	33.44 ^a ± 0.58	4.35 ^{ns} ± 0.42	7.72 ^a ± 0.00	28.22 ^d ± 0.56	20.42 ^{ab} ± 0.07	5.32 ^b ± 0.52	41.69 ^a ± 0.58	32.57 ^c ± 0.14	25.74 ^{ns} ± 0.44	58.31 ^b ± 0.58
	25LF	0.34 ^{bc} ± 0.03	23.86 ^b ± 0.24	4.86 ^{ns} ± 0.08	5.21 ^d ± 0.01	34.19 ^{abc} ± 0.20	25.50 ^{ab} ± 0.47	6.05 ^b ± 0.07	29.40 ^b ± 0.27	39.05 ^{abcd} ± 0.28	31.55 ^{ns} ± 0.55	70.60 ^a ± 0.27
	15SF	0.45 ^{bc} ± 0.08	30.77 ^a ± 1.65	4.49 ^{ns} ± 0.51	6.87 ^{bc} ± 0.28	30.52 ^{cd} ± 0.83	21.52 ^{ab} ± 2.47	5.57 ^b ± 0.33	38.09 ^a ± 1.46	35.02 ^{de} ± 1.34	26.89 ^{ns} ± 2.80	61.91 ^b ± 1.46
	15LF	0.27 ^c ± 0.01	22.82 ^b ± 0.69	5.15 ^{ns} ± 0.72	4.78 ^{def} ± 0.30	35.30 ^{ab} ± 2.15	25.78 ^a ± 2.14	5.90 ^b ± 1.14	27.87 ^b ± 0.40	40.45 ^{abcd} ± 2.87	31.68 ^{ns} ± 3.27	72.13 ^a ± 0.40
	10SF	0.51 ^{ab} ± 0.18	30.99 ^a ± 2.83	4.80 ^{ns} ± 0.68	6.60 ^c ± 0.36	32.08 ^{bcd} ± 1.68	20.64 ^{ab} ± 3.41	4.39 ^b ± 1.60	38.09 ^a ± 2.65	36.88 ^{cde} ± 2.36	25.03 ^{ns} ± 5.01	61.91 ^b ± 2.65
	10LF	0.35 ^{bc} ± 0.11	21.28 ^b ± 0.65	5.72 ^{ns} ± 0.98	4.27 ^e ± 0.44	37.67 ^a ± 3.71	25.26 ^{ab} ± 3.22	5.46 ^b ± 1.79	25.89 ^b ± 0.32	43.39 ^{ab} ± 4.69	30.72 ^{ns} ± 5.01	74.11 ^a ± 0.32
	25SF	0.51 ^{ab} ± 0.04	34.72 ^a ± 2.12	4.53 ^{ns} ± 0.54	7.39 ^{ab} ± 0.41	30.19 ^{cd} ± 1.52	18.76 ^b ± 2.76	3.89 ^b ± 1.05	42.63 ^a ± 1.75	34.72 ^{de} ± 2.06	22.65 ^{ns} ± 3.81	57.37 ^b ± 1.75
	25LF	0.43 ^{bc} ± 0.03	24.94 ^b ± 2.50	5.44 ^{ns} ± 0.63	4.93 ^{bc} ± 0.07	36.18 ^{ab} ± 1.83	23.20 ^{ab} ± 3.23	4.89 ^b ± 1.68	30.30 ^b ± 2.45	41.62 ^{abc} ± 2.46	28.08 ^{ns} ± 4.91	69.70 ^a ± 2.45
	15SF	0.68 ^a ± 0.05	31.16 ^a ± 3.50	4.88 ^{ms} ± 0.43	6.47 ^c ± 0.10	32.10 ^{bcd} ± 1.33	20.19 ^{ab} ± 3.39	4.52 ^b ± 1.71	38.30 ^a ± 3.34	36.99 ^{cde} ± 1.76	24.71 ^{ms} ± 5.10	61.70 ^b ± 3.34
15LF	0.41 ^{bc} ± 0.16	21.69 ^b ± 2.50	5.70 ^{ns} ± 0.71	4.40 ^{ef} ± 0.01	37.80 ^a ± 2.10	24.88 ^{ab} ± 3.68	5.13 ^b ± 1.81	26.49 ^b ± 2.67	43.50 ^a ± 2.82	30.00 ^{ms} ± 5.48	73.51 ^a ± 2.67	
10SF	0.51 ^{ab} ± 0.13	31.25 ^a ± 2.75	4.84 ^{ms} ± 0.43	6.34 ^c ± 0.10	32.66 ^{bcd} ± 1.09	20.22 ^{ab} ± 2.98	4.17 ^b ± 1.32	38.10 ^a ± 2.77	37.50 ^{bcd} ± 1.53	24.39 ^{ns} ± 4.30	61.90 ^b ± 2.77	
10LF	0.42 ^{bc} ± 0.03	22.89 ^b ± 0.22	5.78 ^{ms} ± 0.75	4.45 ^{ef} ± 0.50	37.61 ^a ± 2.97	23.84 ^{ab} ± 2.40	5.01 ^b ± 1.07	27.76 ^b ± 0.25	43.39 ^{ab} ± 3.72	28.84 ^{ms} ± 3.47	72.24 ^a ± 0.25	

หมายเหตุ 25SF: ไขมันแข็งที่ 25°C, 25LF: ไขมันเหลวที่ 25°C,

15SF: ไขมันแข็งที่ 15°C, 15LF: ไขมันเหลวที่ 15°C,

10SF: ไขมันแข็งที่ 10°C, 10LF: ไขมันเหลวที่ 10°C,

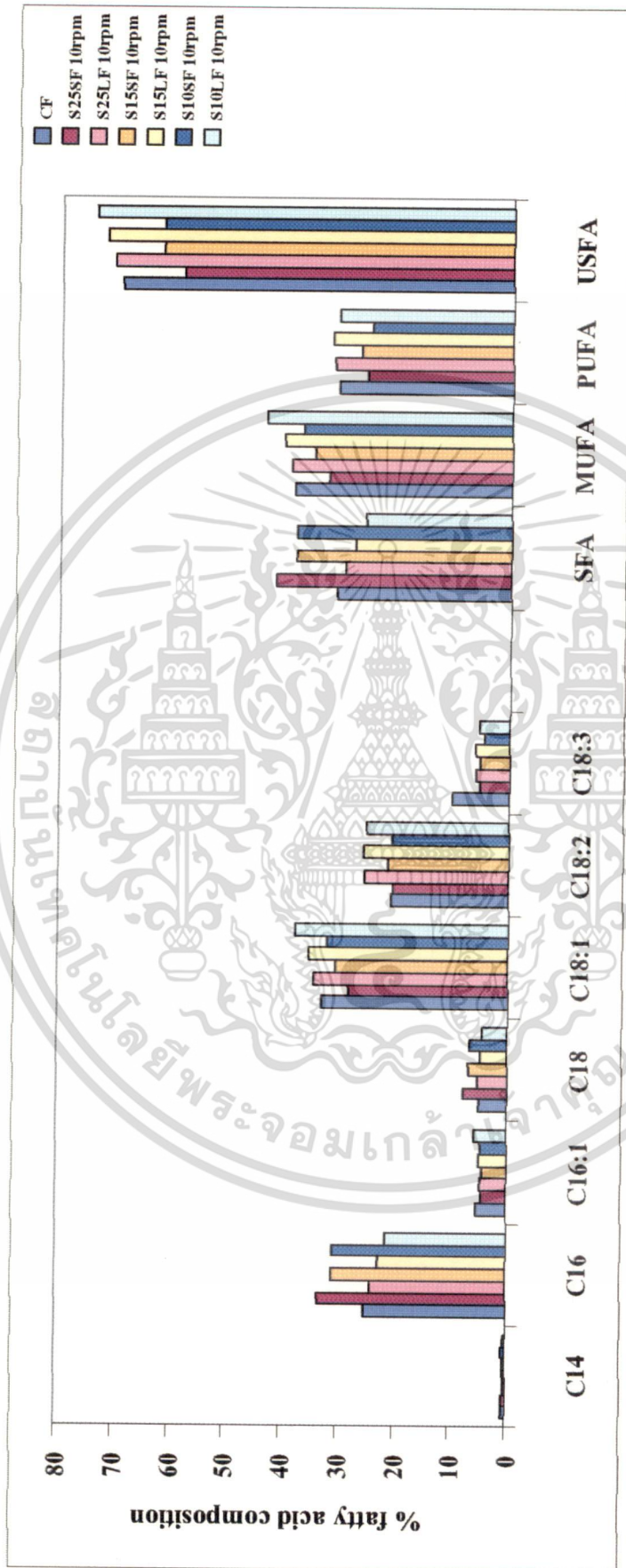
อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

SAF: Saturated fatty acid

MUFA: Monounsaturated fatty acid

USFA: Unsaturated fatty acid

PUFA: Polyunsaturated fatty acid



รูปที่ 4.12 กรดไขมันหลักของไขมันไก่ และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบขึ้นเดี่ยวด้วยอัตราการกวน 10 rpm

หมายเหตุ SAF: Saturated fatty acid

MUFA: Monounsaturated fatty acid

PUFA: Polyunsaturated fatty acid

USFA: Unsaturated fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กรดไขมันหลักของไขมันไก่ และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบขึ้นเดี่ยวด้วยอัตราความเร็ว 30 rpm

หมายเหตุ SAF: Saturated fatty acid

MUFA: Monounsaturated fatty acid

PUFA: Polyunsaturated fatty acid

USFA: Unsaturated fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride profile) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบเข้มข้น (% peak area)

อัตรา การกวาด	Triglyceride																	USS	UUS	UUU	SSS
	Single Fraction	LLLn	LLL ^{ns}	OLL ^{ns}	PLL	OOL	PLO	PPL	OOO	POO	PPO	PPP	OOS	PSO	PPS						
	ECN	40	42	44	44	46	46	46	48	48	48	48	50	50	50						
	sum. double bond	7	6	5	4	4	3	2	3	2	1	0	2	1	0						
10 rpm	CF	0.76 ^b	3.99	6.51	9.03 ^{bc}	9.11 ^{bcd}	19.49 ^{abc}	6.56 ^{bcd}	5.81 ^a	16.45 ^{ab}	12.01 ^{ab}	1.96 ^{cd}	3.45 ^{ab}	3.97 ^{ab}	0.90 ^d	26.18 ^{abcd}	48.42 ^{cd}	22.54 ^{abcd}	2.85 ^d		
	25SF	1.13 ^{ab}	5.19	7.24	8.86 ^c	7.77 ^{ef}	15.37 ^e	6.37 ^{bcd}	3.33 ^d	11.37 ^f	11.54 ^{abc}	7.40 ^a	2.09 ^{abc}	5.44 ^{ab}	6.89 ^a	24.66 ^{cd}	37.70 ^f	23.35 ^{abc}	14.29 ^a		
	25LF	1.26 ^{ab}	7.07	9.13	11.27 ^{ab}	10.09 ^{ab}	20.32 ^{ab}	6.64 ^{bcd}	4.68 ^{abcd}	14.28 ^{bcd}	8.83 ^{cde}	0.42 ^e	1.74 ^{bc}	2.65 ^b	1.62 ^{bc}	32.23 ^{abc}	47.61 ^e	18.11 ^{cdef}	2.04 ^d		
	15SF	1.07 ^{ab}	5.34	7.44	9.48 ^{bc}	8.18 ^{def}	16.90 ^{de}	7.22 ^{abc}	3.57 ^d	12.45 ^{ef}	12.18 ^{ab}	3.93 ^b	2.34 ^{abc}	5.47 ^{ab}	4.42 ^{abc}	25.60 ^{bcd}	41.18 ^e	24.87 ^{ab}	8.35 ^{bc}		
	15LF	1.22 ^{ab}	6.53	9.69	12.02 ^a	10.72 ^a	21.04 ^a	5.54 ^{cd}	5.16 ^{abc}	15.50 ^{abcd}	7.73 ^e		2.31 ^{abc}	2.54 ^b	2.10 ^{bc}	33.33 ^a	50.86 ^{abcd}	15.81 ^{ef}	5.65 ^{cd}		
	10SF	1.11 ^{ab}	4.48	7.14	9.47 ^{bc}	7.91 ^{de}	16.32 ^{de}	7.71 ^{ab}	4.79 ^{abcd}	14.33 ^{bcd}	14.18 ^a	3.54 ^b	2.39 ^{abc}	4.51 ^{ab}	2.10 ^{bc}	25.43 ^{bcd}	42.52 ^e	26.40 ^a	5.65 ^{cd}		
30 rpm	10LF	1.10 ^{ab}	6.01	9.04	11.29 ^{ab}	11.04 ^a	21.89 ^a	5.15 ^d	5.88 ^a	17.15 ^a	6.28 ^e		2.65 ^{abc}	2.52 ^b	33.07 ^{ab}	52.97 ^a	13.96 ^f				
	25SF	0.76 ^b	4.38	6.49	8.76 ^c	7.42 ^f	16.23 ^{de}	6.55 ^{bcd}	4.64 ^{abcd}	12.99 ^{def}	12.36 ^{ab}	6.71 ^a	2.49 ^{abc}	5.12 ^{ab}	5.12 ^{ab}	23.69 ^d	40.46 ^{ef}	24.02 ^{ab}	11.83 ^{ab}		
	25LF	0.64 ^b	5.19	7.82	9.78 ^{abc}	9.82 ^{abc}	20.04 ^{ab}	5.16 ^d	5.60 ^{ab}	16.53 ^{ab}	10.94 ^{bcd}	1.24 ^{de}	2.28 ^{abc}	4.19 ^{ab}	0.77 ^d	29.07 ^{abcd}	48.63 ^{bcd}	20.29 ^{bcd}	2.01 ^d		
	15SF	0.94 ^b	5.00	7.27	10.14 ^{abc}	8.77 ^{cde}	17.51 ^{cde}	7.58 ^{ab}	3.93 ^{cd}	13.28 ^{def}	12.30 ^{ab}	3.32 ^b	2.27 ^{abc}	4.82 ^{ab}	2.87 ^{bc}	25.90 ^{abcd}	43.20 ^c	24.70 ^{ab}	6.19 ^{cd}		
	15LF	1.06 ^{ab}	5.68	8.52	11.22 ^{ab}	10.03 ^{ab}	20.39 ^{ab}	5.70 ^{cd}	5.77 ^a	16.12 ^{abc}	8.15 ^{de}		3.79 ^a	3.57 ^{ab}	2.14 ^{bc}	31.06 ^{abcd}	51.52 ^{abc}	17.42 ^{def}	6.19 ^{cd}		
	10SF	0.89 ^{ab}	4.36	7.19	9.56 ^{bc}	8.88 ^{bcd}	18.36 ^{bcd}	8.69 ^a	4.25 ^{bcd}	13.65 ^{cdef}	13.21 ^{ab}	3.04 ^b	1.16 ^c	4.61 ^{ab}	2.14 ^{bc}	25.57 ^{bcd}	42.73 ^e	26.52 ^a	5.18 ^{cd}		
	10LF	1.90 ^a	5.89	8.18	10.97 ^{abcd}	10.88 ^a	21.44 ^a	5.23 ^d	5.87 ^d	15.99 ^{abc}	6.52 ^e		3.53 ^{ab}	3.61 ^{ab}	32.71 ^{ab}	51.93 ^{ab}	15.36 ^{ef}				

หมายเหตุ 25SF: ไขมันแข็ง ที่ 25°C, 25LF: ไขมันเหลว ที่ 25°C,

15SF: ไขมันแข็ง ที่ 15°C, 15LF: ไขมันเหลว ที่ 15°C,

10SF: ไขมันแข็ง ที่ 10°C, 10LF: ไขมันเหลว ที่ 10°C,

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

UUU: triunsaturated triglyceride

UUS: diunsaturated-monosaturated triglyceride

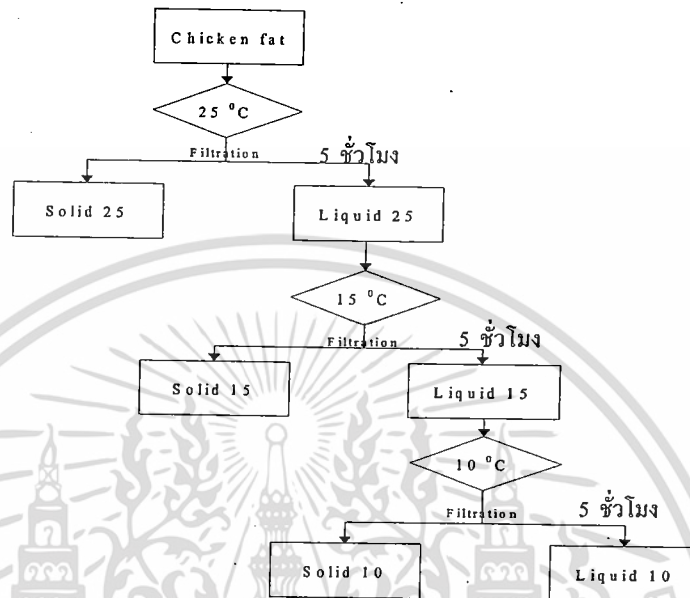
USS: monounsaturated-disaturated triglyceride

SSS: trisaturated triglyceride

sum. double bond : ผลรวมของพันธะคู่ในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

4.3.2 ผลการศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมันไก่แบบหลายขั้น (Multiple-step fractionation)

ศึกษาอิทธิพลของอัตราการกวน (10 และ 30 rpm) ในกระบวนการการแยกส่วนแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation) ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 วิธีการแยกส่วนแบบหลายขั้น (multiple-step fractionation)

4.3.2.1 ผลของกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่แบบหลายขั้นต่อปริมาณและลักษณะของไขมันไก่

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าอัตราการกวนทั้ง 2 อัตราไม่มีผลต่อทำให้ปริมาณไขมันแข็งเมื่อทำการแยกส่วนแบบหลายขั้นแตกต่างกัน แต่อัตราการกวนมีผลต่อลักษณะของผลึกไขมันดังรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไขมันแข็งที่ใช้อัตราการกวนสูงให้ผลึกที่มีขนาดเล็กละเอียด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 15°C และ 10°C ลักษณะของไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนวิธีนี้เกิดลักษณะ oil entrapment น้อยกว่าวิธีแยกส่วนแบบหลายขั้น ลักษณะของผลึกที่ลดลงนอกจากจะมีผลมาจากอัตราการกวนแล้วยังมีรายงานว่าผลมาจากการกระบวนการตกผลึก Kaylegian and Lindsay (1994) ที่กล่าวถึงการนำไขมันเหลวมาตกผลึกซ้ำมีผลทำให้ผลึกมีขนาดลดลง ซึ่งในการทดลองสังเกตได้ว่าไขมันแข็งที่ผ่านการตกผลึกซ้ำด้วยอุณหภูมิ 15°C และ 10°C ตามลำดับ ให้ผลึกที่มีขนาดลดลงกว่าไขมันแข็งที่ 25°C อย่างชัดเจน จากตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณไขมันแข็งที่แยกได้จะมีปริมาณน้อยกว่าไขมันเหลว โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 15°C และ 10°C เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการนำเอาไขมันเหลวที่แยกได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิสูง (25°C) นำมาตกผลึกต่อด้วยอุณหภูมิต่ำลงมา คือ 15°C และ 10°C ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 25°C ตกผลึกออกไปก่อนแล้วในส่วนของไขมันแข็งที่ 25°C (โดยอัตราการกวน 10 rpm ให้ปริมาณไขมันแข็ง 25.50% และ 25.75% ที่ 30 rpm) เมื่อนำไขมันเหลวที่ 25°C มาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิ 15°C ทำให้ส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 25°C แต่สูงกว่า 15°C ตกผลึกออกมาที่อุณหภูมิ 15°C ในปริมาณ 6.049% และ 7.13% ที่อัตราการกวน 10 rpm และ 30 rpm ตามลำดับ เช่นเดียวกันเมื่อนำไขมันเหลวจากการแยกส่วนที่ 15°C มาตกผลึกที่อุณหภูมิ 10°C ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 15°C แต่สูงกว่า 10°C จะตกผลึกออกมา ณ อุณหภูมิดังกล่าวในปริมาณ 7.64% และ 8.30% ที่อัตราเร็ว 10 rpm และ 30 rpm ตามลำดับ ทำให้ปริมาณไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำมีปริมาณลดลง



รูปที่ 4.17 ลักษณะไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายขั้น

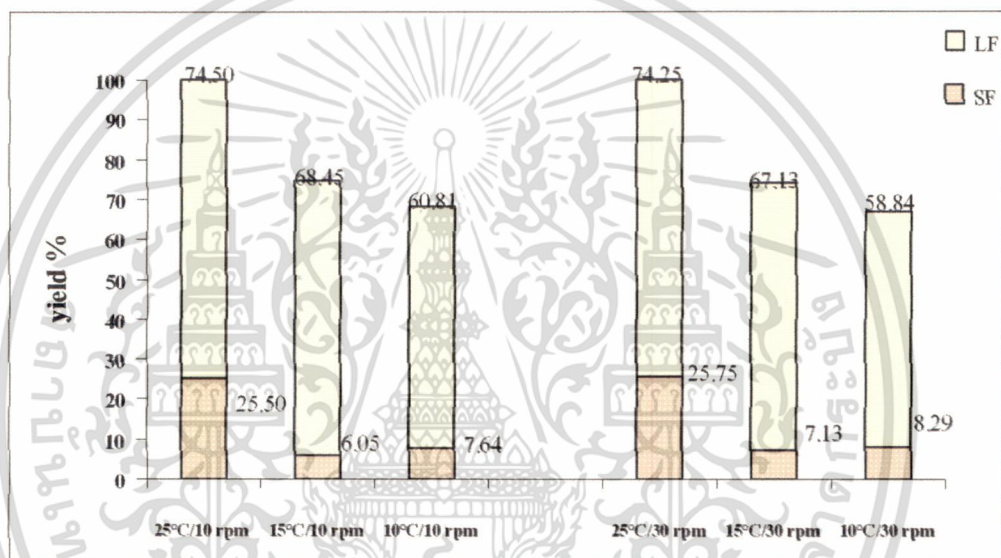
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น

อัตราการกวน	น้ำมันไก่ เริ่มต้น (%)	Fraction					
		ไขมันแข็ง ที่ 25°C	ไขมันเหลว ที่ 25°C	ไขมันแข็ง ที่ 15°C	ไขมันเหลว 15°C	ไขมันแข็ง ที่ 10°C	ไขมันเหลว 10°C
10 rpm	100	25.50 ± 0.30	74.50 ± 0.30	6.05 ± 0.68	68.45 ± 0.98	7.64 ± 1.44	60.81 ± 0.46
30 rpm	100	25.75 ± 0.59	74.25 ± 0.59	7.13 ± 1.88	67.13 ± 1.30	8.30 ± 1.93	58.84 ± 0.66

หมายเหตุ 25SF + 15SF + 10SF + 10LF = 100 %

SF: ไขมันแข็ง LF: ไขมันเหลว



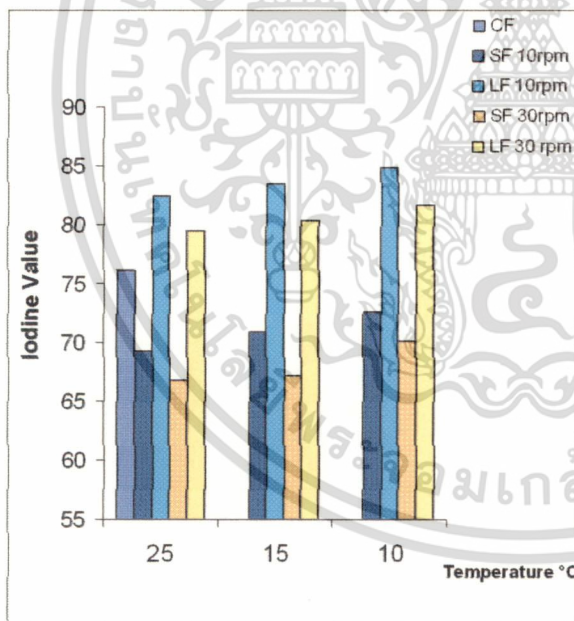
รูปที่ 4.18 ปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น

หมายเหตุ SF: ไขมันแข็ง LF: ไขมันเหลว

4.3.2.2 ผลของคุณสมบัติของไขมันที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้น

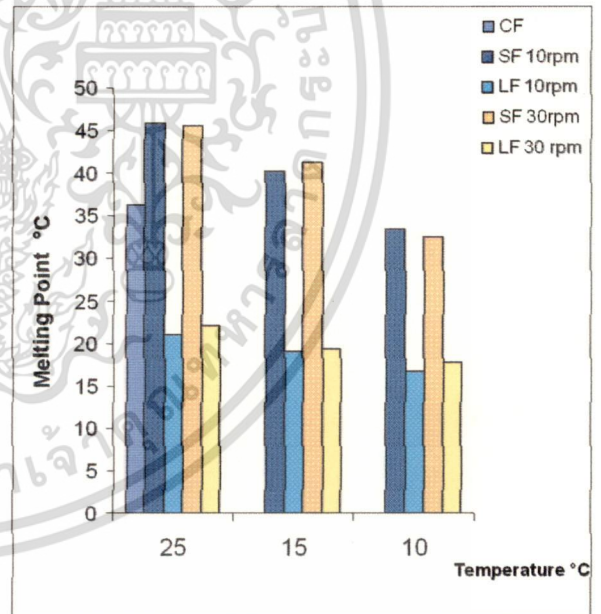
ผลการวิเคราะห์ค่า Iodine Value (IV) ในส่วนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิและอัตราการกวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า IV ของไขมันส่วนต่างๆ ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิในการตกผลึกซ้ำที่ลดลงมีผลไปเพิ่มค่า IV คือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ไขมันที่แยกได้ในลำดับถัดมาทั้งส่วนของไขมันเหลวและไขมันแข็ง โดยที่ส่วนของไขมันเหลวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันแข็ง ($p < 0.05$) ณ อุณหภูมิแยกส่วนเดียวกันอัตราการกวนด้วยความเร็วต่ำ 10 rpm ให้ไขมันทั้งส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวมีค่า IV สูงกว่าอัตราการกวนสูง 30 rpm จากตารางที่ 4.7 ไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่ 10°C 10 rpm มีค่า IV สูงที่สุดคือ 84.88 ± 0.77 และจากกราฟที่ 4.19 พบว่าการแยกส่วนด้วยวิธีหลายชั้นมีการเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า IV ของไขมันแตกต่างจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว โดยเฉพาะในส่วนไขมันแข็งเนื่องจากวิธีนี้เป็นการนำไขมันเหลวที่แยกได้จากอุณหภูมิสูงมาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิต่ำลง ไขมันเหลวที่นำมาตกผลึกซ้ำจึงมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ ทำให้ไขมันเหลวที่ถูกแยกในลำดับต่อมา มีไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นและมีไขมันอิ่มตัวลดลงมาก ซึ่งจะมีผลต่อจุดหลอมเหลวของส่วนไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่ลดลงมากกว่าไขมันแข็งที่แยกได้จากวิธีการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ณ อุณหภูมิการตกผลึกเดียวกัน การนำเอาไขมันเหลวมาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิ 15°C และ 10°C ด้วยอัตราการกวน 10 rpm ให้ส่วนของไขมันที่มีค่า IV สูงกว่าอัตราการกวน 30 rpm ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ Grall and Hartel (1992) อธิบายถึงกลไกการเจริญของผลึกไขมันนมที่แยกส่วนแบบหลายชั้นดังนี้ การใช้อัตราการกวนต่ำช่วยส่งเสริมให้ผลึกเกิดการเจริญ โดยมีการรวมตัวกันของผลึกเดิมกับผลึกที่เกิดขึ้นใหม่โดยจับกันแบบหลวมมีโอกาสที่ไขมันเหลวซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวแทรกอยู่ในโครงสร้างของผลึกได้ ในขณะที่การเพิ่มอัตราการกวนในการแยกส่วนไขมันเหลวซ้ำที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะมีการจับตัวกันแน่นกว่าการใช้อัตราการกวนต่ำ ทำให้ไขมันแข็งที่ใช้อัตราการกวนต่ำ (10 rpm) มีค่า IV ของสูงกว่าไขมันแข็งที่กวน 30 rpm



รูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Iodine value กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.20

รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลว กับ ไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับจุดหลอมเหลวของไขมันส่วนต่างๆที่แยกได้จะความสัมพันธ์กับความไม่อิ่มตัวของไขมัน โดยอุณหภูมิในการตกผลึกซ้ำที่ลดต่ำลง ทำให้ไขมันที่แยกได้ในลำดับถัดมามีความไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นและมีจุดหลอมเหลวลดลง ดังกราฟในรูปที่ 4.20 สำหรับส่วนของไขมันแข็งจุดหลอมเหลวมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง โดยไขมันแข็งจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว เนื่องจากการตกผลึกไขมันเหลวซ้ำ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกแยกออกมาในไขมันแข็งส่วนแรก (คือ ไขมันแข็งที่ 25°C) ทำให้ไขมันแข็งที่ 15°C เป็นกลุ่มของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 25°C แต่สูงกว่า 15°C ดังนั้นไขมันแข็งที่ 25°C จึงมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันแข็งที่ 15°C และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ไขมันแข็งที่ 10°C จึงมีจุดหลอมเหลวลดต่ำลงมา จากข้อมูลของจุดหลอมเหลวของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายขั้น ดังตารางที่ 4.7 สามารถแบ่งเป็นกลุ่มตามรายงานของ Kaylegian and Lindsay (1994) ได้ 3 กลุ่ม คือส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (high melting fraction: HMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $35-45^{\circ}\text{C}$ ส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวปานกลาง (middle melting fraction: MMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $25-35^{\circ}\text{C}$ และ ส่วนของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (low melting fraction: LMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $10-25^{\circ}\text{C}$ โดยกลุ่มของ HMF จะเป็น ไขมันแข็งที่ 25°C และไขมันแข็งที่ 15°C ส่วนกลุ่มของ MMF จะเป็น ไขมันแข็งที่ 10°C และกลุ่มของ LMF จะเป็น ไขมันเหลวที่ 25°C ไขมันเหลวที่ 15°C และไขมันเหลวที่ 10°C

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพน้ำมันไก่และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น

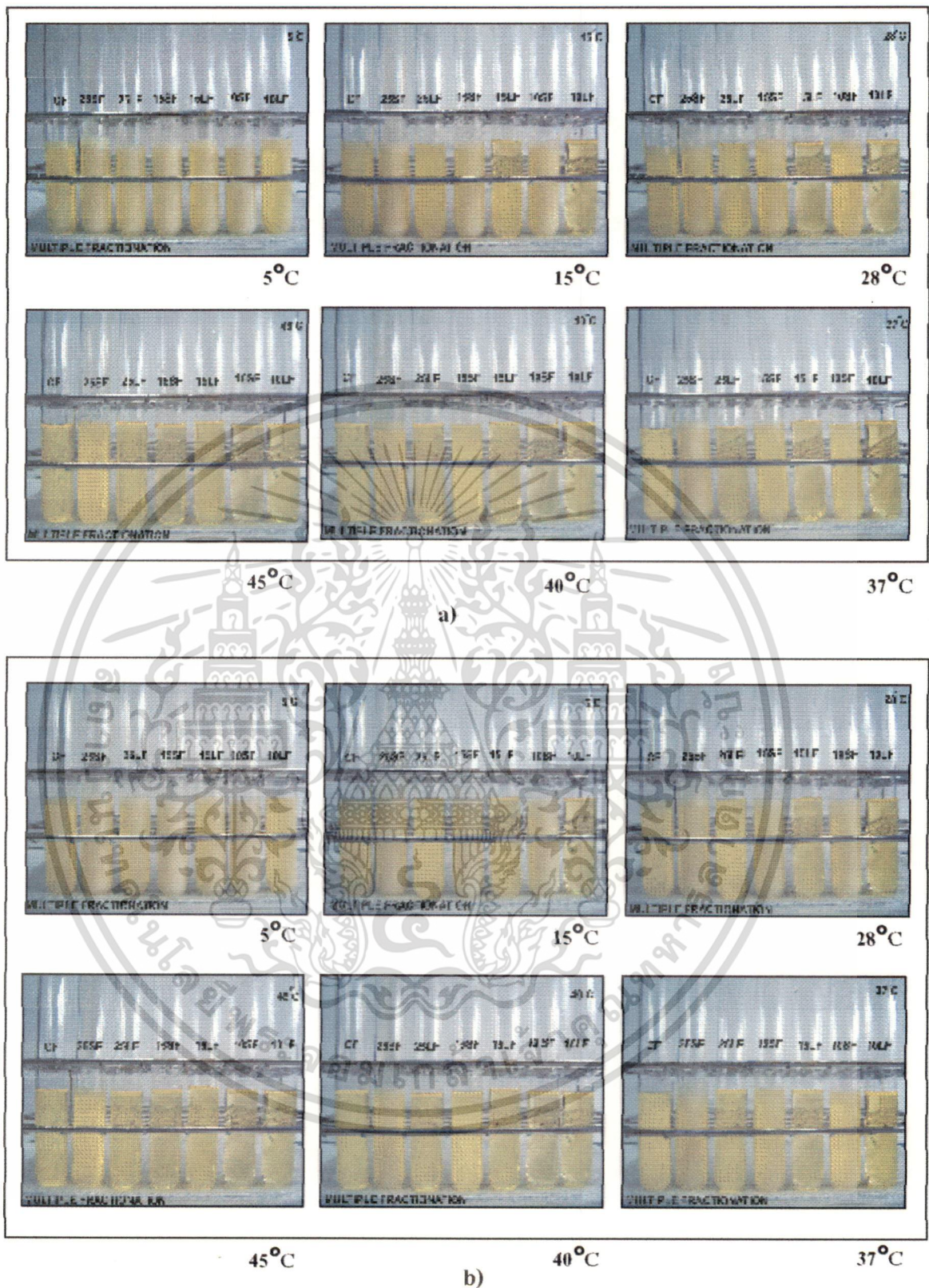
อัตราการกวน	Fraction	การวิเคราะห์			
		จุดหลอมเหลว, °C (clear point)	Iodine value	Saponification number	% Free fatty acid
	น้ำมันไก่เริ่มต้น	36.25 ^c ± 0.35	76.14 ^c ± 0.11	204.24 ^{abcd} ± 1.17	0.52 ^a ± 0.02
10 rpm	SF ที่ 25°C	45.83 ^a ± 0.94	69.27 ^g ± 0.12	204.49 ^{abcd} ± 0.80	0.39 ^b ± 0.01
	LF ที่ 25°C	21.08 ^e ± 0.58	82.45 ^b ± 0.90	203.25 ^{abcd} ± 0.74	0.49 ^a ± 0.01
	SF ที่ 15°C	40.25 ^b ± 1.29	70.94 ^{fg} ± 0.49	205.94 ^a ± 1.34	0.38 ^b ± 0.01
	LF ที่ 15°C	19.08 ^{fg} ± 0.35	83.42 ^{ab} ± 0.45	202.90 ^{cd} ± 1.31	0.49 ^a ± 0.01
	SF ที่ 10°C	33.41 ^d ± 1.76	72.58 ^f ± 0.20	203.73 ^{abcd} ± 1.45	0.39 ^b ± 0.01
	LF ที่ 10°C	16.70 ^h ± 0.53	84.88 ^a ± 0.77	200.57 ^e ± 0.95	0.51 ^a ± 0.00
30 rpm	SF ที่ 25°C	45.50 ^a ± 0.00	66.75 ^h ± 0.71	204.85 ^{abc} ± 0.17	0.39 ^b ± 0.01
	LF ที่ 25°C	22.08 ^e ± 0.35	79.52 ^d ± 0.24	203.86 ^{abcd} ± 0.88	0.49 ^a ± 0.01
	SF ที่ 15°C	41.25 ^b ± 0.82	67.18 ^h ± 0.28	205.49 ^{ab} ± 0.98	0.39 ^b ± 0.01
	LF ที่ 15°C	19.33 ^{fg} ± 0.47	80.43 ^{cd} ± 1.59	203.69 ^{abcd} ± 0.19	0.50 ^a ± 0.03
	SF ที่ 10°C	32.62 ^d ± 0.05	70.08 ^g ± 1.06	205.52 ^{ab} ± 0.96	0.41 ^b ± 0.01
	LF ที่ 10°C	17.83 ^{gh} ± 1.64	81.66 ^{bc} ± 1.99	202.39 ^{de} ± 1.06	0.51 ^a ± 0.01

หมายเหตุ SF: ไขมันแข็ง, LF: ไขมันเหลว, FFA (as % oleic) Iodine value (g I₂ / 100 g oil) saponification number (mg KOH / 1 g oil)

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พฤติกรรมการหลอมเหลวของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ด้วยวิธีการแยกส่วนแบบหลายชั้น แสดงในรูปที่ 4.21 ลักษณะการหลอมเหลวดังนี้ ไขมันทุกส่วนยังคงเป็นของแข็งที่ 5°C ส่วนไขมันเหลวที่ 10°C จะหลอมเหลวหมดที่ 15°C และไขมันเหลวที่ 25°C เริ่มมีการหลอมเหลว ในขณะที่ไขมันเหลวที่ 15°C หลอมเหลวจนเกือบหมดที่อุณหภูมิดังกล่าว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 28°C ไขมันเหลวที่ 15°C จะหลอมเหลวจนหมด ส่วนไขมันเหลวที่ 25°C ยังคงมีไขมันแข็งปนอยู่ และหลอมเหลวหมดที่อุณหภูมิ 37°C และที่ 37°C น้ำมันไก่ ไขมันแข็งที่ 10°C และไขมันแข็งที่ 15°C เริ่มมีการหลอมเหลว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 40°C ไขมันเกือบทุกส่วนหลอมเหลวจนหมด ยกเว้น ไขมันแข็งที่ 15°C ที่ยังคงมีไขมันแข็งเหลืออยู่ ส่วนไขมันแข็งที่ 25°C เริ่มมีการหลอมที่อุณหภูมิ 45°C แต่ที่อุณหภูมินี้ไขมันแข็งที่ 15°C หลอมเหลวหมด

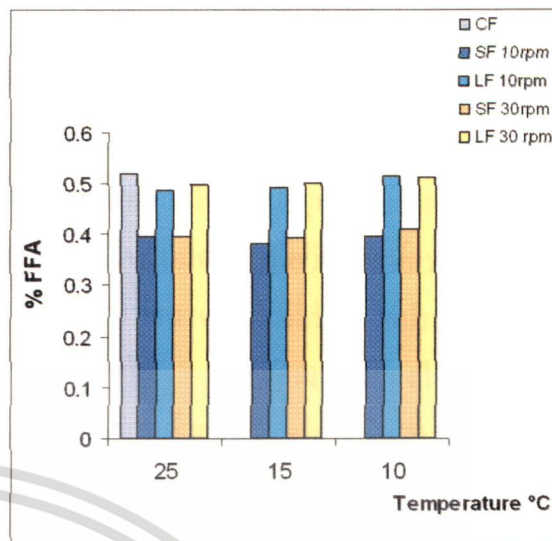
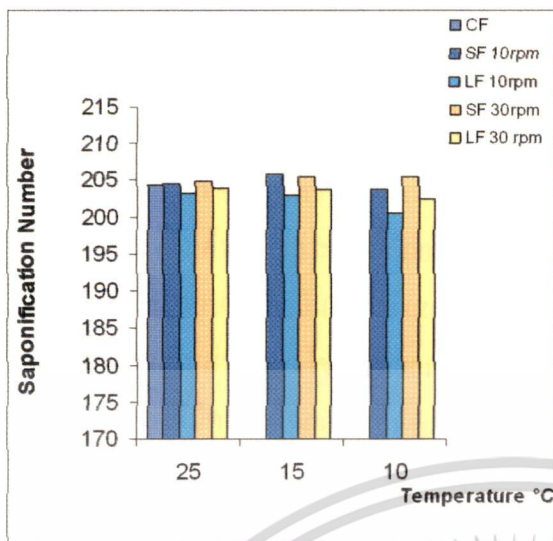
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันไก่ และไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น

a) อัตราการกวน 10 rpm b) อัตราการกวน 30 rpm

เรียงหลอดจากซ้ายไปขวาในแต่ละภาพดังนี้ CF, 25SF, 25LF, 15SF, 15LF, 10SF, 10LF
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22

รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saponification number กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.23

รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Free fatty acid กับไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการแยกส่วนมีผลทำให้ไขมันแข็งที่แยกได้มีค่า SN สูงกว่าไขมันเหลว ไขมันเหลวที่ 10°C 30 rpm มีค่า SN ต่ำกว่าไขมันเหลวจากสองอุณหภูมิอื่น ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ใช้อัตราความเร็ว 10 rpm มีแนวโน้มที่ค่า SN ลดลงทั้งในไขมันแข็งและไขมันเหลวเมื่อใช้อุณหภูมิตกผลึกลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันแข็งเมื่อใช้อุณหภูมิตกผลึกลดลงไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น เช่นเดียวกับไขมันเหลวเมื่ออุณหภูมิตกผลึกต่ำลง ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันเหลวไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และอัตราการกวนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในการแยก เมื่อพิจารณาที่แต่ละอุณหภูมิการแยกส่วนพบว่าไขมันแข็งมีกรดไขมันอิสระน้อยกว่าไขมันเหลว ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระมีความสัมพันธ์กับค่า IV ที่มีอยู่ในไขมัน คือส่วนของไขมันเหลวที่มีปริมาณความไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มที่จะเกิดการออกซิเดชันให้ได้กรดไขมันอิสระสูงกว่าส่วนของไขมันแข็ง

การวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันที่แยกได้แบบหลายชั้น (ตารางที่ 4.8) พบว่าอัตราการกวนที่ 10 rpm และ 30 rpm ให้ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในส่วนของไขมันที่แยกได้ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาที่แต่ละอุณหภูมิของการแยกส่วนพบว่าส่วนของไขมันแข็งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเลอิก (C18:1) ลิโนเลอิก (C18:2) และ พามิโตเลอิก (C16:1) ลดลง แต่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวพามิติก (C16:0) และสเตียริก (C18:0) เพิ่มขึ้น ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันเหลวมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันแข็ง ไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำด้วยอุณหภูมิที่ลดต่ำลง คือ $25^{\circ}\text{C} \rightarrow 15^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$ มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์กลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำเพิ่มขึ้น และไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำที่ 15°C และ 10°C ไม่ปรากฏส่วนของ SSS-TAG เนื่องจากกลุ่มไตรกลีเซอไรด์จุดหลอมเหลวสูงถูกแยกออกไปก่อนแล้ว ทำให้ไขมันเหลวมีจุดหลอมเหลวลดลงพิจารณาจาก triglyceride profile พบว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้ไขมันที่แยกส่วนแบบหลายขั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามที่อธิบายข้างต้น ดังนี้ UUU-TAG คือ OOL และ OOO, UUS-TAG คือ PLO PLL และ POO, USS-TAG คือ PSO PPO และ PPL, SSS-TAG คือ PPP และ PPS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันไก่ และส่วนไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น (% fatty acid composition)

อัตราส่วน	กรดไขมัน (% fatty acid composition)											SFA	MUFA	PUFA	USFA
	C14	C16	C16:1	C18	C18:1	C18:2	C18:3	SFA	MUFA	PUFA	USFA				
Multiple Fraction	CF	0.55 ^{bc} ± 0.10	25.27 ^b ± 2.77	5.21 ^b ± 0.72	4.95 ^d ± 0.23	33.15 ^c ± 0.98	20.75 ^a ± 3.40	10.11 ^a ± 1.28	30.78 ^b ± 2.99	38.37 ^{bc} ± 1.70	30.86 ^a ± 4.68	69.22 ^a ± 2.99			
	2SSF	0.65 ^{bc} ± 0.02	35.99 ^a ± 0.91	4.96 ^b ± 0.00	7.07 ^{ab} ± 0.09	31.63 ^d ± 0.24	16.69 ^b ± 0.70	3.01 ^{bc} ± 0.02	43.71 ^a ± 0.91	36.59 ^{cd} ± 0.23	19.70 ^b ± 0.68	56.29 ^b ± 0.91			
	25LF	0.55 ^{bc} ± 0.26	26.84 ^b ± 0.04	6.00 ^a ± 0.02	4.89 ^{de} ± 0.05	37.70 ^b ± 0.28	20.48 ^a ± 0.30	3.54 ^{bc} ± 0.12	32.28 ^b ± 0.12	43.71 ^a ± 0.30	24.02 ^a ± 0.42	67.72 ^a ± 0.12			
	15SF	0.84 ^a ± 0.02	36.29 ^a ± 2.33	5.11 ^b ± 0.16	6.99 ^{abc} ± 0.59	31.63 ^d ± 1.78	16.20 ^b ± 0.86	2.93 ^{bc} ± 0.38	44.12 ^a ± 3.19	36.74 ^{abcd} ± 1.94	19.14 ^b ± 1.24	55.88 ^b ± 3.19			
	15LF	0.47 ^{bc} ± 0.01	26.05 ^b ± 0.17	6.07 ^a ± 0.16	4.69 ^{de} ± 0.04	38.21 ^{ab} ± 0.31	20.83 ^a ± 0.28	3.68 ^{bc} ± 0.09	31.22 ^b ± 0.11	44.27 ^a ± 0.47	24.51 ^a ± 0.37	68.78 ^a ± 0.11			
	10SF	0.59 ^{bc} ± 0.03	34.31 ^a ± 0.29	5.22 ^b ± 0.01	6.58 ^b ± 0.03	33.32 ^c ± 0.15	17.01 ^b ± 0.44	2.98 ^{bc} ± 0.05	41.47 ^a ± 0.33	38.54 ^b ± 0.17	19.99 ^b ± 0.49	58.53 ^b ± 0.33			
	10LF	0.46 ^c ± 0.05	25.32 ^b ± 0.16	6.14 ^a ± 0.04	4.46 ^f ± 0.09	38.71 ^{ab} ± 0.22	21.15 ^a ± 0.46	3.77 ^b ± 0.09	30.23 ^b ± 0.29	44.85 ^a ± 0.25	24.92 ^a ± 0.55	69.77 ^a ± 0.29			
	25SF	0.63 ^{bc} ± 0.04	36.57 ^a ± 0.38	4.96 ^b ± 0.08	7.27 ^a ± 0.05	31.39 ^d ± 0.37	16.29 ^b ± 0.05	2.89 ^{bc} ± 0.03	44.47 ^a ± 0.48	36.35 ^c ± 0.46	19.19 ^b ± 0.02	55.53 ^b ± 0.48			
	25LF	0.52 ^{bc} ± 0.03	26.57 ^b ± 0.40	6.10 ^a ± 0.18	4.81 ^{de} ± 0.10	37.97 ^{ab} ± 0.44	20.46 ^a ± 0.06	3.56 ^{bc} ± 0.08	31.91 ^b ± 0.60	44.07 ^a ± 0.62	24.02 ^a ± 0.02	68.09 ^a ± 0.60			
	15SF	0.66 ^{ab} ± 0.05	36.61 ^a ± 0.24	5.00 ^b ± 0.05	7.09 ^{ab} ± 0.04	31.88 ^{cd} ± 0.26	15.96 ^b ± 0.02	2.79 ^c ± 0.03	44.36 ^a ± 0.25	36.88 ^{bcd} ± 0.31	18.75 ^b ± 0.05	55.64 ^b ± 0.25			
15LF	0.52 ^{bc} ± 0.16	26.26 ^b ± 0.10	6.09 ^a ± 0.08	4.76 ^{de} ± 0.09	38.15 ^{ab} ± 0.17	20.58 ^a ± 0.07	3.65 ^{bc} ± 0.03	31.54 ^b ± 0.20	44.24 ^a ± 0.25	24.23 ^a ± 0.05	68.46 ^a ± 0.20				
10SF	0.62 ^{bc} ± 0.13	34.57 ^a ± 0.45	5.27 ^b ± 0.04	6.65 ^{bc} ± 0.14	33.17 ^c ± 0.04	16.75 ^b ± 0.36	2.97 ^{bc} ± 0.11	41.84 ^a ± 0.56	38.44 ^{bc} ± 0.09	19.72 ^b ± 0.47	58.16 ^b ± 0.56				
10LF	0.46 ^c ± 0.03	24.72 ^b ± 0.81	6.03 ^a ± 0.25	4.60 ^{de} ± 0.08	39.29 ^a ± 0.48	21.24 ^a ± 0.43	3.66 ^{bc} ± 0.08	29.78 ^b ± 0.74	45.32 ^a ± 0.23	24.91 ^a ± 0.51	70.22 ^a ± 0.74				

25SF: ไขมันแข็งที่ 25°C, 25LF: ไขมันเหลวที่ 25°C,
 15SF: ไขมันแข็งที่ 15°C, 15LF: ไขมันเหลวที่ 15°C,
 10SF: ไขมันแข็งที่ 10°C, 10LF: ไขมันเหลวที่ 10°C,

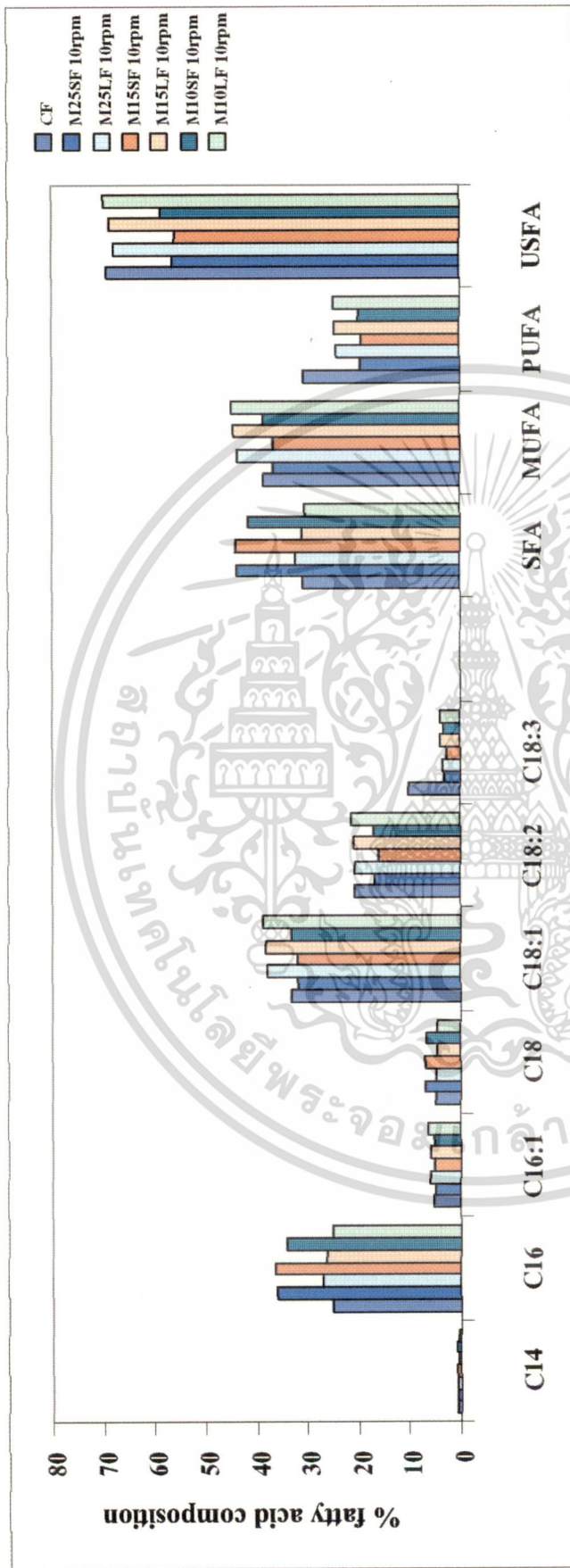
อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

SAF: Saturated fatty acid

MUFA: Monounsaturated fatty acid

USFA: Unsaturated fatty acid

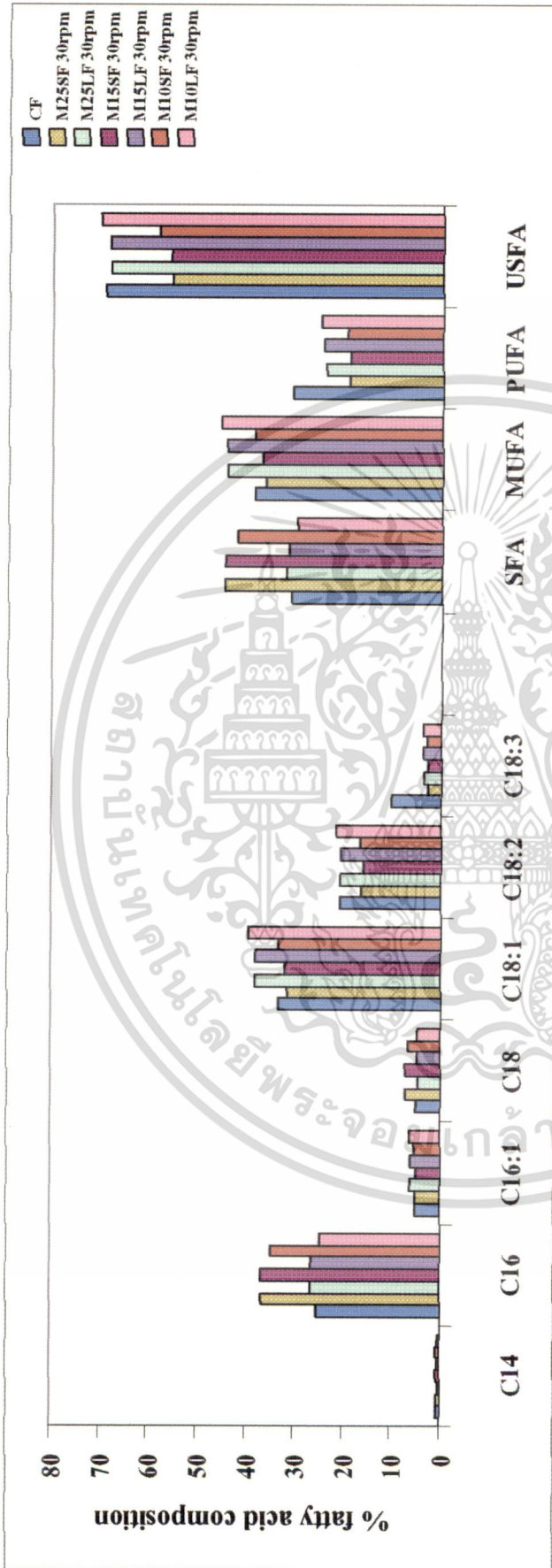
PUFA: Polyunsaturated fatty acid



รูปที่ 4.24 กรดไขมันหลักของไขมวนไก่ และส่วนที่ได้อีกการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วยอัตราการกวน 30 rpm

หมายเหตุ SAF: Saturated fatty acid
 MUFA: Monounsaturated fatty acid
 PUFA: Polyunsaturated fatty acid
 USFA: Unsaturated fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กรดไขมันหลักของไขมันไก่ และส่วนที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วยอัตราความเร็ว 30 rpm

หมายเหตุ

SFA: Saturated fatty acid

MUFA: Monounsaturated fatty acid

PUFA: Polyunsaturated fatty acid

USFA: Unsaturated fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride profile) ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันไก่และการแยกส่วนแบบหลายชั้น (% peak area)

อัตรา การกวน	Triglyceride																UUS	USS	SSS		
	Multiple Fraction																				
	ECN	sum. double bond	LLL ^{ns}	LLLn ^{ns}	OLL	PLL	OOL	PLO	PPL	OOO	POO	PPO	PPP	OOS ^{ns}	PSO	PPS					
10 rpm	40	7	42	44	44	46	46	46	48	48	48	48	48	50	50	50	26.18 ^a	48.42 ^b	22.54 ^{bc}	2.85 ^c	
30 rpm	40	7	42	44	44	46	46	46	48	48	48	48	48	50	50	50	21.41 ^{bc}	41.52 ^c	26.75 ^b	10.32 ^a	
หมายเหตุ	25SF: ไขมันแข็ง ที่ 25°C, 25LF: ไขมันเหลว ที่ 25°C, 15SF: ไขมันแข็ง ที่ 15°C, 15LF: ไขมันเหลว ที่ 15°C, 10SF: ไขมันแข็ง ที่ 10°C, 10LF: ไขมันเหลว ที่ 10°C, อักษรที่แตกต่างกัน ในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 UUU: transaturated triglyceride UUS: diunsaturated-monosaturated triglyceride USS: monounsaturated-disaturated triglyceride SSS: trisaturated triglyceride sum. double bond : ผลรวมของพันธะคู่ในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์																				

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การแยกส่วนไขมันแบบขั้นตอนเดียว อุณหภูมิที่ลดลง และ อัตราการกวนสูง 30 rpm มีผลทำให้ปริมาณไขมันแข็งเพิ่มขึ้น การตกผลึกที่ 10°C 30 rpm ให้ปริมาณไขมันแข็งสูงสุดคือ $61.25 \pm 5.22\%$ ผลึกมีขนาดเล็กแต่ไขมันแข็งที่ได้จะเกิด oil entrapment มากกว่าการใช้อัตราการกวน 10 rpm การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 25°C ที่อัตราการกวน 10 และ 30 rpm ผลึกที่ได้มีขนาดใหญ่ กรองง่าย การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15°C และ 10°C ลักษณะของผลึกที่ได้จะมีขนาดเล็กน้อยกว่าที่ 25°C และการใช้อัตราการกวนที่สูง 30 rpm ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลงลดประสิทธิภาพการกรองเกิดการดูดซับไขมันเหลวไว้

ส่วนของไขมันแข็งที่แยกได้จะมีค่า IV ต่ำกว่าไขมันเหลว และเมื่อใช้อุณหภูมิในการตกผลึกลดลงจะเพิ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้มากขึ้นทั้งในส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลว การตกผลึกที่ 10°C 30 rpm มีค่า IV สูงสุดทั้งในส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลว คือ 80.95 ± 0.57 และ 93.45 ± 0.31 ตามลำดับ ส่วนการตกผลึกที่ 25°C 30 rpm ทั้งในส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวจะมีค่า IV ต่ำสุดคือ 70.28 ± 1.10 และ 85.02 ± 0.17 ตามลำดับ จุดหลอมเหลวของไขมันที่แยกได้จะสอดคล้องกับค่า IV คือ ไขมันแข็งซึ่งมีความไม่อิ่มตัวต่ำจึงมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว และส่วนของไขมันที่แยกด้วยอุณหภูมิต่ำลงจะมีจุดหลอมเหลวต่ำลง การแยกส่วนแบบขั้นเดียวสามารถแยกส่วนของไขมันได้เป็น 2 กลุ่มตามจุดหลอมเหลว คือ กลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงและกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ การแยกส่วนไขมันแบบขั้นตอนเดียวจะให้ส่วนของไขมันแข็งมีค่า SN และ ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าไขมันเหลว

อุณหภูมิในการแยกส่วนแบบขั้นเดียวมีผลต่อปริมาณกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในไขมันที่แยกได้ อุณหภูมิในการแยกส่วนที่ลดต่ำลงจะทำให้ไขมันทุกส่วนที่แยกได้มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ในส่วนไขมันแข็งพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าในไขมันเหลวและมีไตรกลีเซอไรด์ กลุ่มจุดหลอมเหลวสูงคือ SSS-TAG และ USS-TAG สูงกว่า ในขณะที่ไขมันเหลวจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันแข็งและมีไตรกลีเซอไรด์กลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (UUU-TAG และ UUS-TAG) สูงกว่า ทำให้ส่วนไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว ไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกที่อุณหภูมิ 25°C มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและ SSS-TAG และ USS-TAG เพิ่มขึ้นและมีมากกว่าไขมันแข็งจากอุณหภูมิ 15°C และ 10°C ทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันแข็งจาก 15°C และ 10°C เช่นเดียวกันในไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่ 10°C จะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวและ UUU-TAG และ UUS-TAG สูงกว่าไขมันเหลวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15°C และ 25°C จึงทำให้ไขมันเหลวที่ 10°C มีจุดหลอมเหลวต่ำลง การแยกส่วนแบบชั้นเดียว ช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในส่วนของไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกที่ 10°C 10 rpm, 10°C 30 rpm และ 15°C 10 rpm

การแยกส่วนแบบหลายชั้นโดยใช้อุณหภูมิในการตกผลึก คือ 25°C 15°C และ 10°C สามารถแยกไขมันได้ทั้งหมด 6 ส่วนต่อหนึ่งกระบวนการ พบว่าที่อุณหภูมิศึกษาเดียวกันการใช้ อัตราการกวน 10 rpm และ 30 rpm ปริมาณส่วนของไขมันที่แยกได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนการตกผลึก ไขมันเหลวซ้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C อนุภาคของผลึกจะมีขนาด

อุณหภูมิในการตกผลึกที่ลดลง และการใช้อัตราการกวนต่ำ (10 rpm) ในการแยกส่วนแบบ หลายชั้นทำให้เพิ่มค่า IV ทั้งในไขมันแข็งและไขมันเหลว อุณหภูมิในการแยกส่วนซ้ำที่ลดลงทำให้ ไขมันมันที่แยกได้ในลำดับต่อมา มีจุดหลอมเหลวลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงของจุดหลอมเหลว ในส่วนของไขมันแข็งมาก เนื่องจากวิธีนี้นำไขมันเหลวที่แยกจากอุณหภูมิสูงมากผลึกซ้ำที่อุณหภูมิ ต่ำลงมา ทำให้ไขมันแข็งซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงถูกแยกออกไปแล้ว ส่วนของไขมันแข็งที่ได้เมื่อตก ผลึกที่อุณหภูมิต่ำลงจึงมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันแข็งส่วนก่อนหน้านี้ วิธีการแยกส่วนแบบหลาย ชั้นสามารถแบ่งส่วนไขมันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง ไขมันที่มีจุดหลอมเหลว ปานกลาง และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ

การแยกส่วนที่แต่ละอุณหภูมิไขมันแข็งจะมีค่า SN สูงกว่าไขมันเหลว การแยกแบบหลาย ชั้น ส่วนที่เป็นไขมันเหลวที่ 10°C ทั้งสองอัตราการกวน 30 rpm และ 10 rpm มีค่า SN ต่ำที่สุด คือ 202.39±1.06 และ 200±0.95 ตามลำดับ การแยกส่วนซ้ำที่ทุกอุณหภูมิทำให้ไขมันแข็งมีกรดไขมัน อิศระน้อยกว่าไขมันเหลว

วิธีการแยกส่วนแบบหลายชั้นที่แต่ละอุณหภูมิมิผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของ กรดไขมัน คือส่วนของไขมันแข็งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงแต่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว เพิ่มขึ้นขณะที่ไขมันเหลวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดไขมันของไขมันที่ แยกได้จากการตกผลึกซ้ำจากอุณหภูมิ 25°C จนถึง 15°C และ 10°C ไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก วิธีการแยกส่วนแบบหลายชั้นเป็นการแยกส่วนซ้ำ ส่วนของไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงจึงถูกแยก ไปอยู่ในไขมันแข็งส่วนแรก ทำให้ส่วนของไขมันแข็งที่ได้เมื่อตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำลงจะมีจุด หลอมเหลวต่ำกว่าไขมันแข็งส่วนแรก ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วน แบบหลายชั้นมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่น เดียวกับการแยกส่วนแบบชั้นเดียว คือส่วนของไขมัน แข็งจะมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์จุดหลอมเหลวสูง SSS-TAG และส่วนของไขมันที่ผ่านการแยกส่วน ซ้ำด้วยอุณหภูมิต่ำลงจะมีปริมาณ SSS-TAG ลดลง จาก 12.06% เป็น 7.39% และ 2.27% (ไขมัน แข็งที่ 25°C 15°C และ 10°C) จึงมีจุดหลอมเหลวลดลงตามลำดับ และไขมันเหลวที่ผ่านการแยก ส่วนซ้ำมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่จุดหลอมเหลวต่ำ (UUU-TAG และ UUS-TAG) เพิ่มขึ้น และไม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบ SSS-TAG ในส่วนของไขมันเหลวที่ 15°C และ 10°C ส่งผลให้ไขมันเหลวเหล่านี้มีจุด
หลอมเหลวลดลง

พฤติกรรมหลอมเหลวของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ณ อุณหภูมิต่างๆจากทั้งสอง
วิธีการแยกส่วนมีลักษณะคล้ายกัน คือไขมันเหลวที่ได้จากอุณหภูมิต่ำจะหลอมเหลวก่อน โดยส่วน
ของไขมันเหลวจากการตกผลึกที่ 10°C (10LF) จะหลอมเหลวหมดก่อนที่อุณหภูมิ 15°C ส่วน
ไขมันเหลวที่แยกได้ที่ 15°C (15LF) และ 25°C (25LF) จะหลอมเหลวหมดเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ
 37°C ในขณะที่เดียวกันที่อุณหภูมิ 37°C น้ำมันไก่และไขมันแข็งจากการตกผลึกที่ 10°C (10SF)
และ 15°C (15SF) เริ่มมีการหลอมเหลวและจะหลอมเหลวหมดที่อุณหภูมิ 40°C ยกเว้นไขมันแข็ง
จากการตกผลึกที่ 15°C (15SF) ที่ยังหลอมเหลวไม่หมด และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 45°C ไขมัน
แข็งที่ 25°C (25SF) เริ่มมีการหลอมเหลว แต่ไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียวคือไขมันแข็ง
จากการตกผลึกที่ 15°C (15SF) ยังคงหลอมเหลวไม่หมด ในขณะที่ไขมันที่ได้จากการแยกส่วน
แบบหลายชั้นจะให้ผลต่างกันคือ ส่วนของไขมันแข็งที่ 15°C (15SF) หลอมเหลวหมดที่อุณหภูมิ
ดังกล่าว

บรรณานุกรม

- กรมปศุสัตว์. กองแผนงาน. 2546. สถิติจำนวนเนื้อไก่ สดส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ. สถิติข้อมูล การปศุสัตว์ 2544. [Online]. Available : http://www.did.go.th/yearly44/stat_dat.1
- กระทรวงพาณิชย์. กลุ่มงานบริการส่งออก 1. สำนักบริการส่งออก. 2545. อุตสาหกรรมการผลิต ไก่เนื้อเพื่อการส่งออกของไทย [Online]. Available : http://www.depthai.go.th/Interdata/service_product01/ข้อมูลพื้นฐานอุตสาหกรรมการผลิตไก่เพื่อการส่งออกของไทย.doc
- ธานี ภาคอุทัย และ วิภาวรรณ ปาณะพล. 2539. การผลิตและการตลาดไก่เนื้อ : สถานภาพและ แนวนโยบาย. กลุ่มงานเศรษฐกิจการปศุสัตว์ กองส่งเสริมการปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 13
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2529. การผลิตไขมันและน้ำมันในอุตสาหกรรม. วิทยาศาสตร์การอาหาร ของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะ เกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 128 หน้า
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์. 2545. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์. 64 หน้า
- AOCS. 1999. **Official Method and Recommended Practices**. 5th ed. Illinois : Champaign AOCS Press.
- Andrikopoulos, N.K. 2002. Chromatographic and Spectroscopic Methods in The Analysis of Triglycerol Species and Regiospecific Isomers of Oils and Fats. **Critical Review in Food Science and Nutrition**. 42(5) : 473-505.
- Antila, V. 1979. The fractionation of milk fat. **Milk Industry**. 81(8) :17-20.
- Amer, M.A., Kupranycz, D.B. and Baker, B.E. 1985. Physical and Chemical Characteristics of Butterfat Fractions obtainn by Crystallization from Molten Fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 62 : 1551-1557.
- Black, R.G. 1975. Partial Crystallization of Milk Fat and Separation of Fraction by Vacuum Filtration. **Australian Journal Dairy Technology**. 30 : 153-156.
- Breeding, C.J. and Marshall, R.T. 1995. Crystallization of Butter Oil and Separation by Filter-Centrifugation. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 72(2) : 449-453.
- Breitschuh, B. and Windhab, E.J. 1998. Parameters Influencing CocrySTALLIZATION and Polymorphism in Milk Fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 75(8) : 897-904.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hamm, W. 1995. Trends in Edible Oil Fractionation. **Trend in Food Science & Technology**. 6(Apri) : 121-126
- Herrera, M.L. and Anon, M.C. 1991. Crystalline Fractionation of Hydrogenated Sunflowerseed Oil II : Differential Scanning Calorimetry. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 68:799-803.
- Herrera, M.L. and Hartel, R.W. 2000. Effect of Processing Conditions on Crystallization Kinetics of a Milk Fat Model System: Microstructure. **Ibid**. 77 : 1197-1204.
- Herrera, M.L., Segura, J.A., Rivarola, G.J. and Anon, M.C. 1992. Relationship Between cooling Rate and Crystallization Behavior of Hydrogenated Sunflower seed Oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 69(8) : 898-905.
- Kaylegian, K.E. and Lindsay, R.C. 1992. Performance of selected milk fat fractions in cold-spread butter. **Journal of Dairy Science**. 75(12) : 3307-3317.
- Kaylegian, K.E., Hartel, R. W. and Lindsay, R. C. 1993. Application of Modified Milk Fat in Food Products. **Journal of Dairy Science**. 76(6) : 1782-1796.
- Kaylegian, K.E. and Lindsay, R.C., 1994. **Handbook of Milkfat Fractionation Technology and Application**. Illinois : AOCS press. pp : 662
- Kiyotaka, S. 2000. Crystallization Behavior of Fats and Lipids-A review. **Chemical Engineering Science**. 56 : 2255-2265.
- Lee, K.T. and Foglia, T.A. 2000a. Fractionation of Chicken Triacylglycerol: Synthesis of Structured Lipid with Immobilized Lipase. **Journal of Food Science**. 65(5) : 826-831.
- Lee, K.T., Foglia, T.A., and Oh, M.J. 2000b. **Fractionation of Free Fatty Acid of Chicken Fat and Menhaden oil : Synthesis of Structured Lipid with Immobilied Lipase**. Agricultural Research Service. [Online]. Available: <http://www.nal.usda.gov/tektran/data/000012/55/0000125582.html>/ Aug. 2003.
- Lee K.T. and Foglia T.A. 2000c. Synthesis Purification and Characterization of Structured Lipids Produced from Chicken Fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77(10) : 1027-1034.
- Loisel C., Keller, G., Lecq, G., Bourgaux, C. and Ollivon, M. 1998. Phase Transitions and Polymorphism of Cocoa Butter. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 75(5) : 425-439.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้