

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำ

Fractionation of Lard by Dry Fractionation

คณะผู้วิจัย

รศ. ดร. วรรณ ตั้งเจริญชัย หัวหน้าโครงการวิจัย

น.ส. ศศิพร รัตนสุวรรณ ผู้ช่วยวิจัย

นายทนายวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร ผู้ช่วยวิจัย

RCM
TP
676
09690

เลขสารจ.....
เลขทะเบียน.....83890
วัน,เดือน,ปี...19...0.8. 2551

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยเงินงบประมาณประจำปี 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ยื่นออกไปใช้

11/19/48/03
b.....
.....

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
สารบัญตาราง	ii
สารบัญรูปภาพ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 3 วิธีทดลอง	6
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์การทดลอง	9
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของ ไขมันหมู	9
4.2 คุณสมบัติทางเคมีของไขมันหมูที่แยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว	15
4.3 กรดไขมันของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว	17
4.4 โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียว	20
4.5 ค่าคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (ECN) ของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียว	21
4.6 องค์ประกอบทางเคมีของไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น	27
4.7 กรดไขมันของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น	29
4.8 โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น	31
4.9 ค่าคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (ECN) ของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายขั้น	32

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ผังการแยกส่วนน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว (Single-step dry fractionation)	2
2.2 ผังการแยกส่วนน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น (Multiple-step dry fractionation)	2
4.1 กราฟปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว	11
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ของสารละลายไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนไขมันแข็ง และไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว	12
4.3 ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แยกได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น	23
4.4 การดูดกลืนแสง ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น	24
4.5 ขั้นตอนการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวและหลายขั้น	33
4.6 ไขมันเหลว (liquid fraction) ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว (single step) และแบบหลายขั้น (multiple step)	33
4.7 ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส และไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 40, 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส	34
4.8 กราฟมาตรฐานกรดไขมันคาไพริก (C8:0)	35
4.9 กราฟมาตรฐานกรดไขมันคาพริก (C10:0)	35
4.10 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลอริก (C12:0)	36
4.11 กราฟมาตรฐานกรดไขมันไมริสติก (C14:0)	36
4.12 กราฟมาตรฐานกรดไขมันปาล์มิติก (C16:0)	37
4.13 กราฟมาตรฐานกรดไขมันปาล์มิโตเลอิก (C16:1)	37
4.14 กราฟมาตรฐานกรดไขมันสเตียริก (C18:0)	38
4.15 กราฟมาตรฐานกรดไขมันโอเลอิก (C18:1)	38
4.16 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิโนเลอิก (C18:2)	39
4.17 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิโนเลนิก (C18:3)	39
4.18 กราฟมาตรฐานกรดไขมันอะราซิดิก (C20:0)	40
4.19 กราฟมาตรฐานกรดไขมันเบเฮนิก (C22:0)	40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 กราฟมาตรฐานกรดไขมันอีรูซิก (C22:1)	41
4.21 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิกโนเซริก (C24:0)	41
4.22 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ไตรลิโนเลอิก (LLL-TAG)	42
4.23 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ไตรโอเลอิก (OOO-TAG)	42
4.24 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ 1-3-ไดโอเลอิล-2-ปาล์มิโตอิล กลีเซอรอล (OPO-TAG)	43
4.25 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ 1,2-ไดโอเลอิล-3-สเตียโรอิล กลีเซอรอล (OOS-TAG)	43
4.26 โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน (a.) ไขมันหมูแข็ง (b.) และไขมันเหลว (c.) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC	44

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการแยกส่วนไขมันหนูด้วยอุณหภูมิต่ำ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณประจำปี 2548 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะผู้ร่วมวิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนงบประมาณเพื่องานวิจัยดังกล่าว

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ปริมาณ ไตรกลีเซอไรด์

ขอขอบคุณ คุณวันทนี ช้างน้อย นักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการประสานงานส่วนห้องปฏิบัติการและวิจัยด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

น้ำมันหมู (lard) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเจียวเนื้อเยื่อไขมันหลายประเภท ได้แก่ ไขมันแข็ง (hard fat) ไขมันเปลว (leaf fat) ไขมันร่าแห (cauls fat) ไขมันบริเวณไหล่ (clear fat) ไขมันบริเวณคอ (neck fat) ไขมันกรวย (raffle fat) ไขมันจากการตัดแต่งเนื้อสามชั้น (belly trimming) หรือเศษไขมันตกแต่งจากส่วนต่างๆ รวมถึงหู หาง และอวัยวะภายใน น้ำมันหมูที่เจียวจากเนื้อเยื่อไขมันที่มีคุณภาพดีจะเรียกว่า lard ส่วนน้ำมันหมูที่เจียวมาจากวัตถุดิบหลายๆ อย่างผสมกันเรียกว่า rendered pork fat เนื้อเยื่อไขมันที่ได้จากแต่ละส่วนของหมูจะให้ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน (O'Brien, 1998)

การแยกส่วนไขมัน (fractionation) เป็นการคัดแปรคุณสมบัติของไขมันให้มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการใช้ประโยชน์ เช่น เพื่อให้มีคุณสมบัติของพลาสติก (plasticizing) เพื่อกำจัดแว็กซ์ (wax) เพื่อเพิ่มโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่จำเป็นในน้ำมัน การแยกน้ำมันออกเป็นส่วนๆ เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ไขมัน ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการแยกส่วนคือ ไขมันเหลว (liquid fraction) เรียกว่า โอเลอิน (olein) และไขมันแข็ง (solid fraction) เรียกว่า สเตอริน (stearin) (Hamm, 1995) น้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำมันที่เติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ในอุตสาหกรรมการผลิตเนยเทียม (shortenings) หรือมาการีน (margarines) (Ghotra *et al.*, 2002) การแยกส่วนไขมัน มี 3 วิธีคือ การใช้อุณหภูมิต่ำตกผลึก (dry fractionation) การใช้สารลดแรงตึงผิว (detergent fractionation) และการใช้สารทำละลาย (solvent fractionation) (Foglia *et al.*, 2002; Hamm, 1995) ซึ่งทั้ง 3 วิธี สามารถแยกไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวแตกต่างกันออกจากกัน แต่วิธีการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำอาศัยหลักการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันหรือน้ำมัน เป็นวิธีที่มีความปลอดภัย ต้นทุนต่ำ ไม่มีผลกระทบต่อสารเคมีตกค้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์แยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำทั้งแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันแยกส่วนเพื่อจกสามารถให้ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการนำไขมันแยกส่วนไปใช้ประโยชน์และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ไขมันหมู

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา ต่อการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นตอนเดียวและแบบหลายขั้น
2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแต่ละส่วนของไขมันหมูที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ

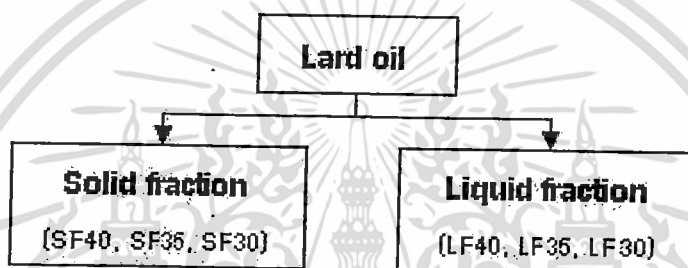
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

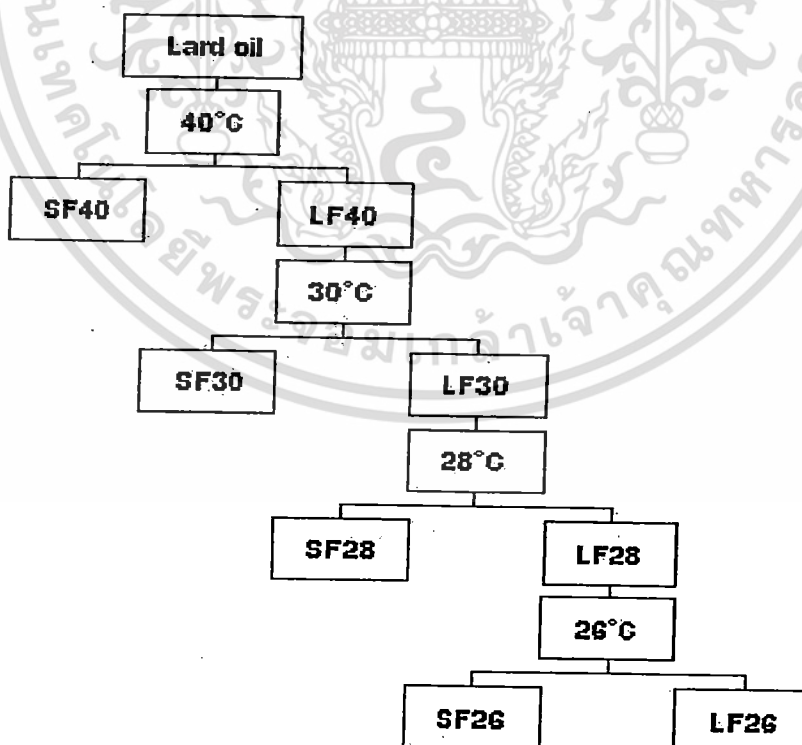
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแยกส่วนไขมัน

การแยกส่วนไขมันและน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่ำ เป็นกระบวนการแยกน้ำมันออกเป็นสองส่วนหรือมากกว่า โดยอาศัยความแตกต่างของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกออกมาก่อน การแยกส่วนไขมันด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถทำได้แบบขั้นเดียว (single-step dry fractionation) ภาพที่ 2.1 และแบบหลายขั้น (multiple-step dry fractionation) ดังแสดงผังการแยกส่วนในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ผังการแยกส่วนน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว (Single-step dry fractionation)
ที่มา: Fatouh *et al.*, 2003



ภาพที่ 2.2 ผังการแยกส่วนน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น (Multiple-step dry fractionation)

ที่มา: Fatouh *et al.*, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวเป็นกระบวนการแยกส่วน ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ ส่วนไขมันแข็ง (solid fat fraction) และ ส่วนไขมันเหลว (liquid fat fraction) ดังรูปที่ 2.1 การใช้อุณหภูมิในการแยกส่วนที่ต่ำลงจะสามารถตกผลึกไขมันแข็งได้มากขึ้น การแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น จะใช้อุณหภูมิที่สูงก่อน จากนั้นนำส่วนของไขมันเหลวที่แยกได้มาทำการแยกส่วนซ้ำ (refractionation) โดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการแยกครั้งแรก จำนวนส่วนของไขมันแข็งและส่วนของไขมันเหลวที่แยกได้ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการแยก ดังรูปที่ 2.2

2.2 หลักสำคัญของการแยกส่วนไขมัน

หลักสำคัญของการแยกส่วนประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ การตกผลึก และการแยกผลึก การตกผลึก (Crystallization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำมันไปเป็นผลึกของแข็งของไขมันจากการก่อผลึก (nucleation) และการเจริญของผลึก (growth) ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเป็นปัจจัยหลักต่อช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวและการตกผลึกของไขมัน การก่อผลึก เป็นขั้นตอนการสร้างนิวเคลียสขนาดเล็ก ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันหรือจุดที่เรียกว่าการเย็นยวดยิ่ง (supercooling) ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกก่อน โดยโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลจะจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (lattice structure) มีรูปผลึกได้หลายรูปแบบ (polymorphs) ผลึกแต่ละแบบมีความคงตัวไม่เท่ากัน และมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกัน ถ้าผลึกเชื่อมด้วยแรงแวนเดอวาลส์ (van der Waals force) ทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆ มักพบลักษณะการจัดเรียงตัวแบบนี้ในผลึกของเนยขาวและมาการีน ถ้าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเชื่อมกันด้วยแรงไอออนิก (ionic force) จะมีการจัดเรียงตัวที่แน่นอันเนื่องจากแรงประจุ อัตราการก่อผลึกเพิ่มขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง จำนวนและขนาดของผลึกในขั้นตอนการก่อผลึกสามารถควบคุมได้ด้วยอัตราการทำเย็น อัตราเร็วของการกวน และองค์ประกอบของน้ำมัน (Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002) การเติบโตของผลึก เป็นขั้นตอนขยายขนาดนิวเคลียสของผลึก โดยการรวมตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอล ที่บริเวณผิวผลึก การเติบโตของผลึกขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้การตกผลึก อัตราการทำเย็น และเวลา ถ้าใช้อุณหภูมิตกผลึกต่ำหรือใช้อัตราการทำเย็นสูง การโตของผลึกไขมันจะเกิดได้ค่อนข้างช้าและผลึกมีขนาดลดลง เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเร่งให้สร้างนิวเคลียสขนาดเล็กจำนวนมาก การใช้อุณหภูมิตกผลึกที่ไม่สูงเกินไปสามารถเร่งการโตของผลึกให้เกิดการจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ได้ (Rajah and Moran, 1994; Ghotra *et al.*, 2002)

การแยกผลึก (Crystals separation) ผลึกที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกจากไขมันเหลวด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกรองแบบสุญญากาศ (vacuum filtration) การกรองด้วยความดัน (pressure filtration) การหมุนเหวี่ยง (centrifugation) โดยขนาดของผลึก และความบริสุทธิ์ของผลึกเป็นปัจจัยที่ควรพิจารณาในการแยกผลึก เนื่องจากไขมันเหลวมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับโดยผิวหน้าของผลึกได้ (entrained or trapped) ทำให้การแยกผลึกทำได้ไม่สมบูรณ์ (Kaylegian and Lindsay, 1994; Hamm, 1995) โยชนด้านการค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกรองโดยใช้ความดันเป็นการแยกผลึกโดยกรองผ่านตัวกรองทำด้วยโพลิเมอร์ (polymer) ผ้า ลวดตาข่าย (wire gauze filter) แผ่นไนลอนหรือตัวกรองที่ทำจากโพลิโพรไพลีน (polypropylene) และให้แรงดันจากด้านบนของผสมที่จะทำการแยก วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการแยกดีกว่าวิธีการกรองแบบสุญญากาศ เนื่องจากผลึกที่แยกได้ไม่ดูดซับน้ำมันทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากกว่า ข้อจำกัดของวิธีนี้ได้แก่ ความดันที่ใช้มีผลให้อุณหภูมิของผลึกที่นำมากรองเพิ่มขึ้น ผลึกเกิดการหลอมเหลวได้จึงไม่เหมาะกับการแยกผลึกที่ตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ

นิยมกรองโดยใช้การหมุนเหวี่ยงแบบกะ (batch process) เพื่อแยกผลึกออกจากไขมันเหลว โดยใช้หลอดหมุนเหวี่ยงชนิดที่มีตัวกรอง (filter or basket-type centrifuge tube) แต่การแยกผลึกวิธีนี้พบว่าความเร็วของการหมุนเหวี่ยงมีผลต่อการแยกผลึกเนื่องจากการใช้ความเร็วในการหมุนเหวี่ยงสูง ผลึกจะถูกแรงเฉือนทำให้มีขนาดเล็กลงจึงทำให้เกิดการปะปนกันของไขมันแข็งและไขมันเหลว (Breeding, 1995)

การเลือกชนิดของเครื่องกรองไขมัน ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมโดยการกรองแบบสุญญากาศเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดด้วยการใช้กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel) หรือเครื่องกรองเมลิตต้าพอร์ซีเลน (melitta porcelain filter) ซึ่งเหมาะกับการกรองกับสารที่มีผลึกปริมาณน้อย และถ้าผลึกมีความหนาแน่นมากอาจใช้การกรองแบบแบบลูกกลิ้งหมุน (rotating drum filter) ในอุตสาหกรรมน้ำมันนิยมใช้การกรองแบบสุญญากาศด้วยตัวกรองแบบเยื่อแผ่นบาง (Hamm, 2000)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกไขมัน

อัตราการทำเย็นมีผลต่อการแยกผลึก และการจัดเรียงตัวในรูปแบบที่ต่างกันของผลึกคือ อัลฟา เบต้าไพรม และ เบต้า (α , β' , β) ซึ่งโครงสร้างแต่ละแบบมีความคงตัวและจุดหลอมเหลวที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลึกที่แยกได้จากการควบคุมอัตราการทำเย็นอย่างช้าๆ มีโครงสร้างของผลึกจัดเรียงตัวอยู่ในรูปแบบ β -form) ผลึกมีขนาดใหญ่ มีความคงตัวสูง และสามารถแยกไขมันแข็งและไขมันเหลวออกจากกันได้ดี ส่วนการทำเย็นอย่างรวดเร็วทำให้โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวสูงรวมตัวกันทำให้ได้ไขมันแข็งที่มีความแข็ง (hardness) มากขึ้น เนื่องจากการรวมตัวระหว่างโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจุดหลอมเหลวปานกลางและสูง ผลึกที่ได้เรียกว่า ผลึกผสม (mixed crystal) และถ้าอัตราการทำเย็นเกิดอย่างรวดเร็วมาก (rapid and deep cooling) ผลึกที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูป α -form และ γ -form จะมีจุดหลอมเหลวและความคงตัวต่ำ (Sato, 2000; Ghotra *et al.*, 2002)

ผลึกที่ได้จากการทำเย็นอย่างรวดเร็วกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีขนาดเล็กจำนวนมากรูปร่างคล้ายเข็ม (needle) หรือเป็นแผ่นเกล็ด (platelet) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-3 ไมโครเมตร ส่วนการทำเย็นอย่างช้าผลึกที่ได้มีรูปร่างคล้ายทรงกลม (spherulite) ขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 ไมโครเมตร (Kaylegian and Lindsay, 1994; Herrera and Hartel (2000).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกส่วนน้ำมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้น โดยใช้ใบกวนคล้ายใบพัดเรือ (45° pitched-propeller) เมื่อเพิ่มอัตราการทำเย็นและความเร็วใบกวน ผลึกที่ได้มีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก การใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับการกวนด้วยความเร็วสูงจะกรองแยกผลึกได้ยากแต่มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในส่วนของไขมันเหลว (Feng and Chin, 1995)

การแยกส่วนไขมันจากน้ำมันวัวด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้นจะพบว่าไขมันแข็งที่แยกได้ที่อุณหภูมิต่างกันมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน และอนุภาคของผลึกจะมีขนาดลดลงเมื่อผ่านการแยกส่วนซ้ำ (Kaylegian and Lindsay, 1994) อุณหภูมิในการแยกส่วนไขมันมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีคือ ไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่องค์ประกอบไตรเอซิลกลีเซอรอลและกรดไขมันเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Grall and Hartel, 1992)

การตกผลึกไขมันจากน้ำมันวัว เริ่มต้นต้องใช้อุณหภูมิต่ำ (supercool) เพื่อให้ผลึกของไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดจุดหลอมเหลวสูงก่อผลึกขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะเร่งการก่อตัวของนิวเคลียสทำให้เกิดผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งขัดขวางการเติบโตของผลึกส่งผลให้ขนาดของผลึกลดลง (Kaylegian and Lindsay, 1994; Ghotra *et al.*, 2002) การใช้วิธีล่อผลึก (seeding) โดยเติมผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง เพื่อเหนี่ยวนำการก่อผลึก น้ำมันที่มีผลึกปริมาณน้อยเมื่อผ่านการตกผลึกโดยอุณหภูมิต่ำจะตกผลึกได้เร็ว (Kaylegian and Lindsay, 1994) หรือใช้เทคนิคการตกผลึกร่วม (co-crystallization) โดยอาศัยการรวมตัวของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันหรือไขมัน ซึ่งการตกผลึกร่วมมีส่วนช่วยในการควบคุมการเติบโตของผลึก ดังนั้นไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการตกผลึกร่วมจึงมีองค์ประกอบที่เหมือนกัน (Breitschuh and Windhab, 1998)

อัตราการกวน (agitation rate) ช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่งผ่านระหว่างมวลที่ตีขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างผลึกไขมันกับน้ำมัน มีความสำคัญต่ออัตราการตกผลึก การเติบโตของผลึก และประสิทธิภาพในการแยก Grall and Hartel (1992) ได้แยกส่วนไขมันเนยด้วยอุณหภูมิต่ำระหว่าง 30-15 องศาเซลเซียส ควบคุมการกวน 75, 100 และ 125 รอบต่อนาที โดยใช้ใบกวนชนิดกังหัน (impeller) เมื่อเพิ่มความเร็วรอบการกวน ผลึกมีปริมาณมากขึ้น อัตราการก่อนิวเคลียสและการตกผลึกสูง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วการกวนเป็นการเพิ่มแรงเฉือนของใบกวนทำให้รบกวนการเติบโตของผลึกเดิมที่มีอยู่ทำให้ผลึกมีขนาดเล็ก ทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง และไขมันแข็งมีแนวโน้มที่จะดูดซับไขมันเหลวในระหว่างการกรอง Kaylegian and Lindsay (1994) รายงานว่าการตกผลึกไขมันจากน้ำมันวัวโดยปราศจากการกวน ผลึกที่แยกได้เป็นทรงกลม มีโครงสร้างเปิดสามารถกักเก็บน้ำมันไว้ภายใน ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการกรองลดลง การกวนไขมันจากน้ำมันวัวด้วยความเร็ว 13.8-60 รอบต่อนาที ผลึกมีขนาดใหญ่ การกวนด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที ผลึกมีขนาดเล็กและการใช้ความเร็วมากกว่า 120 รอบต่อนาที ผลึกมีความละเอียดมากซึ่งยากต่อการกรองแยก ขณะที่ Breeding and Marshall (1995) รายงานว่าอัตราการกวนช้ากว่า 10 รอบต่อนาที จะให้ผลึกขนาดเล็กมีรูปร่างเป็นแท่ง (rod-shape)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

มันเปลวหมูจากตลาดสดจังหวัดนครปฐม นำมาแยกเศษเนื้อ หั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนชนิดหนา ขนาดบรรจุถุงละ 1 กิโลกรัม และเก็บรักษาในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 ± 1 องศาเซลเซียส

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกส่วน

1. ถังสเตนเลสสองชั้นสำหรับตกผลึก (Jacketed stainless steel vessel) ทรงกระบอกขนาดความจุ 1.5 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน x ความสูง (11 เซนติเมตร x 21 เซนติเมตร)
2. ไบ่กวนสเตนเลสรูปตัวยู (U-shape) เส้นผ่านศูนย์กลางไบ่กวน x ความยาวไบ่กวน x ความสูงไบ่กวน (9.8 เซนติเมตร x 9.8 เซนติเมตร x 19 เซนติเมตร)
3. มอเตอร์กวนผสม ขนาด 40 W (Speed control motor, Oriental motor, Japan)
4. เครื่องทำความเย็นแบบน้ำหล่อเย็น (Cooling unit)
5. กรวยกรอง (Buchner funnel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 เซนติเมตร แบบมีที่อน้ำเย็นหุ้ม
6. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
7. ก๊าซไนโตรเจน (ความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์)
8. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)

3.3 สารมาตรฐาน

สารมาตรฐานอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันผสม (Lipid Standards: Fatty Acid Methyl Ester mixtures, No. 18918, C8:0-C24:0, Sigma-Aldrich, USA)

กรดไตรเดคาโนอิก (Tridecanoic acid; C13:0, Sigma-Aldrich, USA) ใช้เป็นสารมาตรฐานภายใน (Internal standard)

ไตรเอซิลกลีเซอรอลมาตรฐาน (Standard triacylglycerol, 99%, Sigma-Aldrich, USA) ประกอบด้วย Trioleate (OOO), Trilinoate (LLL), 1,2-Dioleoyl-3-palmitoyl-rac-glycerol (OOP), 1,3-Dioleoyl-2-palmitoyl-rac-glycerol (OPO), 1,2-Dioleoyl-3-stearoyl-rac-glycerol (OOS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านกายภาพและเคมี

นำไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น มาวิเคราะห์ ค่าสี ดัดแปลงวิธีของ Chantachum *et al* (2000) (แสดงในภาคผนวก) และวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีดังต่อไปนี้

1. ค่าไอโอดีน (Iodine value; Cyclohexane-Acetic acid method) AOCS, 1999 (cd 1-25)
2. ค่าสบอนนิฟิเคชัน (Saponification number) AOCS, 1999 (cd 3-25)
3. กรดไขมัน (Free fatty acid) AOCS, 1999 (Ca 5a-40)
4. จุดหลอมเหลว (Melting point by capillary tube) AOCS, 1999 (Cc 1-25)
5. อีพรไฟล์กรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) Compendium of Method for Food Analysis, Thailand (2003) (แสดงในภาคผนวก)
6. โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโตกราฟีของเหลวแรงดันสูง (RP-HPLC) ดัดแปลงวิธีการของ Marikkar *et al* (2002a) (แสดงในภาคผนวก)

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างไขมันหมู

นำมันเปลวหมูที่หั่นเก็บไว้ในสภาพแช่แข็ง (จากข้อ 3.1) มาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาเจียวน้ำมันในภาชนะสเตนเลส โดยนำมันเปลว 10 กิโลกรัม ให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วัดอุณหภูมิน้ำมันสกัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ (Testo 925, Germany) ที่งไขมันที่สกัดได้เย็นตัวลงก่อนกรองแยกกากออกจากไขมันโดยใช้ผ้าขาวบาง เก็บตัวอย่างไขมันหมูที่เจียวได้ในขวดสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ผ่านแก๊สไนโตรเจนเหนือไขมันในขวดก่อนปิดฝาและเก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส

3.5.2 การแยกส่วนไขมันหมูแบบขั้นเดียว (single-step dry fractionation)

นำไขมันหมูที่เจียวได้จากข้อ 3.5.1 มาหลอมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany) ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อทำละลายผลึกไขมัน (Fatouh *et al.*, 2003) จากนั้นนำไขมันหมูที่หลอมละลายบรรจุในถังสเตนเลส ลดอุณหภูมิของไขมันและควบคุมอุณหภูมิของไขมันในถังสเตนเลสที่อุณหภูมิ 40 ± 0.5 , 35 ± 0.5 และ 30 ± 0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ควบคุมอัตราการกวน 10 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 12, 8 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 กรองแยกส่วนไขมันแข็งและไขมันเหลวออกจากกันด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองด้วยปั๊มสุญญากาศ และควบคุมอุณหภูมิในช่วงการกรองเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกคือ 40 ± 0.5 , 35 ± 0.5 และ 30 ± 0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ดัดแปลงวิธีการของ Fatouh *et al.*, 2003) ชั่งน้ำหนักไขมันแข็ง (S) และไขมันเหลว (L) ก่อนเก็บไขมันแยกส่วนในขวดสีชา ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การแยกส่วนไขมันหมูแบบหลายขั้น (multiple-step dry fractionation)

นำไขมันหมูที่เจียวได้จากข้อ 3.5.1 มาหลอมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany) ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายผลึกไขมัน (Fatouh *et al.*, 2003) จากนั้นนำไขมันหมูที่หลอมละลายบรรจุในถังสเตนเลส ควบคุมอุณหภูมิของไขมันและควบคุมอุณหภูมิของไขมันในถังสเตนเลสที่อุณหภูมิ 40 ± 0.5 องศาเซลเซียส ควบคุมอัตราการกวน 10 รอบต่อนาที ระยะเวลาตกผลึกนาน 10 ชั่วโมง กรองแยกไขมันแข็ง (S40) และไขมันเหลว (L40) ด้วยปั๊มสุญญากาศ ควบคุมอุณหภูมิการกรองที่ 40 ± 0.5 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการกรอง เก็บไขมันแข็งไว้ในขวดสีชา สำหรับไขมันเหลว (L40) นำมาตกผลึกที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 0.5 องศาเซลเซียส ควบคุมอัตราการกวน 10 รอบต่อนาที ระยะเวลาตกผลึกนาน 5 ชั่วโมง กรองแยกไขมันด้วยปั๊มสุญญากาศควบคุมอุณหภูมิการกรองเท่ากับ 30 ± 0.5 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งที่ได้ (S30) เก็บในขวดสีชา ส่วนไขมันเหลว (L30) นำมาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิ 28 ± 0.5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกไขมันแข็ง (S28) และไขมันเหลว (L28) ขึ้นตอนสุดท้ายนำไขมันเหลว (L28) มาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิ 26 ± 0.5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง แล้วกรองแยกได้ส่วนไขมันแข็ง (S26) และไขมันเหลว (L26) ไขมันแข็งและไขมันเหลวแต่ละส่วนที่แยกได้ (8 ส่วน) นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

3.6 การวางแผนการทดลอง

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวและหลายขั้นวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design: (CRD) ทำการแยกส่วนจำนวน 2 ซ้ำ เพื่อศึกษาระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วน ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไขมันแข็งและไขมันเหลวแต่ละส่วนที่แยกได้ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนและไขมันหมูแยกส่วนด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS v. 9.0

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติน้ำมันหมู

ไขมันหมูที่ได้จากการเจียวมันเปลวด้วยความร้อนแบบแห้งก่อนผ่านการแยกส่วน นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี แสดงผลดังตารางที่ 4.1 การเจียวมันเปลวหมูที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สกัดไขมันหมูได้ 77.60 ±1.60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติไขมันหมูทางด้านเคมีพบว่า มีค่าไอโอดีน 41.62±0.12 ค่าซาปอนนิฟิเคชัน 192.35±0.44 ค่ากรดไขมัน 0.54±0.06 เปอร์เซ็นต์กรดโอเลอิก และมีจุดหลอมเหลว 43.12±0.10 องศาเซลเซียส ค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วงของไขมันหมูและไขมันวัว ตามการรายงานของ O'Brien (1998) ขณะที่คุณสมบัติด้าน ค่าไอโอดีน และค่าซาปอนนิฟิเคชัน แตกต่างจาก ไขกระปือ (Fatouh *et al.*, 2003) และไขมันไก่ (ศลิษา และวรรณนา, 2549)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของไขมันหมู

คุณสมบัติ	ไขมันหมู ¹	ไขมันหมู ²	ไขวัว ²	ไขกระปือ ³	ไขมันไก่ ⁴
ไขมันที่สกัดได้ (เปอร์เซ็นต์)	77.60 ±1.60	-	-	-	75.67±0.68
ค่าไอโอดีน ¹	41.62±0.12	44-66	38-48	28.20±0.50	78.65±0.43
ค่าซาปอนนิฟิเคชัน ²	192.35±0.44	192-200	193-202	229±0.70	210.93±1.69
ค่ากรดไขมัน ³	0.54±0.06	max 0.65 ⁵	max 1.25 ⁵	-	0.49±0.12
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	43.12±0.10	35-45	41-44	-	35.50±0.50

หมายเหตุ: ¹ หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

² หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการซาปอนนิไฟด์ไขมัน 1 กรัม

³ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของกรดโอเลอิก

¹ ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

² O'Brien, 1998

³ Fatouh *et al.*, 2003

⁴ ศลิษา และวรรณนา, 2549

⁵ Codex-Stan 211, 1999

4.2 การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว

4.2.1 การเลือกอุณหภูมิและช่วงเวลาดกผลึกใช้ในการแยกส่วนไขมันหมูแบบขั้นเดียว

ทำการทดลองช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนไขมันหมู โดยลดอุณหภูมิน้ำมันจาก 40-25 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ไขมันสามารถแยกส่วนได้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-30 องศาเซลเซียส จึงได้กำหนดช่วงอุณหภูมิการศึกษาออกเป็น 3 อุณหภูมิ คือ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส

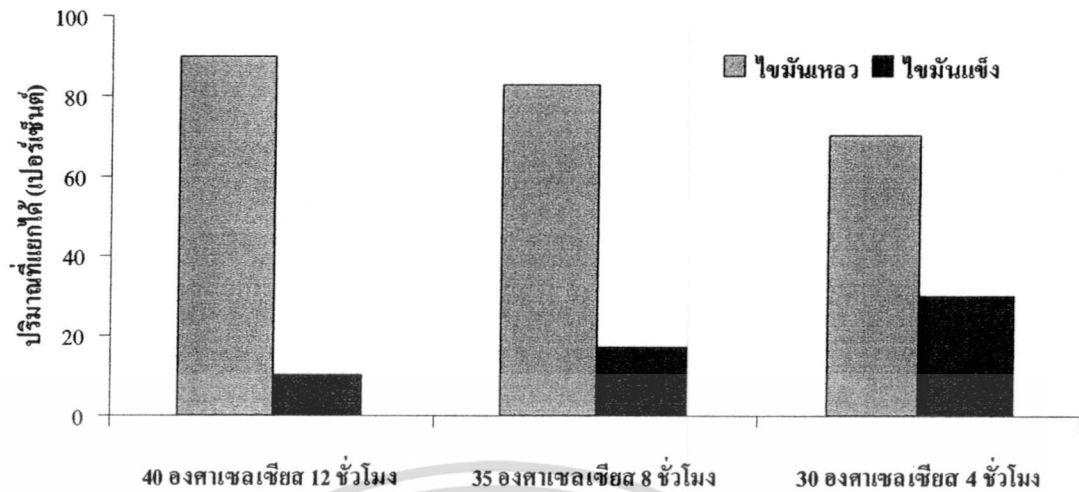
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกส่วนของแต่ละอุณหภูมิที่กำหนดจากขั้นต้น โดยพิจารณาเวลาที่เหมาะสมจากเวลาที่ไขมันแข็งเกิดขึ้นจนมีปริมาณคงที่ด้วยอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส ด้วยการกำหนดอัตราการกววนของใบพัดที่ 10 รอบต่อนาที พบว่าการแยกส่วนด้วยการควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานาน 12 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 35 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมง และการควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลา 4 ชั่วโมง สามารถแยกส่วนไขมันแข็งได้ 11.28 ± 0.06 , 16.18 ± 0.41 และ 24.51 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ไขมันสามารถเกิดผลึกจนหมดแต่ไม่สามารถแยกส่วนด้วยวิธีการกรองแบบสุญญากาศได้ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การคูดซับไขมันเหลวหรือการอมน้ำมัน ซึ่งเทอมที่ใช้เรียกคือ “liquid oil entrapped” (Grall and Hartel, 1992) ดังนั้นการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวจึงเลือกใช้สภาวะการแยกผลึกโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เวลานาน 12 ชั่วโมง, ควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 35 องศาเซลเซียส เวลานาน 8 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง และควบคุมอัตราการกววนของใบพัดที่ 10 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง

4.2.2 ผลของกระบวนการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวต่อปริมาณและลักษณะของไขมันที่แยกได้

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว พบว่า อุณหภูมิ และเวลาแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.1 การควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส เวลานาน 12 ชั่วโมงจะให้ปริมาณไขมันแข็งน้อยที่สุด (10.15 ± 1.58 เปอร์เซ็นต์) และให้ไขมันเหลวปริมาณสูงสุดคือ (89.85 ± 1.59 เปอร์เซ็นต์) เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วน โดยควบคุมที่ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง ไขมันแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้น (29.94 ± 0.87 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ไขมันเหลวมีปริมาณลดลง (70.06 ± 0.87 เปอร์เซ็นต์) การลดอุณหภูมิตกผลึกมีผลต่ออัตราการเพิ่มปริมาณไขมันแข็งที่แยกได้ 0.85 เปอร์เซ็นต์, 2.17 เปอร์เซ็นต์ และ 7.49 เปอร์เซ็นต์ ต่อชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 กราฟปริมาณ ไขมันแข็งและ ไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว

4.2.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว

ทำการวิเคราะห์ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันหมูแต่ละส่วน (ไขมันแข็งและไขมันเหลว) ที่แยกได้ที่อุณหภูมิแยกส่วนและเวลาต่างกัน โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ คือ ค่าสี (colour), ค่าไอโอดีน (Iodine value), ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification number), กรดไขมัน (Free fatty acid), จุดหลอมเหลว (Melting point), กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty acid composition), และ ไตรโกลีเซอไรด์ (Triacylglycerol)

ค่าสีของไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วน ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม Chantachum *et al.*, (2000) (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก) โดยละลายไขมันหมูด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์มให้มีความเข้มข้นของไขมันหมู 5 เปอร์เซ็นต์ และนำสารละลายไขมันหมูวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของค่าทรานสมิทแทนซ์ (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการวัดปริมาณแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืน โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวเทียบมาตรฐาน แสดงผลดังภาพที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้แยกส่วน ไขมันมีผลต่อค่าสีของไขมันหมูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่า ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีค่าทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เท่ากับ 91.95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแยกส่วนไขมันโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ส่วนของสารละลายไขมันแข็งมีค่าทรานสมิทแทนซ์เท่ากับ 83.45 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายไขมันเหลวมีค่าทรานสมิทแทนซ์ 92.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง สารละลายไขมันแข็งมีค่าทรานสมิทแทนซ์ 86.89 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายไขมันเหลวมีค่าทรานสมิทแทนซ์ 93.40 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมิแยกส่วนเห็น ได้ว่าค่าทรานสมิทแทนซ์ของสารละลายไขมันเพิ่มขึ้น เป็นการบ่งบอกความเข้มข้นของไขมันที่ลดลง ดังนั้นการลดอุณหภูมิแยกส่วนมีส่วนช่วยปรับปรุงสีไขมันได้ ขณะที่สารละลายไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าทรานสมิทแทนซ์สูงกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ดังนั้นไขมันเหลวที่แยกได้ที่อุณหภูมิต่างกันมีสีใสและมีสีอ่อนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณอยู่ที่ไหนก็อย่าลืมกดไลค์เพจของเราด้วยนะคะ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันที่ผ่านการแยกส่วนนี้จัดเป็นกระบวนการฟอกสีเพื่อแยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสี สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังช่วยลดปริมาณ โลหะ กัม สบู่ และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Gunstone, 2004) Sonntag (1982) อธิบายว่าไขมันสัตว์ส่วนใหญ่มีสารสี (color pigments) น้อยกว่าน้ำมันพืชแต่สารสีในไขมันสัตว์เป็นชนิดเดียวกับสารสีที่พบในน้ำมันพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เบต้าแคโรทีน ไลโคปีน ลูทีน แซนโทฟิลล์ ส่วนใหญ่ได้รับจากอาหารที่สัตว์กินเข้าไป นอกจากนี้ไขมันที่มีสีคล้ำเป็นผลเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงของพันธะเชื่อม (conjugated) ในระหว่างการเก็บและกระบวนการแปรรูป Hamm (1995) รายงานว่าการตกผลึกไขมันนอกจากจะช่วยแยกองค์ประกอบไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกแล้วยังช่วยให้น้ำมันมีความเสถียรสูงและลดความขุ่นน้ำมันสอดคล้องกับผลการทดลองคืออุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนไขมันหมูแบบชั้นเดียว มีผลให้ความขุ่นของไขมันแข็งลดลง ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.6a และ 4.7b ดังนั้นการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิค่าแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีผลให้ไขมันแข็งมีความขุ่นน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิที่ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่ไขมันเหลวมีความใสมากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน



ภาพที่ 4.2 ค่าทราบดีทแทนซ์ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของสารละลายไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็ง และไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิค่าแบบชั้นเดียว

หมายเหตุ: Lard คือ ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, S40S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลารานาน 12 ชั่วโมง, S35S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลารานาน 8 ชั่วโมง, S30S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลารานาน 4 ชั่วโมง, S40L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลารานาน 12 ชั่วโมง, S35L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลารานาน 8 ชั่วโมง, S30L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลารานาน 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน ค่าที่บอกถึงความไม่อิ่มตัวของไขมัน โดยไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงบ่งชี้ได้ว่ามีระดับความไม่อิ่มตัวสูงในขณะที่ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำบ่งชี้ได้ว่ามีระดับความไม่อิ่มตัวสูง (Lawson, 1985) ทุกสภาวะการแยกส่วนไขมันแข็งที่แยกได้จะมีค่าไอโอดีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนมากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน แต่ไขมันแข็งมีค่าไอโอดีนค่อนข้างต่ำกว่าไขมันเหลว (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มที่จะถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนไขมันเหลว ดังนั้นการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว พบว่าการลดอุณหภูมิแยกส่วนช่วยเพิ่มความไม่อิ่มตัวให้กับส่วนของไขมันเหลว ซึ่งอาจเกิดจากผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหลอมตัวและปนอยู่ในไขมันเหลว Herrera *et al.*, (1992) ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีค่าไอโอดีน 41.62 ± 0.12 เมื่อพิจารณาไขมันแข็งจากอุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าไอโอดีน 41.97 ± 1.36 เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนที่ 35 และ 30 องศาเซลเซียส จะมีค่าไอโอดีนลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 41.43 ± 0.23 ถึง 41.51 ± 0.13 สำหรับไขมันเหลวที่แยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีน 41.98 ± 0.19 และเมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนเห็นได้ว่าค่าไอโอดีนมีค่าลดลง โดยไขมันเหลวที่แยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีน 41.84 ± 0.11 และ 41.69 ± 0.20 ตามลำดับ ค่าไอโอดีนของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีค่าคงที่ แต่อาจแปรผันได้ตามวิธีวิเคราะห์และค่าไอโอดีนมักมีความสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวไขมัน เนื่องจากไขมันที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องมักประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล เช่น ไขมันจากสัตว์ (animal fat) ไขมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation fat) เนยแท้ชนิดแข็ง (hard butter) สำหรับไขมันที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง มักมีค่าไอโอดีนสูง เนื่องจากในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ น้ำมันจากพืช (Stauffer, 1996; Institute of Shortening and Edible Oil, 1999)

ส่วนการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันหมูแยกส่วนและน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 0.43 ± 0.04 ถึง 0.68 ± 0.13 (เปอร์เซ็นต์กรดโอเลอิก) ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนน้ำมันมีผลต่อกรดไขมันอิสระ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นในส่วนของไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียวที่ให้ผลไม่ต่างกัน (0.54 ± 0.03 ถึง 0.58 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์กรดโอเลอิก) และส่วนที่เป็นไขมันเหลวมีแนวโน้มที่มีกรดไขมันอิสระสูงกว่าไขมันแข็ง ดังนั้นไขมันเหลวจึงสามารถเกิดการออกซิเดชันได้ง่ายกว่าไขมันแข็ง ซึ่งค่ากรดไขมันอิสระจึงมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีน (Ghotra *et al.*, 2002)

พบอุณหภูมิแยกส่วนมีผลต่อค่าซาปอนิฟิเคชันของไขมันแข็งและไขมันเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าซาปอนิฟิเคชันในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีค่าเท่ากับ 192.35 ± 0.44 ขณะที่ไขมันแข็งที่แยกส่วนด้วยอุณหภูมิ 35 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าต่างจากไขมันแข็งแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) ขณะเดียวกันการแยกส่วนที่ 40 และ 35 องศาเซลเซียส ไขมันเหลวที่แยกได้มีค่าไม่ต่างกัน และไขมันเหลวที่แยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าไม่ต่างกัน แต่ไขมัน

เหลวที่แยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองเห็นได้ว่าไขมันแข็งมีแนวโน้มมีค่าซาปอนนิฟิเคชันสูงกว่าไขมันเหลว แสดงผลดังตารางที่ 4.2 แสดงว่ากรดไขมันโมเลกุลต่ำถูกแยกมาอยู่ในส่วนของไขมันแข็ง และกรดไขมันโมเลกุลใหญ่หรือพวกที่มีสายโซ่ยาวจะถูกแยกให้อยู่ในส่วนไขมันเหลว การแยกส่วนแบบขั้นเดียวที่แต่ละอุณหภูมิแยกส่วนช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระในส่วนไขมันแข็ง แต่จะทำให้ไขมันเหลวมีกรดไขมันอิสระสูงขึ้น

จุดหลอมเหลวของไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนและไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความไม่อิ่มตัวของไขมันมักสอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของส่วนไขมันที่แยกได้ กล่าวคือ ไขมันแข็งซึ่งมีความไม่อิ่มตัวต่ำจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว แสดงดังตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาไขมันแยกส่วนพบว่าไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว โดยไขมันแข็งที่แยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว 60.08 ± 0.17 องศาเซลเซียส และเมื่อลดอุณหภูมิตดผลึกที่ 35 และ 30 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลว 58.03 ± 0.12 และ 55.93 ± 0.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ไขมันเหลวที่แยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว 40.35 ± 0.06 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวลดลงเหลือ 31.67 ± 0.05 องศาเซลเซียส เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนที่ 35 องศาเซลเซียส แต่เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลวของไขมันเหลวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคือ 31.97 ± 0.16 องศาเซลเซียส จากการทดลองเห็นได้ว่าการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำจุดหลอมเหลวของน้ำมันแต่ละส่วนมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นขั้นตอนเนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการแยกส่วนแบบเริ่มต้นที่อุณหภูมิเดียว ดังนั้นการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งที่ได้จะเป็นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าไขมันแข็งที่แยกส่วนได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 และ 30 องศาเซลเซียส

สามารถจำแนกกลุ่มกรดไขมันที่ผ่านการแยกส่วนตามการหลอมเหลวออกเป็น 3 กลุ่ม คล้ายกับวิธีการของ Kaylegian and Linsay (1994) ได้ดังนี้คือ กลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (high melting fraction; HMF) มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย ไขมันแข็ง 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส กลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวลปานกลาง (middle melting fraction; MMF) มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันเหลว 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวลต่ำ (low melting fraction; LMF) มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 10-25 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย ไขมันเหลว 35 และ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของไขมันหมูที่แยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียว

	ไขมันแข็ง			
	I.V. ^{ns}	FFA	S.N.	M.P.
Lard	41.62±0.12	0.54±0.06 ^a	192.35±0.44 ^c	43.12±0.10 ^d
S40-12hr	41.97±1.36	0.49±0.06 ^a	195.04±0.82 ^b	60.08±0.17 ^a
S35-8hr	41.43±0.23	0.43±0.04 ^b	196.68±0.53 ^a	58.03±0.12 ^b
S30-4hr	41.51±0.13	0.52±0.04 ^a	197.38±0.69 ^a	55.93±0.15 ^c

	ไขมันเหลว			
	I.V.	FFA ^{ns}	S.N.	M.P.
Lard	41.62±0.12 ^c	0.54±0.06	192.35±0.44 ^c	43.12±0.10 ^a
L40-12hr	41.98±0.19 ^a	0.58±0.03	195.51±1.15 ^{ab}	40.35±0.06 ^b
L35-8hr	41.84±0.11 ^{ab}	0.57±0.03	196.33±0.72 ^a	31.67±0.05 ^d
L30-4hr	41.69±0.20 ^{bc}	0.54±0.03	195.16±0.89 ^b	31.97±0.16 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

I.V. = จำนวนกรัม ไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม, FFA-Oleic = เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม), S.N. = จำนวนมิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักน้ำมัน (กรัม), M.P. = จุดหลอมเหลวของน้ำมัน (องศาเซลเซียส)

Lard คือ ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, S40-12hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลานาน 12 ชั่วโมง, S35-8hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลานาน 8 ชั่วโมง, S30-4hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง, L40-12hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลานาน 12 ชั่วโมง, L35-8hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลานาน 8 ชั่วโมง, L30-4hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียว วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก) วิธีวิเคราะห์ใช้สารมาตรฐานอนุพันธ์กรดไขมันผสม (Fatty Acid Methyl Ester; C8-C20) กราฟมาตรฐานกรดไขมันแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 4.8 ดังนั้นผลการวิเคราะห์จึงได้แสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นองค์ประกอบตั้งแต่ 8-20 อะตอมเท่านั้น ผลการทดลองตรวจไม่พบกรดไขมันชนิดคาปริก (caprylic acid; C8:0) สำหรับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักที่พบในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนคือ กรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33.02 เปอร์เซ็นต์, กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) 18.84 เปอร์เซ็นต์, กรดปาล์มิติก (palmitic acid; C16:0) 26.58 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก (stearic acid; C18:0) 17.30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไขมันแข็ง และไขมันเหลว ตรวจพบกรดไขมันทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวเป็นกรดไขมันชนิดหลักและพบปริมาณที่ต่างกัน

สถานะของอุณหภูมิและเวลาที่ศึกษาในการแยกส่วนไขมันแบบชั้นเดียว มีผลให้องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันที่แยกได้มีการเปลี่ยนแปลง การลดอุณหภูมิแยกส่วนส่งผลให้ไขมันแข็งและไขมันเหลวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง จากตารางที่ 4.3 พบว่าการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส เวลาแยกส่วนนาน 12, 8 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ไขมันแข็งมีกรดไขมันอิ่มตัวคือ กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก สูงกว่าในไขมันเหลว ในขณะที่ไขมันเหลวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก สูงกว่าไขมันแข็ง ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันที่วิเคราะห์ได้มีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีนและจุดหลอมเหลวของไขมันแต่ละส่วน การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก สูงกว่าไขมันแข็งที่แยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 และ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ไขมันแข็งที่ 40 องศาเซลเซียสมีจุดหลอมเหลวของไขมันสูง เช่นเดียวกับการแยกส่วนไขมันเหลวที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดโอเลอิก สูงกว่าการแยกส่วนไขมันเหลวที่ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ทำให้ไขมันเหลวที่แยกส่วนจากการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่ามีจุดหลอมเหลวที่ต่ำลง เนื่องจากไขมันเหลวมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลทำให้เกิดการโค้งงอในสายโซ่ ซึ่งจะรบกวนการรวมตัวกันของไตรกลีเซอไรด์ระหว่างการตกผลึก ทำให้การเกิดผลึกเป็นไปได้ยากจุดหลอมเหลวของไขมันจึงลดลง (Ghotra *et al.*, 2002) ดังนั้นไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงก็จะมีจุดหลอมเหลวต่ำ

Codex (1999) ระบุว่าไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้จากหมูประกอบด้วยกรดไขมันชนิดหลัก 4 ชนิดคือ กรดปาล์มิติก, กรดสเตียริก, กรดโอเลอิก และ กรดลิโนเลอิก Al-Rashood *et al.* (1996) รายงานกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันหมู ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) 40.32 เปอร์เซ็นต์ (กรดปาล์มิติก 23.67 เปอร์เซ็นต์ กรดสเตียริก 15.05 เปอร์เซ็นต์) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 59.68 เปอร์เซ็นต์ (กรดโอเลอิก 34.67 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลอิก 17.13 เปอร์เซ็นต์) จากตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีปริมาณลดลง สำหรับไขมันเหลว พบว่ากรดไขมันชนิดหลักมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดที่เป็นองค์ประกอบหลักในส่วนของไขมันแข็งมากกว่าไขมันเหลว อย่างไรก็ตาม Codex Stan 21 (1999) ระบุว่าไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดหลักดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันแต่มีปริมาณแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถใช้ความแตกต่างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเป็นตัวบ่งชี้การปลอมปนของน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารและไขมันหรือน้ำมันได้ (CheMan and Marghani, 2001; Al-Rashood *et al.*, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 กรดไขมันของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียว

กรดไขมัน (%) [*]	ไขมันแข็ง			
	น้ำมันหมู	40 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส
C10:0	0.10±0.01 ^a	0.07±0.00 ^c	0.08±0.01 ^b	0.10±0.00 ^a
C12:0	0.13±0.00 ^{ab}	0.09±0.01 ^c	0.12±0.01 ^b	0.14±0.01 ^a
C14:0	1.51±0.01 ^a	1.24±0.02 ^c	1.41±0.08 ^b	1.58±0.05 ^a
C16:0	26.58±0.03 ^c	31.47±0.58 ^a	30.86±1.03 ^a	29.41±0.40 ^b
C16:1	1.29±0.00 ^a	0.74±0.06 ^c	0.82±0.10 ^c	1.07±0.06 ^b
C18:0	17.30±0.14 ^d	34.63±1.73 ^a	30.52±3.33 ^b	23.35±1.39 ^c
C18:1	33.02±0.12 ^a	20.01±1.36 ^d	22.76±2.43 ^c	28.77±1.04 ^b
C18:2	18.84±0.05 ^a	10.72±0.82 ^d	12.31±1.67 ^c	14.55±0.58 ^b
C18:3	0.96±0.02 ^a	0.52±0.05 ^c	0.66±0.13 ^b	0.73±0.05 ^b
C20:0	0.27±0.02 ^b	0.52±0.03 ^a	0.46±0.06 ^a	0.31±0.08 ^b

กรดไขมัน (%) [*]	ไขมันเหลว (น้ำมัน)			
	น้ำมันหมู	40 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส
C10:0 ^{ns}	0.10±0.01	0.09±0.01	0.11±0.01	0.10±0.02
C12:0	0.13±0.00 ^b	0.13±0.01 ^b	0.14±0.01 ^b	0.16±0.06 ^a
C14:0	1.51±0.01 ^c	1.55±0.01 ^b	1.56±0.02 ^b	1.61±0.02 ^a
C16:0	26.58±0.03 ^a	26.28±0.09 ^b	25.98±0.07 ^c	26.29±0.14 ^b
C16:1	1.29±0.00 ^c	1.36±0.02 ^b	1.33±0.02 ^b	1.40±0.02 ^a
C18:0	17.30±0.14 ^a	15.54±0.22 ^b	15.24±0.25 ^b	14.69±0.17 ^c
C18:1	33.02±0.12 ^a	34.29±0.20 ^b	34.38±0.32 ^b	35.72±0.14 ^a
C18:2	18.84±0.05 ^c	19.53±0.13 ^b	19.95±0.11 ^a	18.86±0.12 ^c
C18:3	0.96±0.02 ^b	0.98±0.02 ^b	1.07±0.08 ^a	0.97±0.03 ^b
C20:0	0.27±0.02 ^a	0.26±0.01 ^a	0.24±0.02 ^a	0.19±0.05 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* ปริมาณกรดไขมันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำมันหรือไขมัน 100 กรัม

C10:0 = Capric acid, C12:0 = Lauric acid, C14:0 = Myristic acid, C16:0 = Palmitic acid, C16:1 = Palmitoleic acid, C18:0 = Stearic acid, C18:1 = Oleic acid, C18:2 = Linoleic acid, C18:3 = Linolenic acid, C20:0 = Arachidic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือข้อมูลอย่างอื่นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83890

การวิเคราะห์โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอล (TAGs) ในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว วิเคราะห์คุณสมบัติและปริมาณของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากการเทียบกับกราฟมาตรฐานโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลร่วมกับโพรไฟล์โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลตามการรายงานของ Marikkar *et al.*, (2002a, 2002b); Tan and Che-Man, (2000); Al-Rashood *et al.*, (1996) ทั้งหมด 13 โพรไฟล์ แสดงผลดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.10 ลำดับการแยกโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลจากคอลัมน์จะอาศัยจำนวนความยาวของสายโซ่คาร์บอนอะตอมของกรดไขมันทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล และจำนวนพันธะคู่ทั้งหมดในโมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ จากตารางที่ 4.5 เห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้แยกส่วน 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส มีผลต่อการลดลงของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันแข็งชนิด LLL, LOL, OML/LPL, OOL, LPO, OOO, OPO, OOS และ SSS ในขณะที่โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPL มีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกับไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน สำหรับโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SOL พบการเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อุณหภูมิแยกผลิตภัณฑ์ 40 องศาเซลเซียส (14.77 ± 1.29 เปอร์เซ็นต์) และโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SPO พบเพิ่มขึ้นที่ทุกอุณหภูมิแยกส่วน แต่พบการเพิ่มขึ้นสูงที่ 35 องศาเซลเซียส (21.82 ± 0.94 เปอร์เซ็นต์) สำหรับไขมันเหลวพบว่าอุณหภูมิแยกส่วนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SOL และ OOS เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน สำหรับโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPL พบการเพิ่มขึ้นในไขมันเหลวเมื่อผ่านการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด OOO และ OPO พบการเพิ่มขึ้นเมื่อแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SPO พบว่ามีการเพิ่มขึ้นในไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วน โดยพบมากที่สุดที่การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (16.42 ± 1.25 เปอร์เซ็นต์)

การจำแนกฟีดไตรเอซิลกลีเซอรอลอาศัยจำนวนคาร์บอนอะตอมสมมูล (equivalent carbon number; ECN ($ECN = CN - 2n$)) ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล (Andrikopoulos, 2002) แสดงผลดังตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเห็นได้ว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียว สามารถแบ่งตามคาร์บอนอะตอมสมมูล (ECN) ได้ 6 กลุ่ม ดังนี้คือ ECN=42 (LLL), ECN=44 (LOL, OML/LPL), ECN=46 (OOL, LPO, PPL), ECN=48 (OOO, OPO, SOL), ECN=50 (SOO, SPO, PPS) และ ECN=54 (SSS) โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลแต่ละกลุ่ม ECN จะมีปริมาณแตกต่างจากตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าไขมันแข็งพบความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิแยกส่วน โดยพบโมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 48 มากที่สุดที่อุณหภูมิแยกส่วน 30 องศาเซลเซียส (35.02 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 50 ในส่วนของไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วน สำหรับไขมันเหลวเมื่อพิจารณาโมเลกุลที่มีค่า ECN ต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เห็นได้ว่าการลดอุณหภูมิแยกส่วนมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 48 โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดหลักที่พบในน้ำมันหมูและไขมันที่แยกได้ทั้งของแข็งและของเหลวประกอบด้วยโมเลกุลที่มีค่า ECN=48 เป็นองค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งได้แก่ OPO (ในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีค่า 19.71 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในไขมันแข็งมีค่าอยู่ในช่วง 10.83 ± 0.09 ถึง 18.59 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ และไขมันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง 18.83 ± 0.97 ถึง 23.55 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์) และ SOL (ในน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนมีค่า 11.74 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในไขมันแข็งมีค่าอยู่ในช่วง 13.17 ± 0.01 ถึง 24.49 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์ และไขมันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง 10.02 ± 0.69 ถึง 13.21 ± 1.31 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ ECN=46 (28.42 ± 0.44 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ LPO และ ECN=50 ได้แก่ SPO การชะ (elute) ออกมาของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีค่า ECN ต่างกันพบว่าชนิดที่มีค่า ECN ต่ำจะถูกชะออกมาก่อน ส่วนไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีค่า ECN เท่ากัน โมเลกุลที่มีพันธะคู่จะถูกแยกออกมาก่อน (Andrikopoulos, 2002; Tan and Che-Man, 2000) ผลจากการทดลองเห็นได้ว่าในส่วนของไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนแบบชั้นเดียวและหลายชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน พบปริมาณของ LPO และ OPO ลดลง ในขณะที่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณ SOL และ SPO เช่นเดียวกันในส่วนของไขมันเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดหลักๆ ที่พบ ทั้ง 4 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Al-Rashood *et al.*, (1996) ได้รายงานการตรวจพบโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดหลักในไขมันหมูได้แก่ LPO 19.99 เปอร์เซ็นต์, OPO 19.31 เปอร์เซ็นต์, SOL 13.56 เปอร์เซ็นต์ และ SPO 13.17 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 โพรไฟลไตรเอซิลลิเซอร์ออลของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบขุ่นเดี่ยว

TAGs (%)	ไขมันแข็ง				ไขมันเหลว			
	น้ำมันหมู	40	35	30	น้ำมันหมู	40	35	30
LLL	1.20±0.25 ^a	0.69±0.06 ^b	0.78±0.04 ^b	0.73±0.00 ^b	1.20±0.25 ^a	0.77±0.02 ^b	0.85±0.07 ^b	0.80±0.04 ^b
LOL	5.00±0.05 ^a	3.94±0.38 ^b	3.89±0.04 ^b	3.68±0.05 ^b	5.00±0.05 ^a	4.75±0.22 ^b	4.74±0.23 ^a	4.28±0.10 ^a
OML/LPL	7.40±0.06 ^a	6.06±0.46 ^b	6.12±0.33 ^b	6.16±0.08 ^b	7.40±0.06 ^a	6.61±0.63 ^{ab}	7.05±0.62 ^{ab}	6.46±0.10 ^b
OOL	5.46±0.06 ^a	4.35±0.37 ^b	4.26±0.03 ^b	4.42±0.01 ^b	5.46±0.06 ^{ab}	5.33±0.19 ^{ab}	5.22±0.04 ^b	5.59±0.30 ^a
LPO	19.81±0.21 ^a	15.86±1.21 ^b	15.95±0.43 ^b	16.72±0.24 ^b	19.81±0.21 ^a	18.84±0.43 ^b	19.72±0.24 ^a	18.69±0.71 ^b
PPL	3.26±0.09 ^b	3.69±0.22 ^a	3.38±0.05 ^b	3.22±0.02 ^b	3.26±0.09 ^{ab}	3.80±0.42 ^a	4.14±0.79 ^a	2.52±0.84 ^b
OOO	3.68±0.10 ^b	2.87±0.09 ^c	2.79±0.01 ^c	3.23±0.02 ^b	3.68±0.10 ^{ab}	3.78±0.04 ^{ab}	3.26±0.33 ^b	4.16±0.39 ^a
OPO	19.71±0.07 ^a	15.69±0.98 ^c	15.90±0.35 ^c	18.59±0.07 ^b	19.71±0.07 ^b	19.82±0.34 ^b	18.83±0.97 ^b	22.51±0.69 ^a
SOL	11.74±0.01 ^c	14.77±1.29 ^a	14.01±0.13 ^{ab}	13.17±0.01 ^b	11.74±0.01 ^{ns}	13.21±1.31 ^{ns}	12.93±0.97 ^{ns}	12.99±0.05 ^{ns}
OOS	4.00±0.35 ^a	3.07±0.25 ^b	2.96±0.05 ^b	3.30±0.03 ^b	4.00±0.35 ^{ns}	3.64±0.30 ^{ns}	3.67±0.86 ^{ns}	3.30±0.47 ^{ns}
SPO	13.70±0.71 ^b	21.68±1.83 ^a	21.82±0.94 ^a	20.30±0.10 ^a	13.70±0.71 ^b	16.42±1.25 ^a	15.56±0.69 ^a	15.12±0.73 ^{ab}
PPS	1.23±0.38 ^d	4.95±0.08 ^b	5.48±0.17 ^a	4.25±0.03 ^c	1.23±0.38 ^a	0.99±0.13 ^{ab}	0.52±0.01 ^c	0.83±0.05 ^{bc}
SSS	3.82±0.13 ^a	2.39±0.52 ^b	2.67±0.05 ^b	2.22±0.28 ^b	3.82±0.13 ^a	2.05±0.08 ^b	3.51±0.58 ^a	2.75±1.01 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวอนติเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* ปริมาณไตรเอซิลลิเซอร์ออลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำมันหรือไขมัน 100 กรัม

LLL = trilinoleate, LOL = 1,3-dilinoleyl-2-oleyl glycerol, OML/LPL = 1-oleyl-2-myristoyl-3-linoleyl glycerol / 1-3-dilinoleyl-2-palmitoyl glycerol, OOL = 1,2-dioleoyl-3-linoleyl glycerol, LPO = 1-linoleyl-2-palmitoyl-3-oleyl glycerol, PPL = 1-2-dipalmitoyl-3-linoleyl glycerol, OOO = Trioleate, OPO = 1-3-dioleoyl-2-palmitoyl glycerol, SOL = 1-steroyl-2-oleyl-3-linoleyl glycerol, OOS = 1,2-dioleoyl-3-stearoyl glycerol, SPO = 1-stearoyl-2-palmitoyl-3-oleyl glycerol, PPS = 1,2-dipalmitoyl-3-stearoyl glycerol, SSS = tristearate

ตารางที่ 4.5 ค่าคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (ECN) ของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันแข็งและไขมันเหลว ที่ผ่านการแยกส่วนแบบขั้นเดียว

ECN*	TAGs**	Lard	ไขมันแข็ง		
			40 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส
42 ^{ns}	LLL	1.13±0.30	0.71±0.08	0.76±0.04	0.74±0.00
44	LOL+ OML/LPL	12.37±0.13 ^a	10.24±1.03 ^b	9.90±0.45 ^b	9.87±0.16 ^b
46	OOL+ LPO+ PPL	28.42±0.44 ^a	24.28±1.65 ^b	23.46±0.55 ^b	24.43±0.29 ^b
48	OOO+ OPO+ SOL	35.08±0.19 ^a	33.27±0.27 ^b	32.63±0.29 ^c	35.02±0.10 ^a
50	OOS+ SPO+ PPS	19.14±0.90 ^b	29.26±1.85 ^a	30.59±1.39 ^a	27.81±0.20 ^a
54	SSS	3.85±0.16 ^a	2.24±0.63 ^b	2.66±0.06 ^b	2.14±0.34 ^b

ECN*	TAGs**	Lard	ไขมันเหลว		
			40 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส
42 ^{ns}	LLL	1.13±0.30	0.76±0.02	0.87±0.09	0.79±0.06
44 ^{ns}	LOL+ OML/LPL	12.37±0.13	11.12±1.05	12.04±1.04	10.68±0.26
46 ^{ns}	OOL+ LPO+ PPL	28.42±0.44	27.66±1.27	28.78±1.31	27.16±1.53
48 ^{ns}	OOO+ OPO+ SOL	35.08±0.19	37.10±1.25	35.68±2.79	39.34±1.39
50 ^{ns}	OOS+ SPO+ PPS	19.14±0.90	21.28±1.00	19.30±1.88	19.58±1.41
54 ^{ns}	SSS	3.85±0.16	2.08±0.10	3.34±0.72	2.46±1.23

หมายเหตุ: ECN* หมายถึง การแบ่งไตรเอซิลกลีเซอรอลตามจำนวนคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (Equivalent Carbon Number; ECN หรือ Partition Number; PN: ECN/PN = CN-2db)

TAGs** หมายถึง โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสมมูลย์เท่ากับค่า ECN นั้นๆ

อักษร a, b, c, d ในแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.3 การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้น

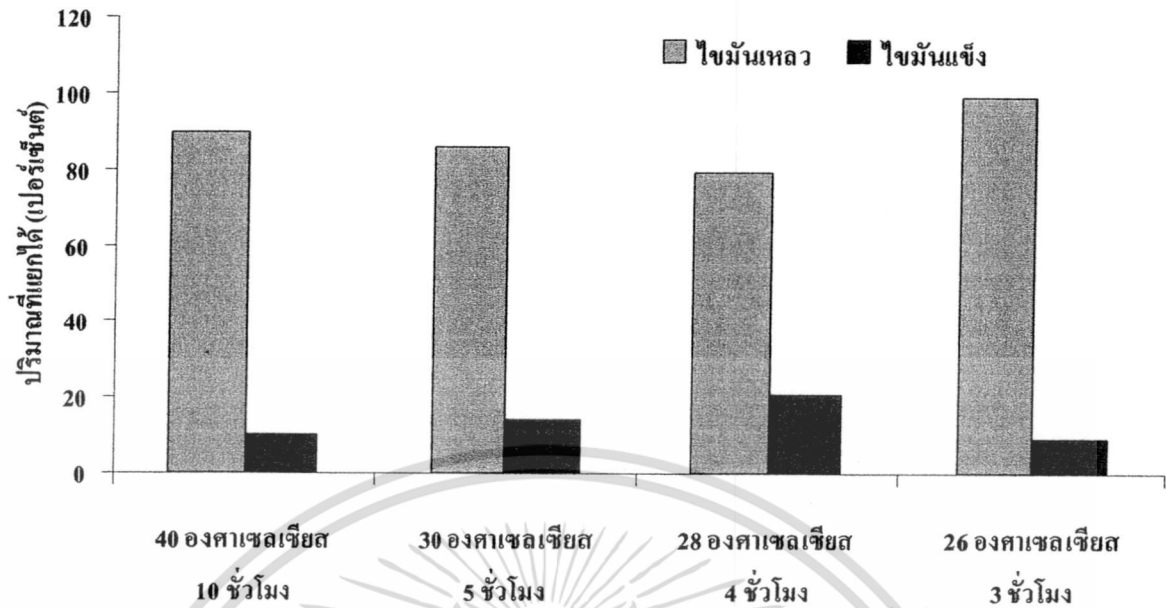
4.3.1 การเลือกอุณหภูมิและช่วงเวลาตกผลึกใช้ในการแยกส่วนไขมันหมูแบบหลายชั้น

ทำการทดลองช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกส่วนไขมันหมูแบบหลายชั้น โดยลดอุณหภูมิน้ำมันจาก 40-20 องศาเซลเซียส พบว่าทุกอุณหภูมิที่ใช้แยกส่วนสามารถแยกส่วนไขมันแข็งได้ดีแต่การแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส การแยกส่วนไขมันแข็งทำได้ยากเนื่องจากเกิดลักษณะที่เรียกว่าการคูดซับน้ำมัน ทำให้ต้องใช้เวลากรองแยกแบบสุญญากาศนานและไขมันแข็งที่แยกได้มีปริมาณน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากข้อมูลเบื้องต้นจึงได้กำหนดช่วงอุณหภูมิศึกษาออกเป็น 4 อุณหภูมิ คือ 40, 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส

ทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกผลึกของแต่ละอุณหภูมิที่กำหนดจากขั้นต้น โดยพิจารณาเวลาที่เหมาะสมจากเวลาที่ไขมันแข็งเกิดขึ้นจนมีปริมาณคงที่ด้วยอุณหภูมิศึกษาคือ 40, 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส ด้วยการกำหนดอัตราการกวนของใบพัดที่ 10 รอบต่อนาที พบว่าการแยกส่วนด้วยการควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานาน 10 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 30 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลา 5 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 28 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลา 4 ชั่วโมงและการควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลา 3 ชั่วโมง สามารถแยกส่วนไขมันแข็งได้ 11.32 ± 0.15 , 10.63 ± 0.15 , 15.45 ± 0.29 และ 9.82 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้นจึงเลือกใช้สภาวะการแยกผลึกโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เวลานาน 10 ชั่วโมง ก่อนนำไขมันเหลวมาแยกส่วนซ้ำโดยควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 5 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำไขมันเหลวที่ได้มาแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลานาน 4 ชั่วโมง และการแยกส่วนที่อุณหภูมิสุดท้ายควบคุมอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส เวลานาน 3 ชั่วโมง และควบคุมอัตราการกวนของใบพัดที่ 10 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง

4.3.2 ผลของกระบวนการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้นต่อปริมาณและลักษณะของไขมันที่แยกได้

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้น พบว่า อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.3 การแยกส่วนที่อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณไขมันแข็งมีค่าใกล้เคียงกับการแยกส่วนแบบขั้นเดียว โดยแยกไขมันแข็งได้ 10.21 ± 0.54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไขมันเหลวมาแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิต่ำลงมาพบว่าการแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งที่แยกได้มีปริมาณ 14.01 ± 0.45 , 20.85 ± 2.40 และ 9.13 ± 0.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 กราฟปริมาณไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น

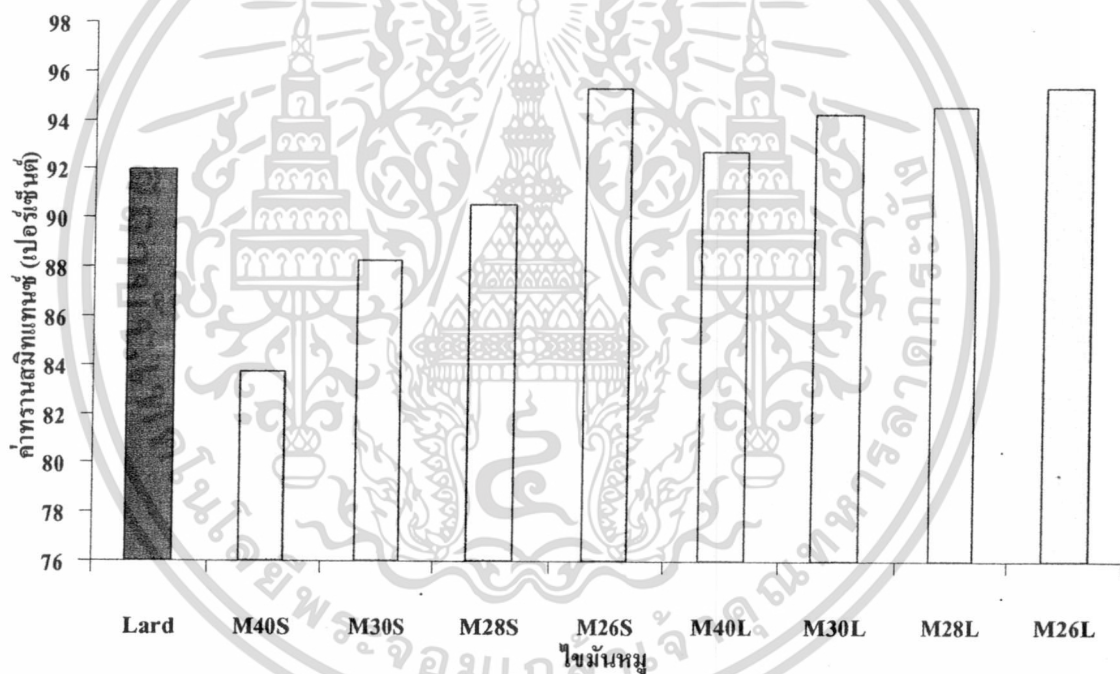
4.3.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น

ทำการวิเคราะห์ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และไขมันหมูแต่ละส่วน (ไขมันแข็งและไขมันเหลว) ที่แยกได้ด้วยการแยกส่วนแบบหลายขั้น โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ คือ ค่าสี ค่าไอโอดีน ค่าซาปอนิฟิเคชัน กรดไขมัน จุดหลอมเหลว กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ และ โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอล

ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้นมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยการวัดค่าทรานสมิทแทนซ์ของสารละลายไขมันหมูในคลอโรฟอร์มตามวิธีการวิเคราะห์ของ Chantachum *et al.*, (2000) ภาพที่ 4.4 เห็นได้ว่าไขมันแข็งที่แยกได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เท่ากับ 83.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทรานสมิทแทนซ์ที่น้อยบ่งบอกถึงไขมันแข็งที่แยกได้มีสีเข้ม (ภาพที่ 4.6b และ 4.7c) และเมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนพบว่าไขมันแข็งที่แยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียสมีค่าทรานสมิทแทนซ์เพิ่มขึ้นคือ 88.25, 90.53 และ 95.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับไขมันเหลวพบว่าหลังจากแยกไขมันแข็งออกแล้วไขมันเหลวมีสีอ่อนกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และสีของไขมันเหลวมีความใสเพิ่มขึ้น โดยไขมันเหลวที่แยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่าทรานสมิทแทนซ์ 92.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายไขมันเหลวมีค่าทรานสมิทแทนซ์เพิ่มขึ้นคือ 94.23, 94.57 และ 95.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเห็นได้ว่าการใช้อุณหภูมิแยกส่วนลำดับถัดลงมาช่วยกำจัดสารสีในไขมันที่แยกส่วนได้ การที่ไขมันแข็งมีสีเข้มเนื่องมาจากในกระบวนการเจียวมีการใช้ความร้อน ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบในไขมันสูญเสียสภาพและรวมตัวกันก่อเป็นสาร

เอกสเตรกต์ต่างๆที่สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียวทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนี้สารประกอบพวกอัลดีไฮด์ในกระบวนการออกซิเดชัน ได้แก่ 2-เฮกซานอล (2-hexanal) และอะเซทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ทำปฏิกิริยากับสารประกอบพวกอัลโดล (aldol) และแตกตัวเป็นสารประกอบโคร โตนาลดีไฮด์ (crotonaldehyde) และ 2-(1-บิวทีนิล)-ออกตา-2,4-ไดอีนอล (2-(1-butenyl)-octa-2,4-dienal) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลในน้ำมัน (Chantachum *et al.*, 2000) Sonntag (1982) อธิบายว่า สารสีในน้ำมันหรือไขมันสัตว์มักเป็นชนิดเดียวกับที่พบในน้ำมันจากพืช ซึ่งสารสีสำคัญคือ เบต้า-แคโรทีน จัดเป็นกลุ่มสารสีที่ละลายได้ในไขมัน มีบทบาทในการเป็นสารช่วยป้องกันการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน แต่สารสีนี้ถูกทำลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นไขมันที่ผ่านกระบวนการแยกส่วนที่มีสีอ่อนหรือมีความใส อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเบต้า-แคโรทีนสลายตัวในระหว่างกระบวนการแยกส่วนและไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้เร็ว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของเบต้า-แคโรทีนจากสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสารตั้งต้นออกซิเดชัน (prooxidant)



ภาพที่ 4.4 ค่าทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น

หมายเหตุ: Lard คือ ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, M40S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง, M30S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง, M28S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง, M26S คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง, M40L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง, M30L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง, M28L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง, M26L คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับไขมันหมูที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว จากตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าอุณหภูมิแยกส่วนที่ อุณหภูมิ 40, 30 และ 28 องศาเซลเซียส มีผลให้ไขมันแข็งที่แยกได้มีค่าไอโอดีนต่ำกว่าไขมันหมูที่ไม่ ผ่านการแยกส่วน โดยมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 41.52 ± 0.15 , 41.35 ± 0.17 และ 41.60 ± 0.14 ตามลำดับ ในขณะที่ไขมันแข็งที่แยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนมากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน โดยมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 41.73 ± 0.10 สำหรับไขมันเหลวพบว่า อุณหภูมิแยกส่วนเริ่มต้นและแยกส่วนซ้ำมีผล ให้ไขมันเหลวมีค่าไอโอดีนสูงกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน โดยพบว่าการแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ไขมันเหลวที่ได้มีค่าไอโอดีนสูงสุดคือ 42.02 ± 0.13 แต่เมื่อแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนจะลดลง ค่าไอโอดีนของไขมันที่ได้การแยกส่วนแบบหลายชั้นมีความ แตกต่างจากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว โดยเฉพาะส่วนไขมันแข็งเนื่องจากการแยกส่วนแบบหลายชั้น เป็นการนำไขมันเหลวที่แยกได้จากอุณหภูมิสูงมาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิต่ำลง ไขมันเหลวที่นำมาตกผลึก ซ้ำจึงมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ ทำให้ไขมันเหลวที่ถูกแยกในลำดับต่อมา มีไขมันไม่อิ่มตัวสูง และ มีไขมันอิ่มตัวลดลง

การวิเคราะห์ค่ากรดไขมันของไขมันหมูที่แยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้นพบความ แตกต่างกันทั้งในส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.6 พบว่าการลดอุณหภูมิแยกส่วน 40-26 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งที่แยกได้มีค่ากรดไขมันลดลง การใช้ อุณหภูมิแยกส่วน 30 และ 28 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งมีค่ากรดไขมันอยู่ในช่วง 0.43 ± 0.04 และ 0.44 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก ในขณะที่ไขมันเหลวที่แยกได้ที่แต่ละอุณหภูมิ มีค่ากรดไขมัน มากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน เมื่อเปรียบเทียบกรดไขมันของไขมันเหลวและไขมันหมูที่ไม่ ผ่านการแยกส่วน พบว่าการแยกส่วนที่ 40-28 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่ากรดไขมันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การแยกส่วนที่ 26 องศาเซลเซียส กรดไขมันมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยไขมันเหลวมีค่ากรดไขมันอยู่ในช่วง 0.60 ± 0.04 ถึง 0.68 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก การเปรียบเทียบค่ากรดไขมันระหว่างไขมันที่ได้จาก การแยกส่วนแบบครั้งเดียวและแบบหลายชั้น พบว่าการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีผลต่อค่ากรดไขมัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการผ่านกระบวนการตกผลึกหลายครั้ง ทำให้โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกทำลาย สำหรับค่าซาปอนิฟิเคชันของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้พบว่าไขมันแต่ละส่วนทั้ง ไขมันแข็งและไขมัน เหลวมีค่าซาปอนิฟิเคชันต่างกัน พบการเพิ่มขึ้นในไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่ม ในส่วนของไขมันที่ผ่านการแยกแบบชั้นเดียว พบค่าซาปอนิฟิเคชันในไขมันแข็งมากกว่าไขมันเหลวที่ แยกได้ ดังนั้นสามารถบ่งชี้ได้ว่าส่วนของไขมันแข็งที่แยกได้แต่ละช่วงอุณหภูมิประกอบด้วยโมเลกุล ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันชนิด โมเลกุลต่ำอยู่เป็นจำนวนมาก จากรายงานของ สลينا และวรรณ (2549) พบว่าค่าซาปอนิฟิเคชันของไขมันแข็งและไขมันเหลวมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันไก่ที่ไม่ผ่านการแยกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงค่าซาปอนนิฟิเคชันของไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.6 พบว่าทุกอุณหภูมิแยกส่วนไขมันแข็งที่แยกได้มีค่าซาปอนนิฟิเคชันสูงกว่าไขมันเหลว นั่นคือส่วนของไขมันแข็งจะมีไขมันที่มีกรดไขมันโมเลกุลต่ำสูงกว่าส่วนไขมันเหลว ส่วนที่เป็นไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนโดยลดอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของค่าซาปอนนิฟิเคชันจาก 195.51 ± 0.38 เป็น 198.20 ± 0.85 เมื่อใช้อุณหภูมิแยกส่วนที่ 26 องศาเซลเซียส ในส่วนไขมันเหลวที่แยกส่วนได้ที่อุณหภูมิ 28 และ 26 องศาเซลเซียส มีค่าซาปอนนิฟิเคชันมากกว่า ไขมันเหลวที่แยกส่วนได้ที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียส แสดงว่าการตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิ 28 และ 26 องศาเซลเซียส จะมีไขมันที่กรดไขมันสายโซ่ยาวเป็นองค์ประกอบถูกแยกออกมาอยู่ในไขมันเหลวส่วนนี้สูง

จุดหลอมเหลวของไขมันแข็งจากการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีช่วงการหลอมเหลวที่เป็นช่วงกว้างกว่าการแยกส่วนแบบชั้นเดียว เนื่องจากการตกผลึกซ้ำทำให้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงถูกแยกออกมาในไขมันแข็งส่วนแรกของการแยกส่วน (40 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันแข็งที่แยกได้ที่อุณหภูมิแยกส่วนซ้ำถัดมา (30 องศาเซลเซียส) ด้วยเหตุผลเดียวกันอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 28 และ 26 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งที่แยกได้มีจุดหลอมเหลวต่ำลงมา โดยจุดหลอมเหลวของไขมันที่แยกได้แต่ละส่วนที่อุณหภูมิ 40, 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 60.00 ± 0.19 , 55.88 ± 0.12 , 36.60 ± 0.13 และ 36.50 ± 0.06 ตามลำดับ สำหรับไขมันเหลวที่แยกได้พบว่าจุดหลอมเหลวของไขมันมีค่าแตกต่างกันโดยมีค่าลดลงตามอุณหภูมิแยกส่วน โดยไขมันเหลวที่แยกได้ที่ 40-26 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 28.50 ± 0.13 ถึง 40.43 ± 0.15 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของจุดหลอมเหลวพบมากในส่วนไขมันแข็ง โดยไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันเหลว เนื่องจากการตกผลึกไขมันเหลวซ้ำ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกแยกออกมาในไขมันแข็งส่วนแรก (ไขมันแข็งที่ 40 องศาเซลเซียส) ดังนั้น ไขมันแข็งที่ 40 องศาเซลเซียส จึงมีจุดหลอมเหลวสูงมาก เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนซ้ำที่ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 30-40 องศาเซลเซียส เป็นองค์ประกอบในไขมันแข็งทำให้มีจุดหลอมเหลวที่ลดลงมาก ด้วยเหตุผลเดียวกัน ไขมันแข็งที่ 26 องศาเซลเซียส จึงมีจุดหลอมเหลวต่ำลงมา เมื่อแบ่งคุณสมบัติการหลอมเหลวตามวิธีการของ Kaylegian and Lindsay (1994) สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ กลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง ประกอบด้วย ของแข็ง 40 และ 30 องศาเซลเซียส กลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ประกอบด้วย ไขมันหมู่ที่ไม่ผ่านการแยกส่วน ไขมันแข็ง 28, 26 องศาเซลเซียส และ ไขมันเหลว 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ประกอบด้วย ไขมันเหลว 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายชั้น

ไขมันแข็ง				
	I.V.	FFA (Oleic acid)	S.N.	M.P. (°C)
Lard	41.62±0.12 ^{ab}	0.54±0.06 ^a	192.35±0.44 ^d	43.12±0.10 ^c
S40-10hr	41.52±0.15 ^{bc}	0.50±0.04 ^{ab}	195.51±0.38 ^c	60.00±0.19 ^a
S30-5hr	41.35±0.17 ^c	0.43±0.04 ^c	196.91±0.74 ^b	55.88±0.12 ^b
S28-4hr	41.60±0.14 ^{ab}	0.44±0.04 ^c	197.73±0.57 ^a	36.60±0.13 ^d
S26-3hr	41.73±0.10 ^a	0.47±0.03 ^{bc}	198.20±0.85 ^a	36.50±0.06 ^d

ไขมันเหลว				
	I.V.	FFA (Oleic acid)	S.N.	M.P. (°C)
Lard	41.62±0.12 ^c	0.54±0.06 ^c	192.35±0.44 ^c	43.12±0.10 ^a
L40-10hr	41.75±0.20 ^{bc}	0.60±0.04 ^{bc}	195.04±0.69 ^b	40.43±0.15 ^b
L30-5hr	41.83±0.12 ^{ab}	0.64±0.05 ^{ab}	195.39±0.72 ^b	31.83±0.18 ^c
L28-4hr	42.02±0.13 ^a	0.68±0.04 ^a	196.21±0.74 ^a	29.65±0.33 ^d
L26-3hr	41.96±0.19 ^a	0.66±0.04 ^a	196.79±0.72 ^a	28.50±0.13 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

I.V. = จำนวนกรัมไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม, FFA-Oleic = เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม), S.N. = จำนวนมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักน้ำมัน (กรัม), M.P. = จุดหลอมเหลวของน้ำมัน (องศาเซลเซียส)

Lard คือ ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, S40-10hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง, S30-5hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง, S28-4hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง, S26-3hr คือ ไขมันแข็งที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง, L40-10hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง, L30-5hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง, L28-4hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง, L26-3hr คือ ไขมันเหลวที่แยกส่วนแบบหลายชั้นที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้นด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี แสดงผลดังตารางที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิแยกส่วนมีผลต่อปริมาณกรดไขมันในไขมันแข็งและไขมันเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กรดไขมันที่พบเป็นองค์ประกอบหลักในไขมันหมูแยกส่วนแบบหลายชั้นเป็นชนิดเดียวกับที่พบในไขมันหมูแยกส่วนแบบชั้นเดียว พบการเพิ่มขึ้นของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไขมันปาล์มิติก (C16:0) และกรดสเตียริก (C18:0) ในส่วนไขมันแข็ง ขณะที่พบการลดลงของปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดปาล์มิโตเลอิก (C16:1) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) สำหรับการวิเคราะห์ในไขมันเหลวไม่พบความแตกต่างของกรดไขมันลอริก (C12:0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มิโตเลอิก (C16:1) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ในขณะเดียวกันพบการลดลงอย่างมากของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ กรดสเตียริก (C18:0) แต่กรดไขมันปาล์มิติก (C16:0) มีการลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิแยกส่วนมีผลให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวถูกแยกออกไปอยู่ในส่วนของไขมันแข็ง เช่นเดียวกันกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนของไขมันเหลว ทั้งนี้ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการทดลองของ Grall and hartell (1992) รายงานว่าน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนตรวจพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายสั้นและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลักในส่วนไขมันเหลว ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวพบเป็นองค์ประกอบหลักในไขมันแข็ง พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวในไขมันแข็งอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิแยกส่วน 40 และ 30 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิแยกผลึกที่ 28 และ 26 องศาเซลเซียส พบการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากกระบวนการแยกส่วนแบบหลายขั้นทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวตกผลึกออกมาก่อนและเมื่อนำไขมันเหลวมาตกผลึกซ้ำทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวมีปริมาณลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Fathouh *et al.* (2003) ที่ทดลองแยกส่วนไขกระปือแบบหลายขั้นโดยพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวในส่วนไขมันแข็งและพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวในส่วนไขมันเหลว

ตารางที่ 4.7 กรดไขมันของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น

กรดไขมัน (%)*	ไขมันแข็ง				
	น้ำมันหมู	40 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส	28 องศาเซลเซียส	36 องศาเซลเซียส
C10:0	0.10±0.01 ^a	0.06±0.01 ^c	0.08±0.01 ^b	0.09±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b
C12:0	0.13±0.00 ^a	0.09±0.01 ^c	0.10±0.01 ^b	0.09±0.00 ^{bc}	0.09±0.01 ^c
C14:0	1.51±0.01 ^a	1.26±0.01 ^c	1.41±0.15 ^b	1.14±0.02 ^d	1.17±0.01 ^{cd}
C16:0	26.58±0.03 ^c	31.48±0.18 ^b	31.69±0.15 ^a	29.34±0.12 ^d	29.59±0.17 ^c
C16:1	1.29±0.00 ^a	0.71±0.11 ^d	0.82±0.06 ^c	0.98±0.01 ^b	0.94±0.02 ^b
C18:0	17.30±0.14 ^d	34.27±0.71 ^a	30.55±3.02 ^b	23.03±0.11 ^c	23.92±0.29 ^c
C18:1	33.02±0.12 ^a	20.71±0.55 ^d	23.01±1.92 ^c	28.64±0.16 ^b	27.93±0.25 ^b
C18:2	18.84±0.05 ^a	10.45±0.24 ^d	11.35±0.75 ^c	15.71±0.12 ^b	15.26±0.26 ^b
C18:3	0.96±0.02 ^a	0.48±0.02 ^d	0.53±0.05 ^c	0.74±0.01 ^b	0.73±0.01 ^b
C20:0	0.27±0.02 ^{bc}	0.50±0.02 ^a	0.46±0.04 ^a	0.25±0.01 ^c	0.31±0.01 ^b

กรดไขมัน (%)*	ไขมันเหลว				
	น้ำมันหมู	40 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส	28 องศาเซลเซียส	36 องศาเซลเซียส
C10:0	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.11±0.01 ^a	0.11±0.01 ^a	0.11±0.01 ^a
C12:0 ^{ns}	0.13±0.00	0.13±0.01	0.13±0.00	0.14±0.01	0.14±0.00
C14:0	1.51±0.01 ^c	1.55±0.03 ^b	1.56±0.02 ^b	1.65±0.02 ^a	1.67±0.03 ^a
C16:0	26.58±0.03 ^a	26.44±0.30 ^{ab}	26.22±0.24 ^b	25.43±0.15 ^c	25.29±0.06 ^c
C16:1	1.29±0.00 ^d	1.37±0.04 ^c	1.37±0.02 ^c	1.48±0.01 ^b	1.51±0.00 ^a
C18:0	17.30±0.14 ^a	15.75±0.68 ^b	15.17±0.50 ^b	13.06±0.39 ^c	12.66±0.05 ^c
C18:1	33.02±0.12 ^c	34.77±0.56 ^b	35.12±0.41 ^b	36.78±0.39 ^a	37.16±0.05 ^a
C18:2	18.84±0.05 ^{bc}	18.74±0.34 ^c	19.15±0.33 ^b	20.12±0.08 ^a	20.24±0.12 ^a
C18:3	0.96±0.02 ^{ab}	0.91±0.04 ^c	0.94±0.02 ^{bc}	1.00±0.05 ^a	1.01±0.01 ^a
C20:0	0.27±0.02 ^a	0.24±0.02 ^b	0.24±0.02 ^b	0.23±0.01 ^b	0.21±0.02 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* ปริมาณกรดไขมันอิสระคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำมันหรือไขมัน 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โพไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้นเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ไตรเอซิลกลีเซอรอลและโพไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลจากรายงานของ Marikkar *et al.*, (2002a, 2002b); Tan and Che Man, (2000); Al-Rashood *et al.*, (1996) แสดงผลดังตารางที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิแยกส่วนไขมันหมูมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโพไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงในไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียว ($p \leq 0.05$) การแยกส่วนไขมันแบบหลายชั้นพบว่าโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SOL, SPO พบมากในไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส คือ 24.49 ± 0.32 และ 31.42 ± 1.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPS พบการเพิ่มขึ้นอย่างมากในไขมันแข็งที่แยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส (5.68 ± 1.96 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPL พบว่าการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40, 30 และ 28 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้อยกว่าไขมันที่ไม่ผ่านการแยกส่วนแต่พบการเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผ่านการแยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส (4.33 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์) และโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SSS พบการเพิ่มขึ้นอย่างมากที่การแยกส่วนซ้ำที่ 30 องศาเซลเซียส (5.23 ± 1.09 เปอร์เซ็นต์) ส่วนโมเลกุลไตรเอซิลชนิดที่ตรวจพบในไขมันหมูชนิดอื่นพบว่าปริมาณลดลงเมื่อผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้น การตรวจวิเคราะห์โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้นตอน พบการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด LPO, OOO และ OPO โดย LPO พบการเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการแยกส่วนที่ 26 องศาเซลเซียส (22.01 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์) OOO พบมากในไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนที่ 28 องศาเซลเซียส (4.44 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์) และ OPO พบมากในไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนที่ 28 องศาเซลเซียส (23.55 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPL นอกจากนี้ยังพบโพไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SOL มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิแยกส่วนที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียส แต่มีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการแยกส่วนที่ 28 และ 26 องศาเซลเซียส

การพิจารณาไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีโพไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่แบ่งตามคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (ECN) ดังแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีค่า ECN เท่ากับ 48 เป็นองค์ประกอบมากที่สุด คล้ายคลึงกับไขมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนแบบชั้นเดียว โดยพบ 37.42 ± 0.52 เปอร์เซ็นต์ ในไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำที่ 26 องศาเซลเซียส สำหรับไขมันเหลวพบมากที่สุดที่ผ่านการแยกส่วนซ้ำที่ 28 องศาเซลเซียส โดยพบ 38.24 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 50 มีค่าเพิ่มขึ้นในไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนลำดับส่วน โดยพบการเพิ่มมากขึ้นถึง 35.84 ± 0.60 เปอร์เซ็นต์ จากการแยกส่วนที่ 28 องศาเซลเซียส ในขณะที่โมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 44 และ 46 มีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการแยกส่วนซ้ำ สำหรับในไขมันเหลวพบว่า โมเลกุลที่มีค่า ECN เท่ากับ 42 และ 44 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่พบการเพิ่มขึ้นของโมเลกุล ที่มีค่า ECN เท่ากับ 46 และ 48 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการแยกส่วนซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 โพรไฟต์ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้น

TAGs (%) ^a	ไขมันแข็ง					ไขมันเหลว						
	40	30	28	26	40	30	28	26	40	30	28	26
LLL	1.20±0.25 ^a	0.72±0.09 ^b	0.53±0.04 ^{bc}	0.45±0.02 ^c	0.88±0.03 ^b	0.85±0.01 ^b	0.65±0.20 ^b	0.89±0.05 ^b	1.20±0.25 ^a	0.85±0.01 ^b	0.65±0.20 ^b	0.89±0.05 ^b
LOL	5.00±0.05 ^a	3.71±0.41 ^b	2.71±0.07 ^c	2.53±0.23 ^c	4.15±0.22 ^c	4.45±0.13 ^{bc}	4.96±0.08 ^{ab}	4.74±0.57 ^{ab}	5.00±0.05 ^a	4.45±0.13 ^{bc}	4.96±0.08 ^{ab}	4.74±0.57 ^{ab}
OML/LPL	7.40±0.06 ^a	6.22±0.87 ^b	4.07±0.05 ^c	4.01±0.14 ^c	6.28±0.08 ^b	6.31±0.07 ^b	6.76±0.26 ^b	6.83±0.64 ^b	7.40±0.06 ^a	6.31±0.07 ^b	6.76±0.26 ^b	6.83±0.64 ^b
OOL	5.46±0.06 ^a	4.44±0.04 ^b	3.17±0.09 ^d	2.92±0.14 ^c	5.90±0.45 ^a	5.50±0.06 ^b	6.02±0.17 ^b	6.20±0.03 ^a	5.46±0.06 ^b	5.50±0.06 ^b	6.02±0.17 ^b	6.20±0.03 ^a
LPO	19.80±0.21 ^a	16.37±0.28 ^b	11.92±0.32 ^d	11.41±0.52 ^d	20.12±0.65 ^c	19.74±0.09 ^c	21.44±0.03 ^b	22.01±0.09 ^a	19.81±0.21 ^c	19.74±0.09 ^c	21.44±0.03 ^b	22.01±0.09 ^a
PPL	3.26±0.09 ^c	3.23±0.05 ^c	3.86±0.04 ^b	4.33±0.04 ^a	3.30±0.16 ^{ns}	3.21±0.20 ^{ns}	3.15±0.15 ^{ns}	3.24±0.01 ^{ns}	3.26±0.09 ^{ns}	3.21±0.20 ^{ns}	3.15±0.15 ^{ns}	3.24±0.01 ^{ns}
OOO	3.68±0.10 ^a	3.11±0.08 ^b	2.34±0.07 ^c	2.23±0.01 ^c	3.66±0.13 ^{bc}	3.32±0.44 ^c	4.44±0.35 ^a	4.10±0.03 ^b	3.68±0.10 ^{bc}	3.32±0.44 ^c	4.44±0.35 ^a	4.10±0.03 ^b
OPO	19.71±0.07 ^a	17.50±0.10 ^b	11.40±0.25 ^d	10.83±0.09 ^d	20.38±0.33 ^b	19.68±0.60 ^b	23.55±0.01 ^a	23.31±0.64 ^a	19.71±0.07 ^a	19.68±0.60 ^b	23.55±0.01 ^a	23.31±0.64 ^a
SOL	11.74±0.01 ^d	13.20±0.08 ^c	22.32±0.30 ^b	24.49±0.32 ^a	12.16±0.94 ^a	11.79±1.11 ^a	10.12±0.82 ^b	10.02±0.69 ^b	11.74±0.01 ^d	11.79±1.11 ^a	10.12±0.82 ^b	10.02±0.69 ^b
OOS	4.00±0.35 ^a	3.18±0.03 ^b	2.18±0.01 ^d	2.06±0.07 ^d	4.00±0.35 ^b	4.68±0.64 ^{ab}	4.18±0.52 ^b	5.11±0.56 ^a	4.00±0.35 ^b	4.68±0.64 ^{ab}	4.18±0.52 ^b	5.11±0.56 ^a
SPO	13.70±0.71 ^c	20.71±0.03 ^b	31.07±1.54 ^a	31.42±1.72 ^a	16.17±0.28 ^a	16.75±0.64 ^a	12.38±0.30 ^c	11.67±0.74 ^c	13.70±0.71 ^c	16.75±0.64 ^a	12.38±0.30 ^c	11.67±0.74 ^c
PPS	1.23±0.38 ^b	5.56±0.44 ^a	2.46±1.07 ^b	1.13±0.60 ^b	0.91±0.08 ^{ab}	0.68±0.11 ^{bc}	0.36±0.13 ^c	0.36±0.05 ^c	1.23±0.38 ^b	0.68±0.11 ^{bc}	0.36±0.13 ^c	0.36±0.05 ^c
SSS	3.82±0.13 ^b	2.07±0.00 ^c	1.98±0.04 ^c	2.18±0.46 ^c	2.29±0.65 ^{bc}	3.05±1.23 ^{ab}	2.00±0.16 ^{bc}	1.52±0.29 ^c	3.82±0.13 ^b	3.05±1.23 ^{ab}	2.00±0.16 ^{bc}	1.52±0.29 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* ปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไขมันหรือไขมัน 100 กรัม

LLL = trilinoleate, LOL = 1,3-dilinoleyl-2-oleyl glycerol, OML/LPL = 1-oleyl-2-myristoyl-3-linoleyl glycerol / 1-3-dilinoleyl-2-palmitoyl glycerol, OOL = 1,2-dioleoyl-3-linoleyl glycerol, LPO = 1-iminoylel-2-palmitoyl-3-oleyl glycerol, PPL = 1-2-dipalmitoyl-3-inoleyl glycerol, OOO = Trioleate, OPO = 1-3-dioleoyl-2-palmitoyl glycerol, SOL = 1-steroyl-2-oleyl-3-imoleyl glycerol, OOS = 1,2-dioleoyl-3-stearoyl glycerol, SPO = 1-steroyl-2-palmitoyl-3-oleyl glycerol, PPS = 1,2-dipalmitoyl-3-stearoyl glycerol, SSS = tristearate

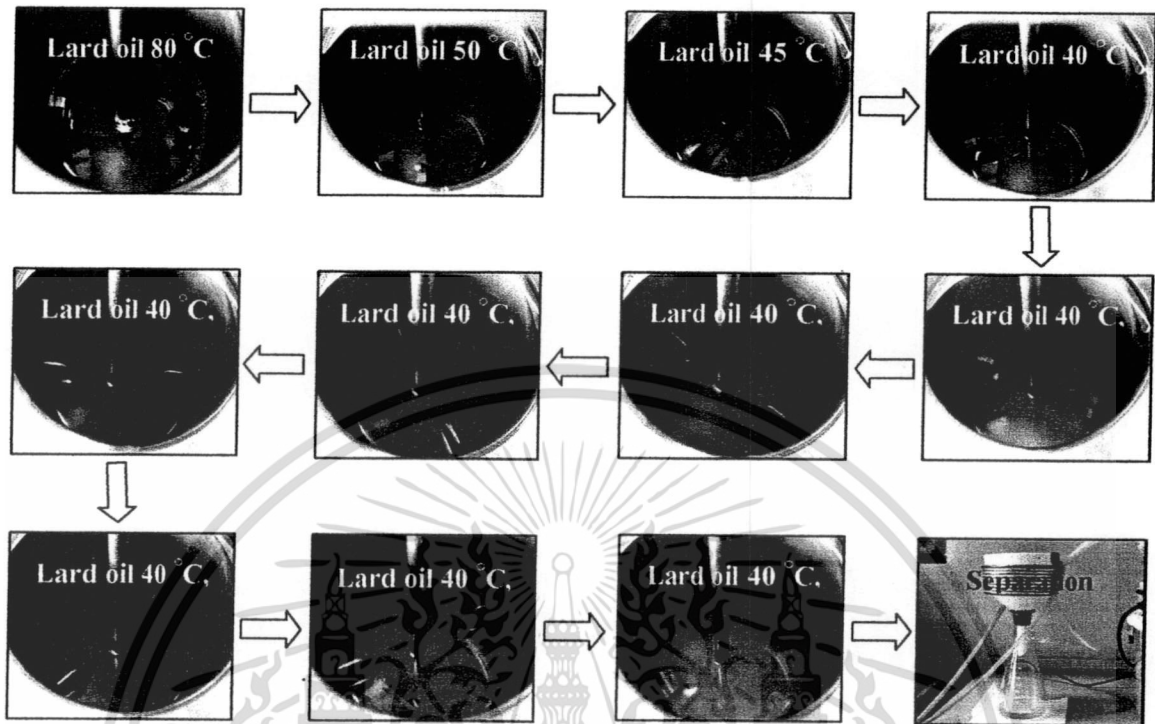
ตารางที่ 4.9 ค่าคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (ECN) ของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันแข็งและไขมันเหลวที่ผ่านการแยกส่วนแบบหลายชั้น

ECN*	TAGs**	Lard	ไขมันแข็ง			
			40 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส	28 องศาเซลเซียส	26 องศาเซลเซียส
42	LLL	1.13±0.30 ^a	0.72±0.00 ^b	0.70±0.11 ^b	0.52±0.05 ^b	0.46±0.02 ^b
44	LOL+ OML/LPL	12.37±0.13 ^a	9.97±0.15 ^b	9.56±1.57 ^b	6.77±0.03 ^c	6.43±0.45 ^c
46	OOL+ LPO+ PPL	28.42±0.44 ^a	24.14±0.45 ^b	21.61±0.78 ^c	18.82±0.56 ^d	18.46±0.86 ^d
48	OOO+ OPO+ SOL	35.08±0.19 ^{bc}	33.78±0.07 ^{cd}	32.74±1.65 ^d	36.06±0.02 ^{ab}	37.42±0.52 ^a
50	OOS+ SPO+ PPS	19.14±0.90 ^b	29.33±0.53 ^a	30.39±5.44 ^a	35.84±0.60 ^a	34.92±1.29 ^a
54	SSS	3.85±1.63 ^{ab}	2.07±0.00 ^c	5.01±1.34 ^a	1.99±0.05 ^c	2.31±0.56 ^{bc}

ECN*	TAGs**	Lard	ไขมันเหลว			
			40 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส	28 องศาเซลเซียส	26 องศาเซลเซียส
42 ^{ns}	LLL	1.13±0.30	0.87±0.04	0.85±0.01	0.71±0.24	0.87±0.06
44 ^{ns}	LOL+ OML/LPL	12.37±0.13	10.51±0.37	10.70±0.25	11.77±0.22	11.92±1.48
46	OOL+ LPO+ PPL	28.42±0.44 ^b	29.06±1.15 ^b	28.47±0.06 ^b	30.61±0.01 ^a	31.42±0.14 ^a
48	OOO+ OPO+ SOL	35.08±0.19 ^b	36.60±1.71 ^{ab}	35.15±1.55 ^b	38.24±0.58 ^a	37.41±0.09 ^{ab}
50	OOS+ SPO+ PPS	19.14±0.90 ^b	20.86±0.09 ^{ab}	22.14±0.14 ^a	16.72±0.86 ^c	16.78±1.54 ^c
54	SSS	3.85±0.16 ^a	2.10±0.80 ^{ab}	2.69±1.51 ^{ab}	1.96±0.20 ^{ab}	1.60±0.35 ^b

หมายเหตุ: ECN* หมายถึง การแบ่งไตรเอซิลกลีเซอรอลตามจำนวนคาร์บอนอะตอมสมมูลย์ (Equivalent Carbon Number; ECN หรือ Partition Number; PN: ECN/PN = CN-2db)

TAGs** หมายถึง โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสมมูลย์เท่ากับค่า ECN นั้นๆ
 อักษร a, b, c, d ในแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
 ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



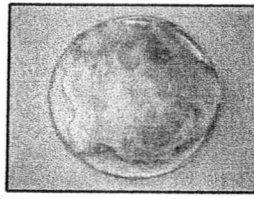
ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิค่าแบบขั้นเดียวและหลายขั้น โดยเริ่มจากไขมันหมูที่ผ่านการหลอมละลายผลึกที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำมาใส่ถังตกผลึกและควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามอุณหภูมิแยกส่วน เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดจึงกรองแยกผลึก กระบวนการดังกล่าวเป็นการแยกส่วนไขมันหมูแบบขั้นเดียว ส่วนการแยกส่วนแบบหลายขั้นจะนำไขมันเหลวที่แยกได้มาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิต่ำมา (จากภาพเป็นขบวนการตกผลึก ไขมันหมูที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส)



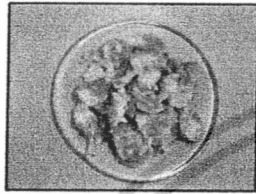
ภาพที่ 4.6 ไขมันเหลว (liquid fraction) ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว (single step) (a) และแบบหลายขั้น (multiple step) (b)

หมายเหตุ: L = ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน, L40 = ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่ 40 องศาเซลเซียส, L35 = ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่ 35 องศาเซลเซียส, L30 = ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่ 30 องศาเซลเซียส, L28 = ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่ 28 องศาเซลเซียส และ L26 = ไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนที่ 26 องศาเซลเซียส

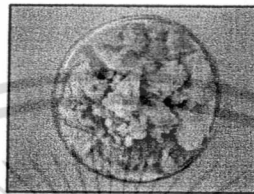
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



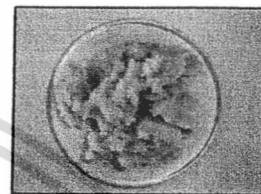
a. น้ำมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน



Solid fraction 40 °C

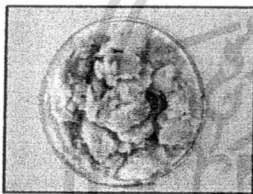


Solid fraction 35 °C



Solid fraction 30 °C

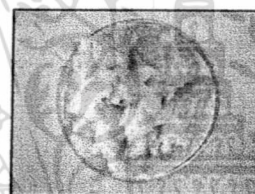
b. ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิค่าแบบขั้นเดียว



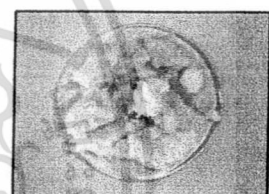
Solid fraction 40 °C



Solid fraction 30 °C



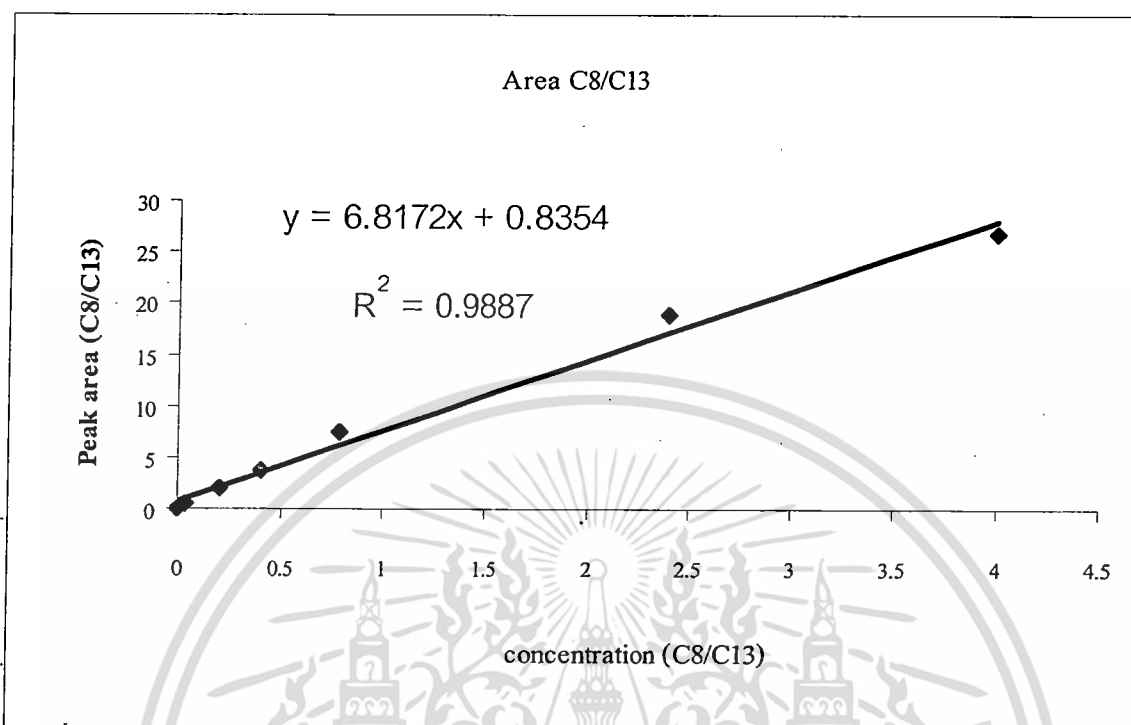
Solid fraction 28 °C



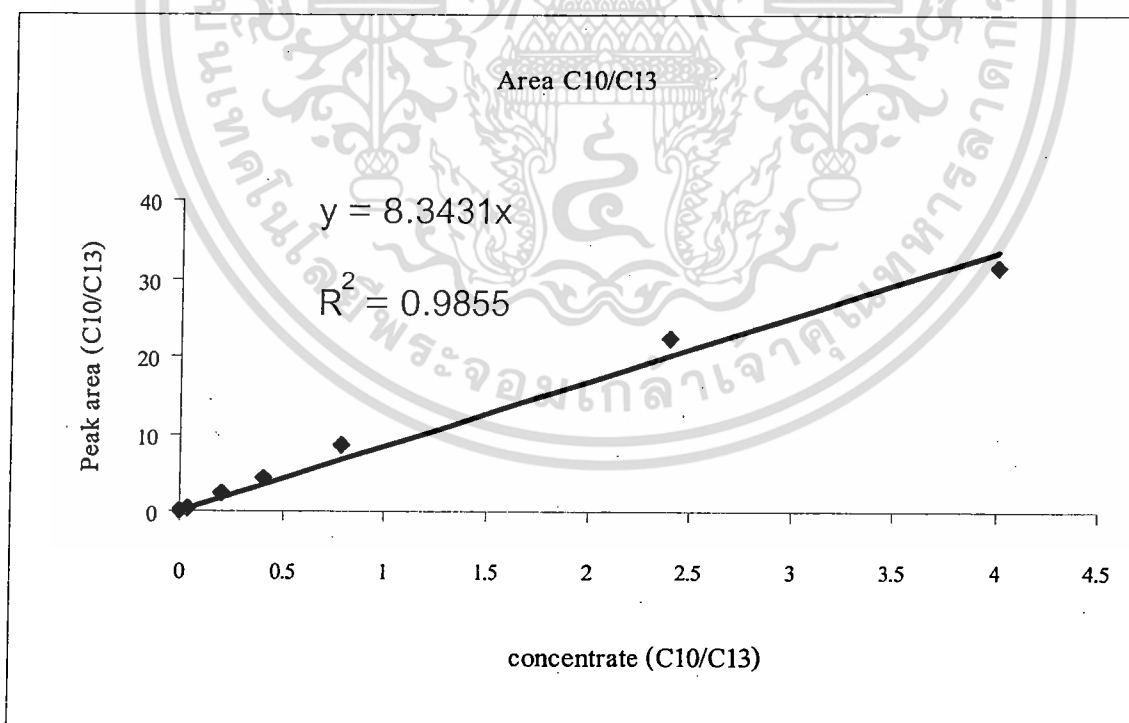
Solid fraction 26 °C

c. ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนที่อุณหภูมิค่าแบบหลายขั้น

ภาพที่ 4.7 ไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน (a) ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิค่าแบบขั้นเดียวที่อุณหภูมิ 40, 35 และ 30 องศาเซลเซียส (b) และ ไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิค่าแบบหลายขั้นที่อุณหภูมิ 40, 30, 28 และ 26 องศาเซลเซียส (c)

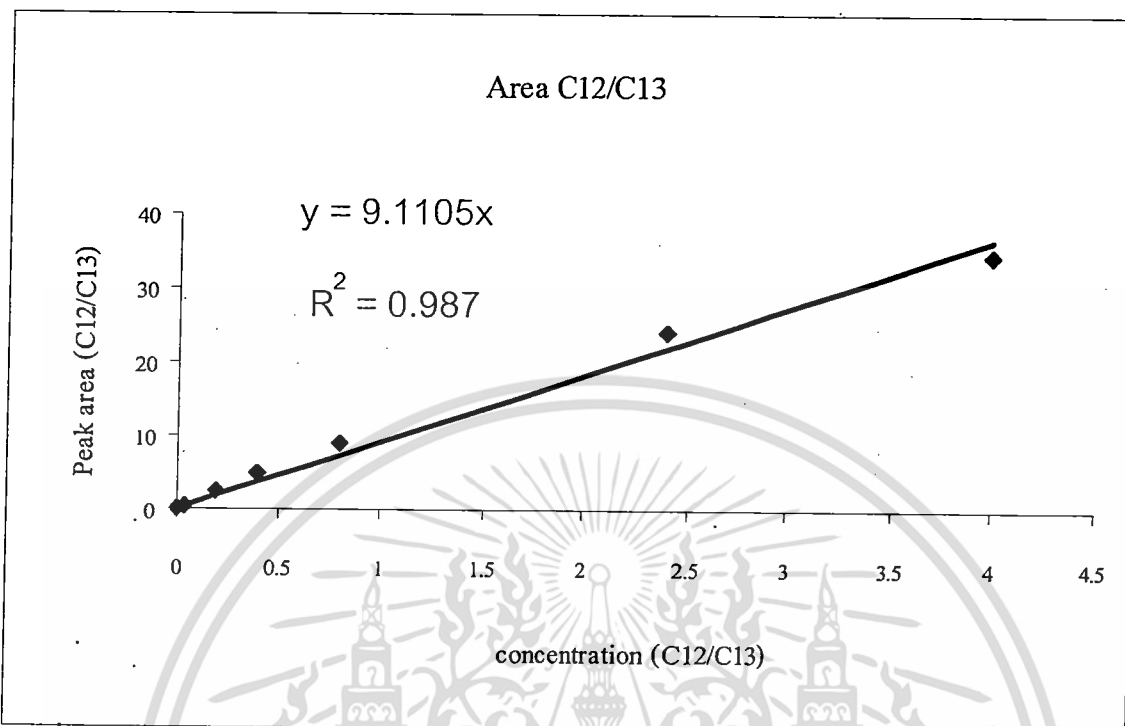


ภาพที่ 4.8 กราฟมาตรฐานกรดไขมันคาพริก (C8:0)

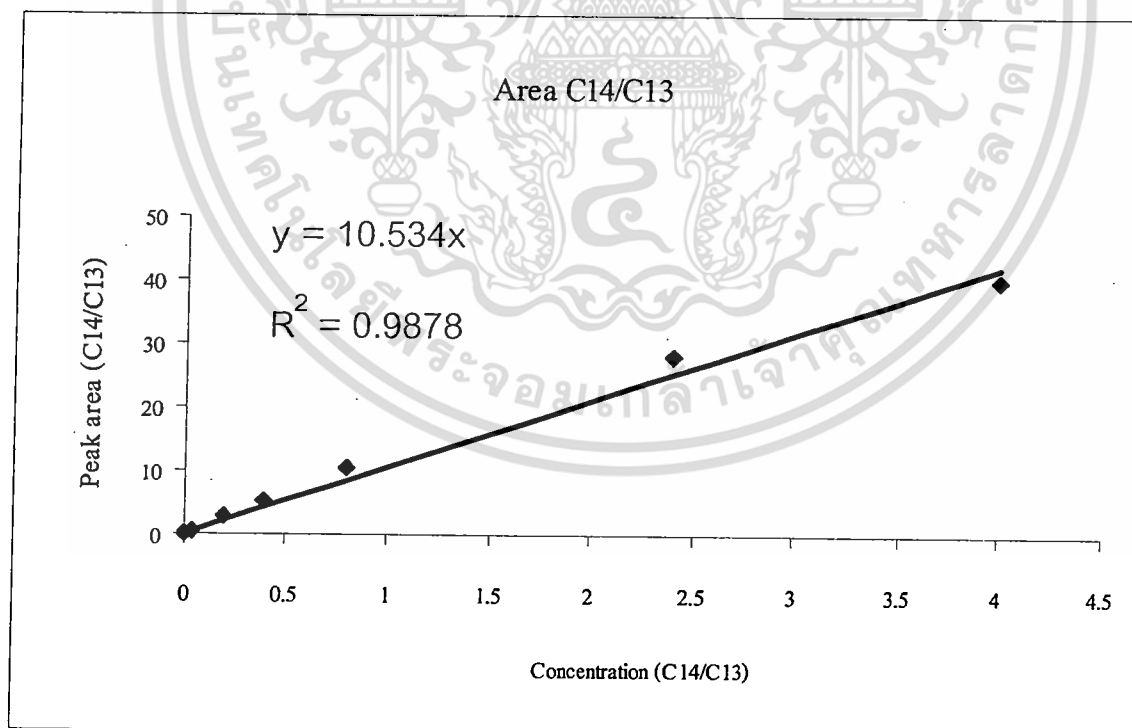


ภาพที่ 4.9 กราฟมาตรฐานกรดไขมันคาพริก (C10:0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

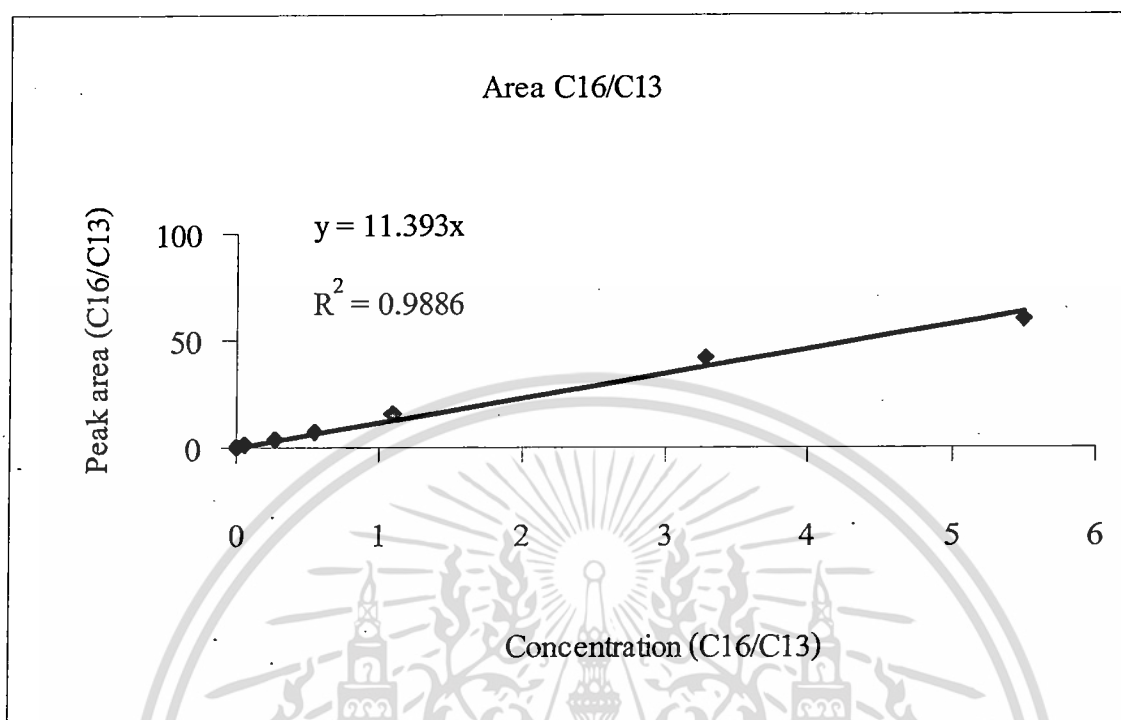


ภาพที่ 4.10 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลอริก (C12:0)

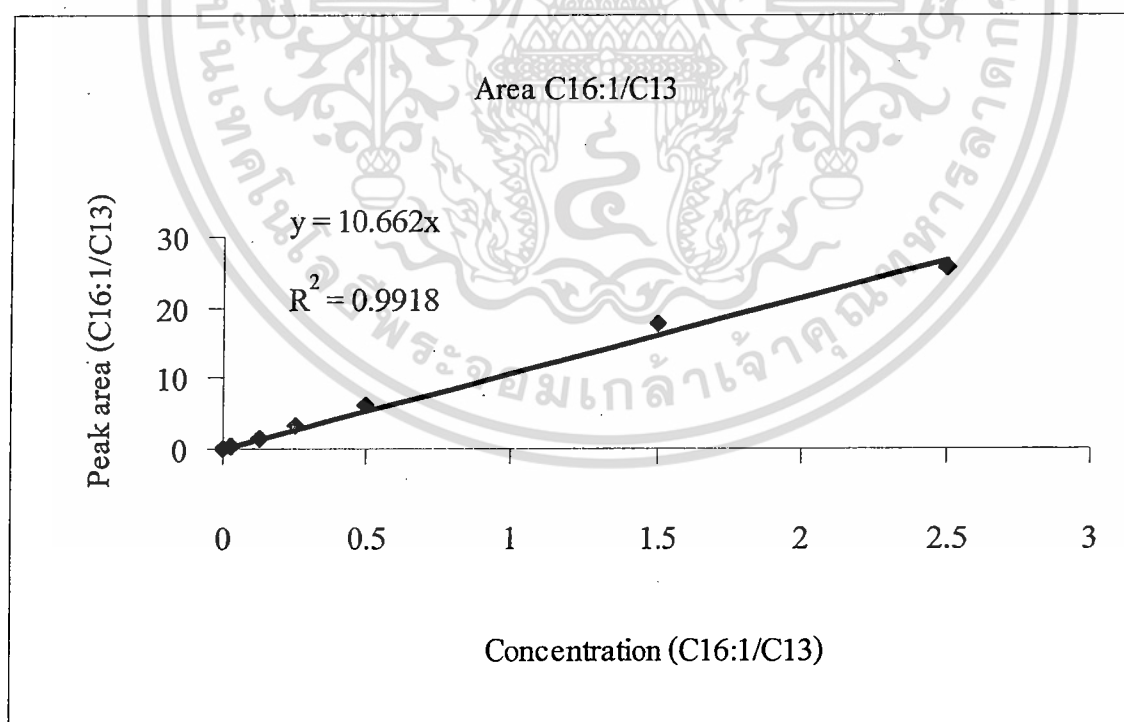


ภาพที่ 4.11 กราฟมาตรฐานกรดไขมันไมริสติก (C14:0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

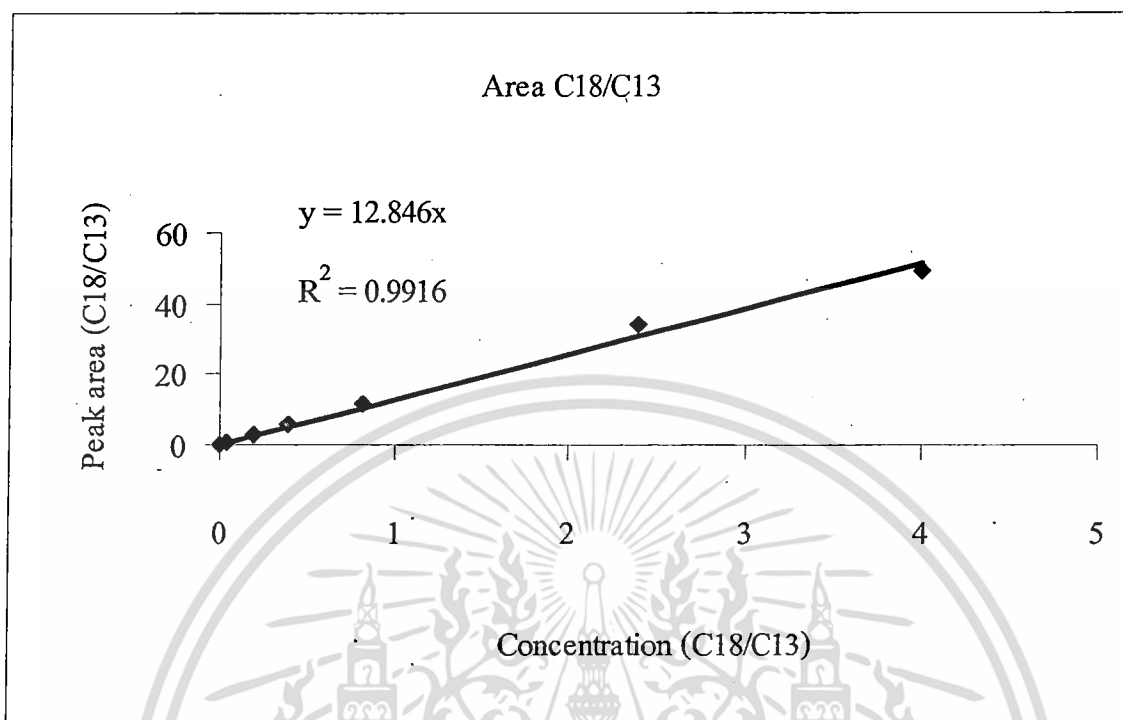


ภาพที่ 4.12 กราฟมาตรฐานกรดไขมันพาล์มิติก (C16:0)

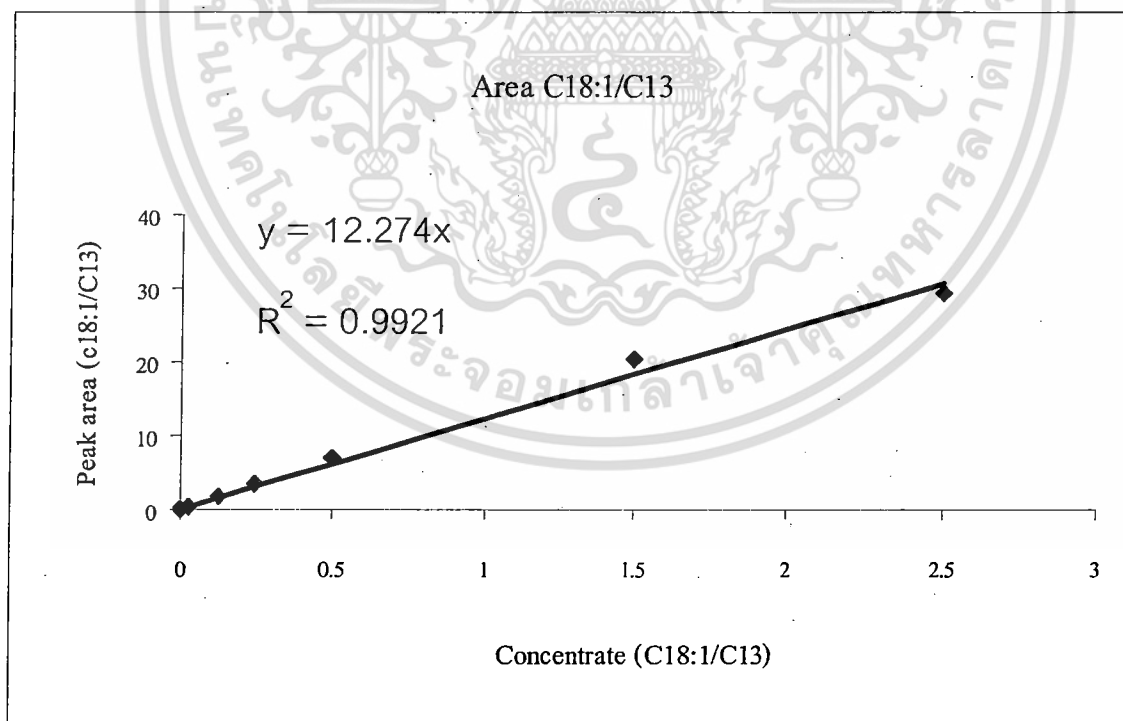


ภาพที่ 4.13 กราฟมาตรฐานกรดไขมันพาล์มิโตเลอิก (C16:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

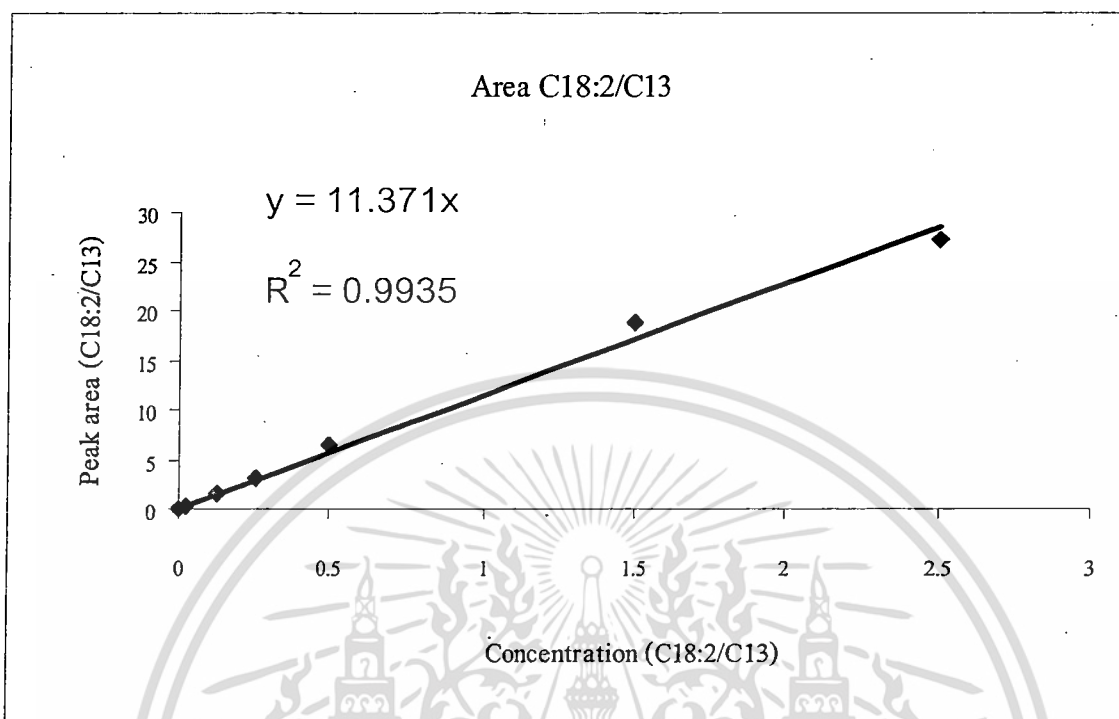


ภาพที่ 4.14 กราฟมาตรฐานกรดไขมันสเตียริก (C18:0)

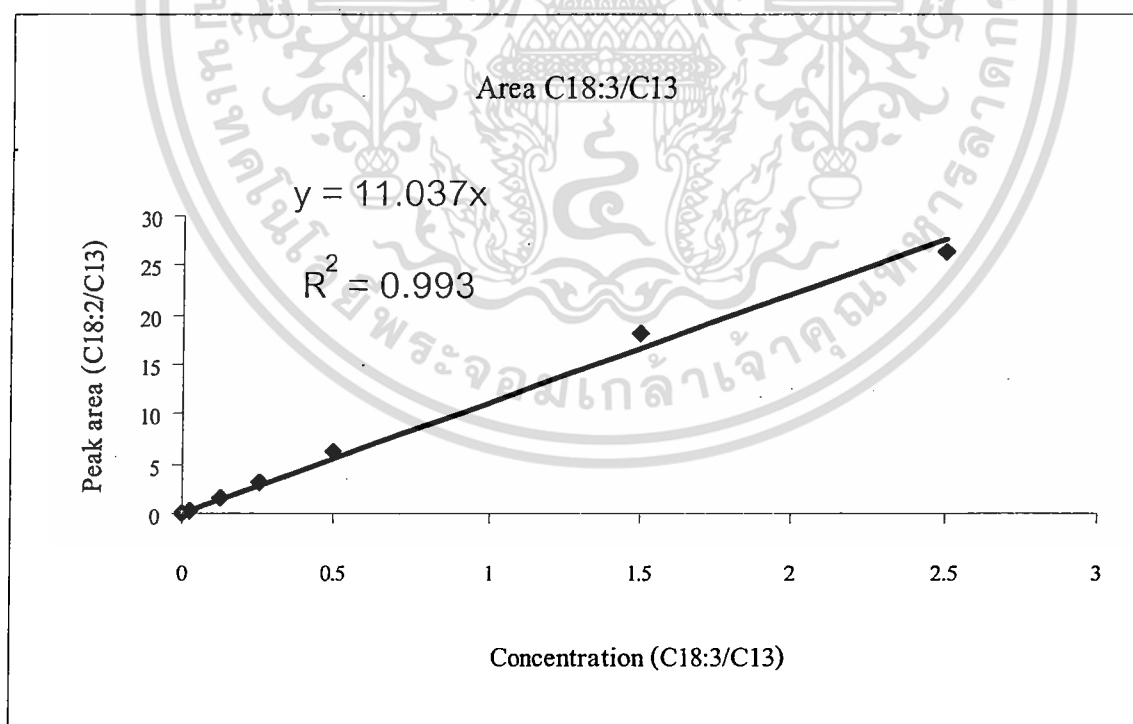


ภาพที่ 4.15 กราฟมาตรฐานกรดไขมันโอเลอิก (C18:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

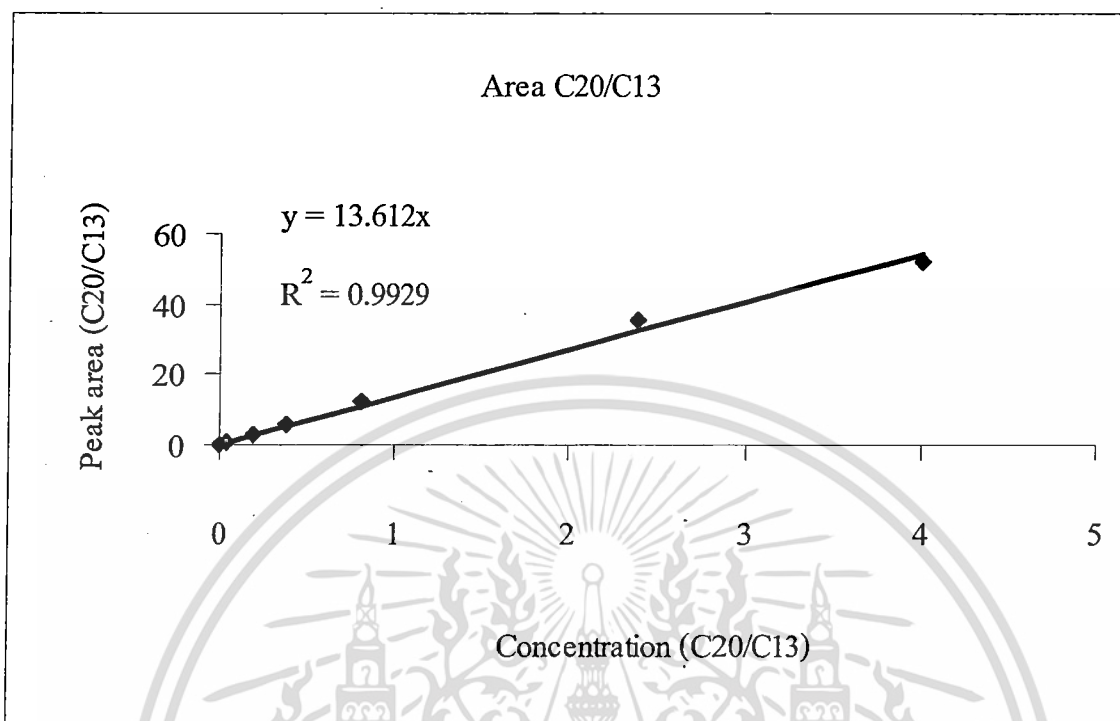


ภาพที่ 4.16 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิโนเลอิก (C18:2)

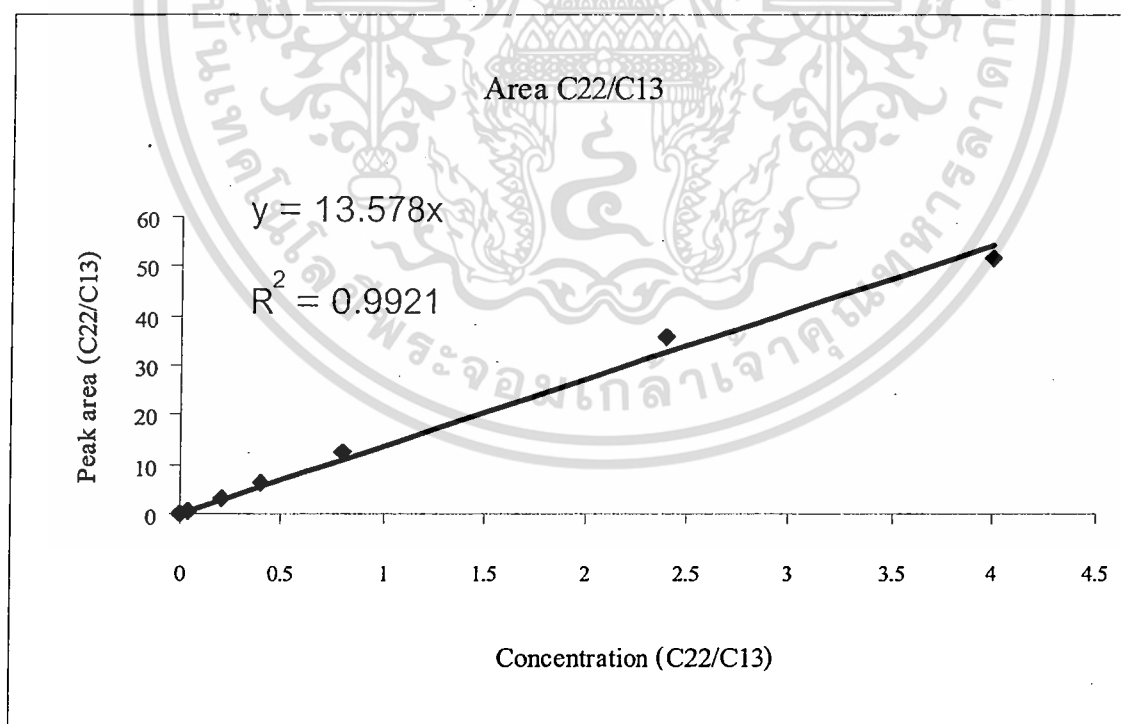


ภาพที่ 4.17 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิโนเลนิก (C18:3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

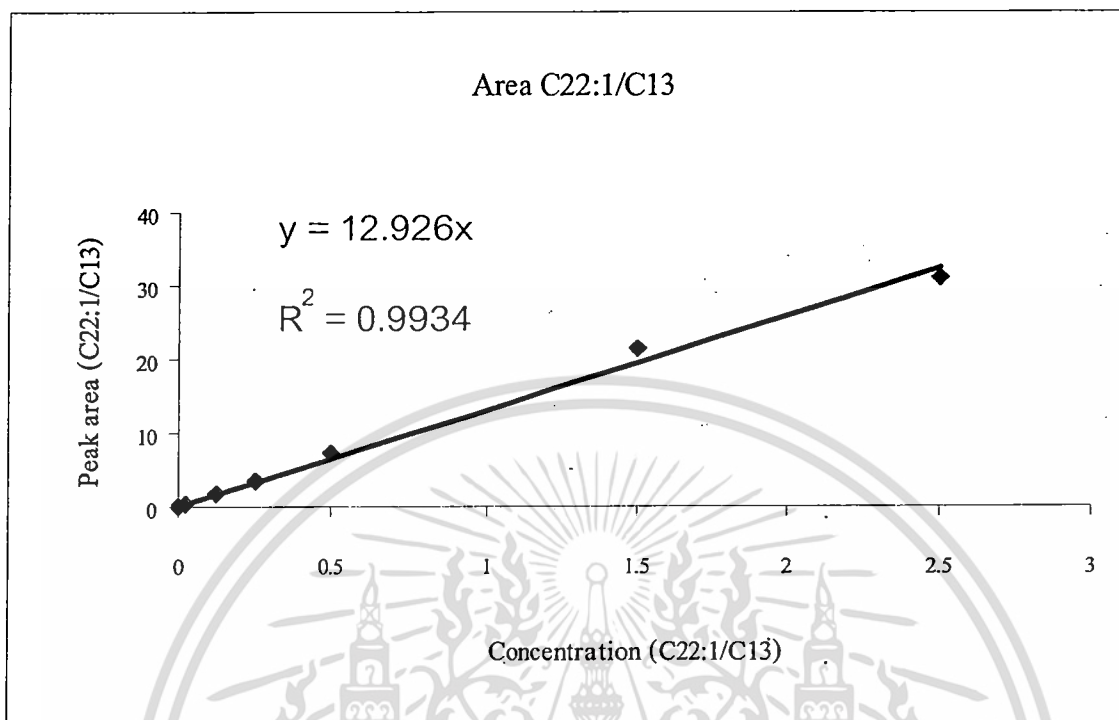


ภาพที่ 4.18 กราฟมาตรฐานกรดไขมันอะราชดิก (C20:0)

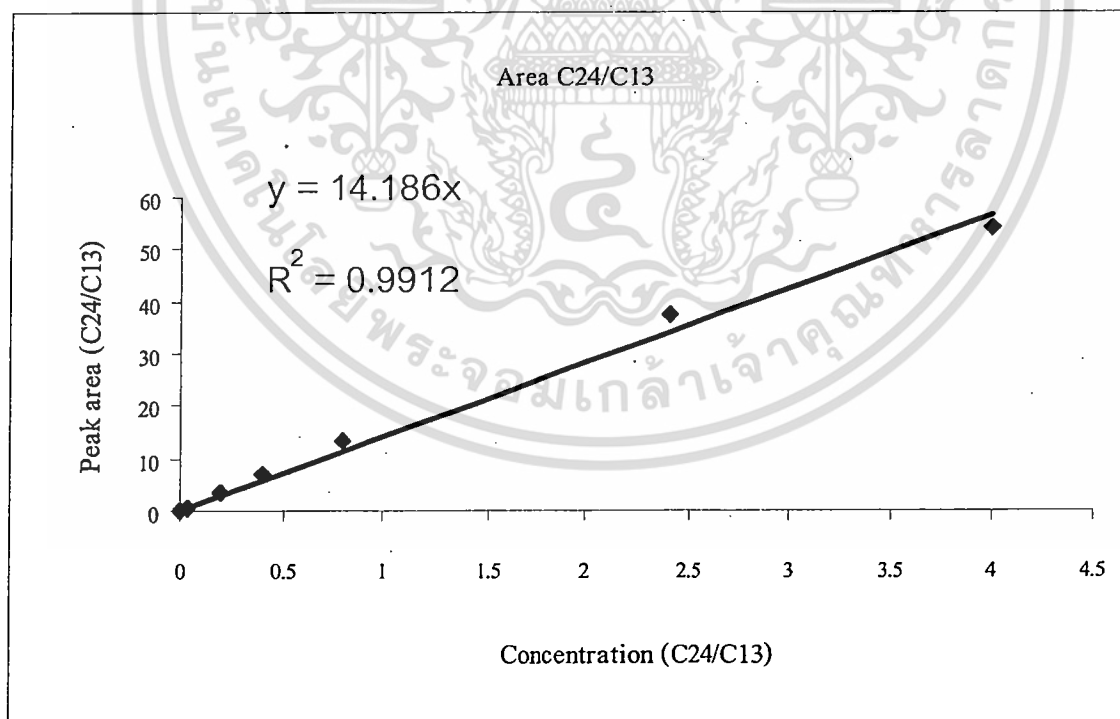


ภาพที่ 4.19 กราฟมาตรฐานกรดไขมันเบเฮนิก (C22:0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



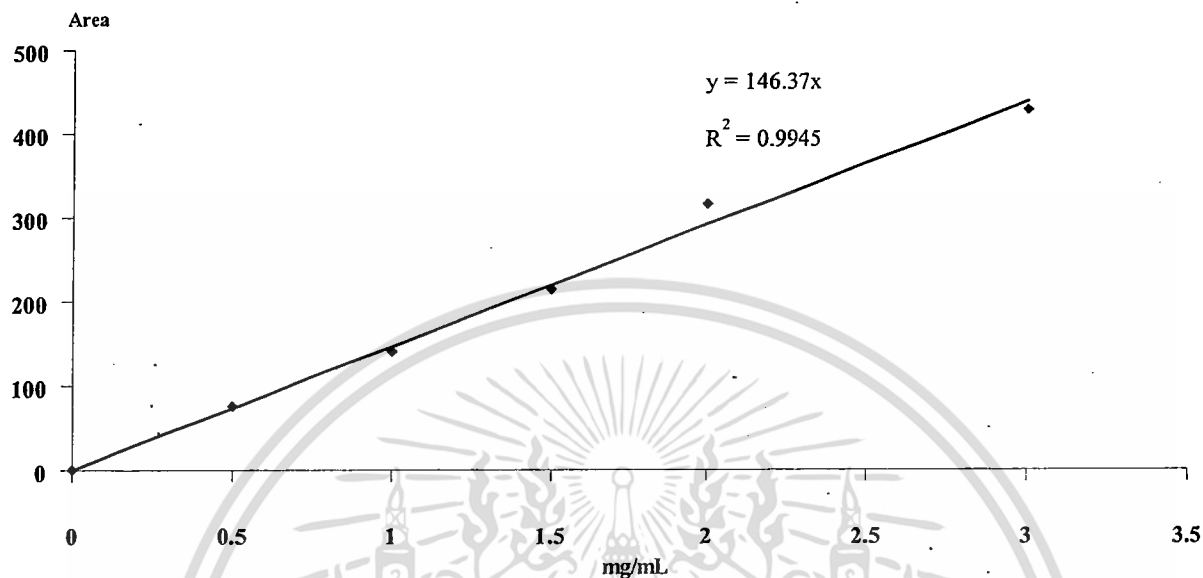
ภาพที่ 4.20 กราฟมาตรฐานกรดไขมันอีรูซิก (C22:1)



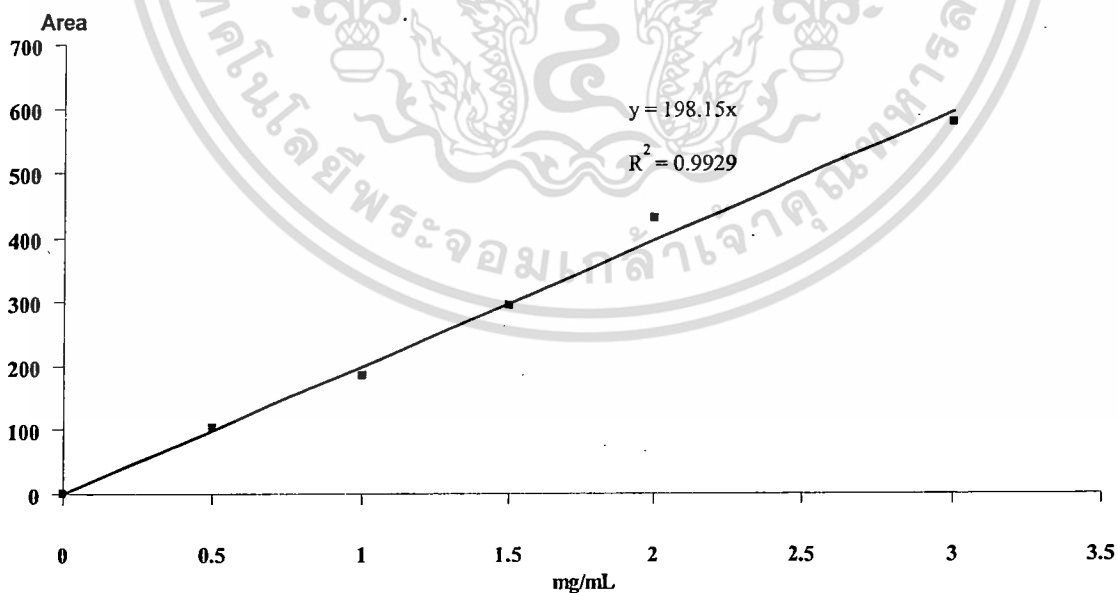
ภาพที่ 4.21 กราฟมาตรฐานกรดไขมันลิโคไนซริก (C24:0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LLL-TAG

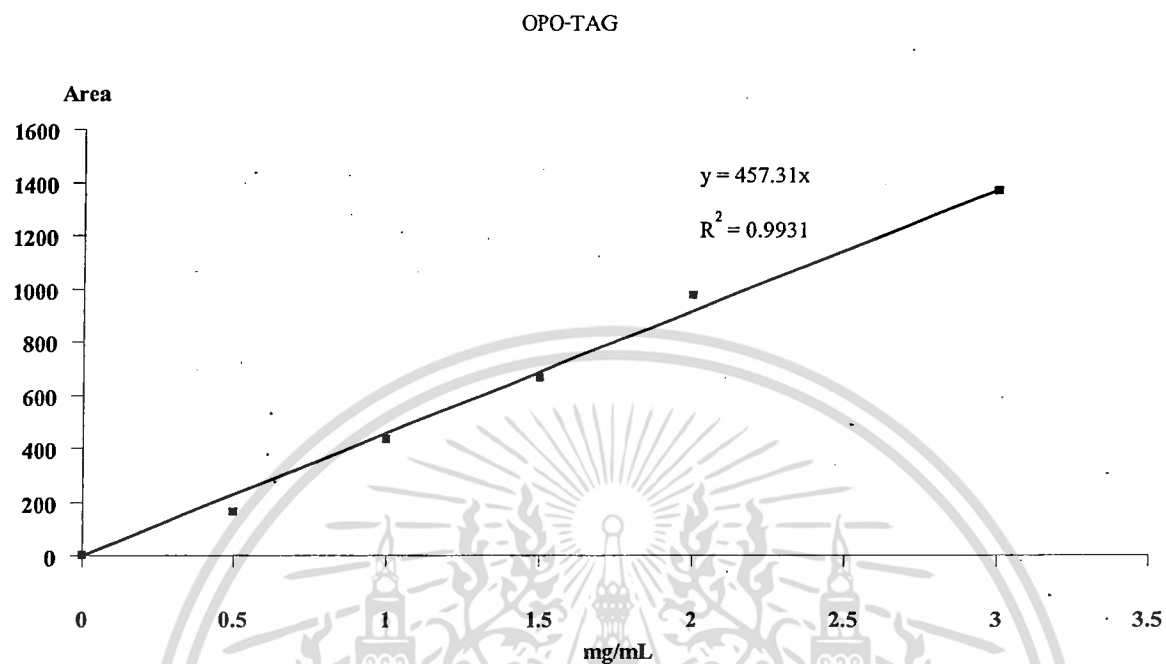


ภาพที่ 4.22 กราฟมาตรฐานไตรเอซิดกลีเซอรอล โพรไฟล์ไตรลิโนเลอิก (LLL-TAG)

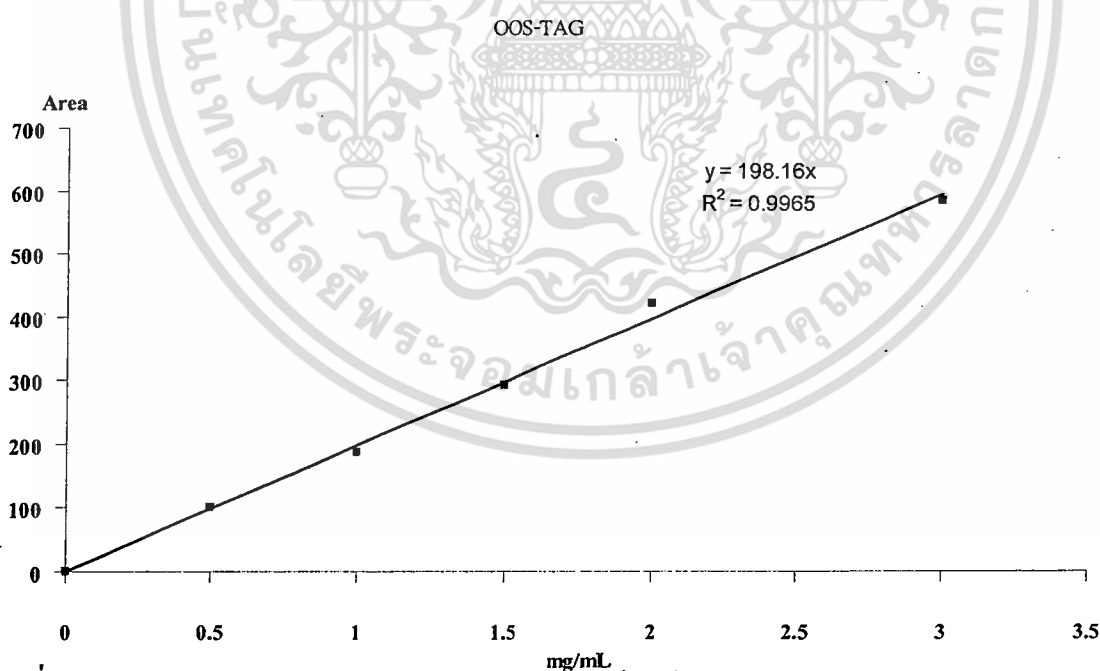


ภาพที่ 4.23 กราฟมาตรฐานไตรเอซิดกลีเซอรอล โพรไฟล์ไตรโอเลอิก (OOO-TAG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

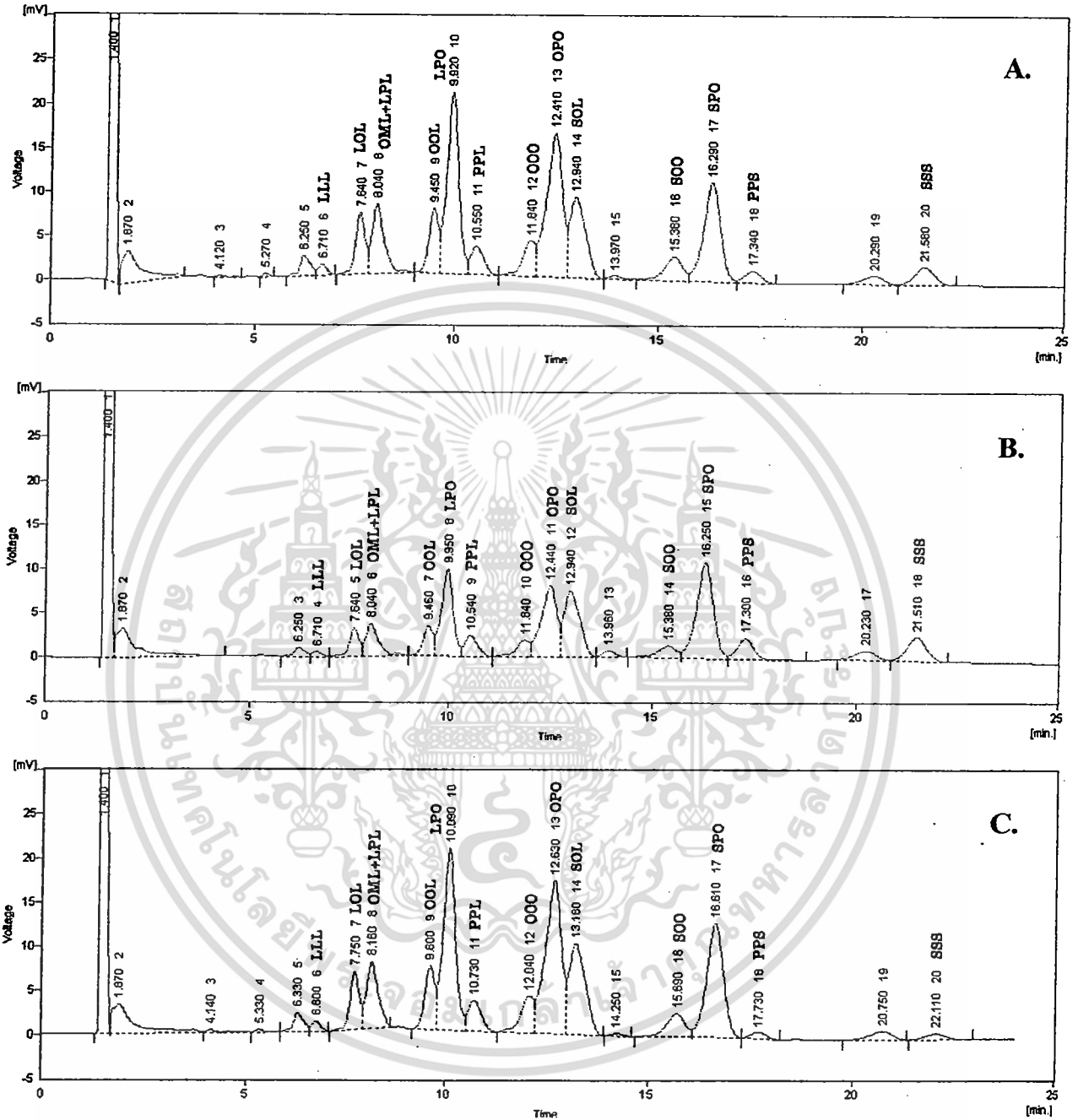


ภาพที่ 4.24 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ 1-3-ไดโอเลอิล-2-ปาล์มิโตอิล กลีเซอรอล (OPO-TAG)



ภาพที่ 4.25 กราฟมาตรฐานไตรเอซิลกลีเซอรอล โพรไฟล์ 1,2-ไดโอเลอิล-3-สเตียโรอิล กลีเซอรอล (OOS-TAG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.26 โพรไฟล์โครเมทิลลิเซอโรลในไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน (a.) ไขมันหมูแข็ง (b.) และไขมันเหลว (c.) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว การลดอุณหภูมิแยกส่วนช่วยให้เวลาดกผลึกลดลงและให้ปริมาณไขมันแข็งเพิ่มขึ้น การแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ให้ไขมันแข็ง 30 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมิแยกส่วนมีผลให้ไขมันเหลวมีสีใสขึ้น ไขมันแข็งที่ผ่านการตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีสีเข้ม และมีสีอ่อนลงเมื่อลดอุณหภูมิในการแยกส่วน คุณภาพทางเคมี พบไขมันแข็งมีค่าไอโอดีนต่ำกว่าไขมันเหลว เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนค่าไอโอดีนมีค่าลดลงซึ่งพบได้ทั้งในไขมันแข็งและไขมันเหลว ส่วนกรดไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นในไขมันแข็งเมื่อผ่านการตกผลึกที่ 30 องศาเซลเซียส (0.52 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก) ในขณะที่ไขมันเหลวมีค่าลดลงแต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ การแยกผลึกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของค่าซาปอนนิฟิเคชันในไขมันแข็งมากกว่าการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับไขมันเหลวพบการเปลี่ยนแปลงบ้างแต่ไม่ชัดเจน โดยมีค่าซาปอนนิฟิเคชันอยู่ในช่วง 195-196 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมัน 100 กรัม เมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วนไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้มีจุดหลอมเหลวลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันเหลวมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน การลดอุณหภูมิแยกส่วนแบบขั้นเดียวมีผลต่อปริมาณกรดไขมัน โดยพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากในไขมันแข็งมากกว่าไขมันเหลว ในไขมันแข็งพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัว กรดปาล์มติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) และอะราซดิก (C20:0) มากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน แต่กรดไขมันชนิดดังกล่าวจะลดลงเมื่อลดอุณหภูมิแยกส่วน ในขณะที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพบปริมาณต่ำกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนและการลดอุณหภูมิแยกส่วนมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณให้มากขึ้น สำหรับไขมันเหลวมีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวต่ำกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนแต่พบการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อลดอุณหภูมิตกผลึก เช่นเดียวกันพบปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิแยกส่วนแบบขั้นเดียวจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันในไขมันแข็งมากกว่าไขมันเหลว เมื่อพิจารณาโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลพบโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบด้วยคาร์บอน 52 อะตอม เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันหมูและไขมันหมูแยกส่วน และพบการเพิ่มขึ้นของโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SOL, SPO, และ PPS ในไขมันแข็ง ส่วนไขมันเหลวพบการเพิ่มขึ้นของโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด SPO

การแยกส่วนไขมันหมูด้วยอุณหภูมิต่ำแบบหลายขั้นมีขั้นตอนการแยกแตกต่างจากการแยกส่วนแบบขั้นเดียว โดยการแยกแบบหลายขั้นจะเป็นการนำเอาไขมันเหลวที่แยกได้ที่ อุณหภูมิหนึ่งมาตกผลึกต่อที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งครบตามระดับอุณหภูมิตามที่กำหนด ส่วนการตกผลึก

แบบชั้นเดียวจะเป็นการตกผลึกและแยกส่วนของไขมันแข็งและไขมันเหลวออกจากกัน โดยไม่มีการนำส่วนของไขมันที่แยกได้มาผ่านกระบวนการอื่น ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่พบปริมาณน้อยกว่าการแยกส่วนแบบชั้นเดียว ไขมันแข็งมีปริมาณมากเมื่อแยกส่วนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส แต่เมื่อแยกส่วนที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ไขมันแข็งที่แยกได้พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำกว่าการแยกแบบชั้นเดียว มีความหมายว่าไขมันที่ได้จากการแยกส่วนแบบหลายชั้นมีสีที่อ่อนกว่าการแยกส่วนแบบชั้นเดียว การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน กรดไขมันค่าซาปอนนิฟิเคชัน และจุดหลอมเหลว มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน เพียงแต่จุดหลอมเหลวของไขมันที่แยกได้แบบหลายชั้นมีช่วงของจุดหลอมเหลวที่กว้างเมื่อเทียบกับการแยกแบบชั้นเดียว โดยพบจุดหลอมเหลวของไขมันแข็งอยู่ในช่วง 60-36 องศาเซลเซียส และไขมันเหลวมีค่าอยู่ในช่วง 40-28 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิแยกส่วนแบบหลายชั้นพบการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในไขมันแข็งคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงที่พบแบบการแยกส่วนแบบชั้นเดียว แต่ในไขมันเหลวพบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้แก่ กรดโอเลอิก (C18:1) กรดลิโนเลอิก (C18:2) และ กรดลิโนเลนิก (C18:3) ที่มากกว่าที่พบในไขมันเหลวจากการแยกแบบชั้นเดียว ส่วนโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลพบโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีคาร์บอน 52 อะตอมเป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน แต่โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด PPS ในไขมันแข็งที่ผ่านการแยกส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากกว่าไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วน แต่มีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการแยกส่วนซ้ำที่อุณหภูมิดัดมา ในขณะที่โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ตรวจพบในไขมันเหลวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากพบว่าโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีคาร์บอน 52 อะตอมมีปริมาณเพิ่มขึ้นและโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีคาร์บอน 54 อะตอมมีปริมาณลดลง เมื่อเทียบไขมันเหลวที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว

การลดอุณหภูมิแยกส่วนทั้งแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้นทำให้ทราบข้อมูล อุณหภูมิที่ใช้แยกส่วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีบางประการ รวมทั้งโพรไฟล์กรดไขมันและโพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบในไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ ความเป็นไปได้ที่จะนำไขมันแต่ละส่วนที่แยกได้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมตามคุณสมบัติและองค์ประกอบ คือ ไขมันแข็งที่แยกได้ทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้นอาจใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ใช้ทดแทนมันเนยโกโก้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต สำหรับไขมันเหลวที่แยกได้อาจใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ การผลิตเนยเทียม และน้ำมันสำหรับทอด

เอกสารอ้างอิง

- ศลิษา แสงทอง และ วรณา ตั้งเจริญชัย. 2549. คุณสมบัติของไขมันไก่ที่ได้จากการแยกส่วนแบบชั้นเดียว และแบบหลายชั้น. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร นวัตกรรมทางอาหาร ครั้งที่ 8 ศูนย์ประชุมนานาชาติ ไบเทค บางนา 15-16 มิถุนายน. 7 หน้า.
- Al-Rashood, K.A., R.R.A. Abou-Shaaban, E.M. Abdel-Moety, and A. Rauf. 1996. Compositional and thermal characterization of genuine and randomized lard: A comparative study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 72(3): 303-309.
- 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.
- AOCS. 1999. Official Method and Recommended Practices. 5th ed. AOCS Press, Illinois: Champaign.
- Breeding, C.J. and R.T. Marshall. 1995. Crystallization of butter oil and separation by filter centrifugation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 72(2): 449-453.
- Breitschuh, B. and E.J. Windhab. 1998. Parameters influencing Co-crystallization and polymorphism in milk fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 75(8): 897-904.
- Che Man, Y.B., and M.E.S. Mirghani. 2001. Detection of lard mixed with body fats of chicken, lamb, and cow by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 78(7): 753-761.
- Chantachum, S., S. Benjakul, and N. Sriwirat. 2000. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. *Food Chemistry*. 69: 289-294.
- Codex. 1999. Codex Standard for Named Animal Fats (CODEX-STAN 211). 7 p.
- Compendium of Method for Food Analysis. 2003. Fatty Acid in Food Gas Chromatographic Method. 1st ed. Department of Medical Science and Department of Medical Science Foundation, National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard (ACFS), Bangkok.
- Fatouh, A.E., R.K. Singh, P.E. Koehler, and G.A. Mahran. 2003. Chemical and thermal characteristics of buffalo butter oil fractions obtained by multi-step dry fractionation. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*. 36: 483-496.
- Feng, S.W. and W.L. Chin. 1995. Contribution of particle sizes and particle size distributions in crystalline fractionation of lard. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 43(3):785-790.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Foglia, T.A., K.T. Lee, and D.D. Brillhart. 2002. Solvent fractionation of chicken fat for making lipid compositions enriched in unsaturated fatty acid containing triacylglycerols. U.S. Patent No. 6.344,574
- Ghotra, B.S., S.D. Dyal, and S.S. Narine. 2002. Lipids shortenings: a review. *Food Research International*. 35: 1015-1048.
- Grall, D.S. and R.W. Hartel. 1992. Kinetics of butterfat crystallization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 69(8): 741-747.
- Gunstone, F.D. 2004. *The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses*. Blackwell Publishing. Oxford. 288 p.
- Hamin, W. 1995. Trends in edible oil fractionation. *Trend in Food Science and Technology*. 6: 121-126.
- Handelman, G.L. 1996. Carotenoids as Scavengers of Active Oxygen Species In: *Handbook of Antioxidants*. Cadenas, E. and L. Packer. Eds. Marcel Dekker In., New York, NY. pp: 259-314.
- Herrera, M.L., J.A. Segura, G.L. Rivarola, and M.C. Anon. 1992. Relationship between cooling rate and crystallization behavior of hydrogenated sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 69(8): 898-905.
- Herrera, M.L. and R.W. Hartel. 2000. Effect of processing conditions on crystallization kinetics of a milk fat model system: Microstructure. *Ibid*. 77: 1197-1204.
- Institute of Shortening and Edible Oils. 1999. *Food Fats and Oils*. 8th ed. New York, NY. 40 p.
- Kaylegian, K.E., and R.C. Lindsay. 1994. *Handbook of Milkfat Fractionation: Technology and Application*. AOCS press. Illinois. 662 p.
- Lawson, H.W. 1985. *Standard for Fats and Oils*. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut. 235 p.
- Marikkar, J.M.N., H. M. Ghazali, Y. B. Che-Man, and O. M. Lai. 2002a. The use of cooling and heating thermograms for monitoring of tallow, lard and chicken fat adulterations in canola oil. *Food Research International*. 35(10):1007-1014.
- Marikkar, J.M.N., O. M. Lai, H. M. Ghazali and Y. B. Che-Man. 2002b. Composition and thermal analysis of RBD palm oil adulterated with lipase-catalyzed interesterified lard. *Food Chemistry*. 76:249-258.
- O'Brien, R.D. 1998. *Fat and oils: Formulating and Processing for Applications*. Technomics Publishing. Lancaster. 667 p.

- Rajah, K.K. and Moran, D.P.J. 1994. Fat Products Using Fractionation and Hydrogenation. In :Fats in Food Products.: Blackie Academic and Professional. Glasgow. pp: 277-313
- Sato, K. 2000. Crystallization behavior of fats and lipids-A review. Chemical Engineering Science. 56: 2255-2265.
- Sonntag, N.O.V. 1982. Analytical Methods In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products volume 2. 4th ed. Johnson, S.D. ed. Wiley and Sons, New York. NY. pp 433.
- Stauffer, C.E. 1996. Fats and Oils. Eagan Press. St. Paul, Minnesota. 149 p.
- Tan, C.P. and Y.B. Che-Man. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: comparison of thermal properties and chemical composition. Journal of the American Oil Chemists' Society. 77(2): 143-155.





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสีของน้ำมันหรือไขมัน

(ดัดแปลงวิธีของ Chantachum *et al.*, 2000)

ละลายตัวอย่างไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนและไขมันหมูที่แยกได้แต่ละส่วนทั้งแบบชิ้นเดียวและหลายชิ้น ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม ให้มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสารละลายไขมันหมูที่เตรียมได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มเป็นตัวเทียบมาตรฐาน คำนวณค่าทรานสมิทแทนซ์ (%T)

$$A = \log 1/T$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์

สารละลายน้ำมันหมูในคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร มีค่าแอบซอร์เบ้นซ์ 0.037 ให้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์

$$A = \log 1/T$$

$$0.037 = \log 1/T$$

$$1/T = 1.0889$$

$$T = 1 / 1.0889$$

$$T = 0.9184$$

$$T (\%) = 91.84 \%$$

กรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC)

(Compendium of method for food analysis, 2003)

ตัวอย่างไขมันหมูที่ไม่ผ่านการแยกส่วนและไขมันหมูแต่ละส่วนที่แยกได้ทั้งแบบชิ้นเดียวและหลายชิ้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl esters; FAMES) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโบรอนไตรฟลูออไรด์ (14 % BF₃ in methanol) ฉีดสารตัวอย่างที่อยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์ที่เตรียมได้ปริมาตร 1 ไมโครลิตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันด้วยเทคนิค Gas Chromatography (Agilent Technologies, USA) ระบบการฉีดคือ Split mode, Split ratio 1/50 ใช้คอลัมน์ DB-WAX capillary column (Polyethylene glycol) 30 m x 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness และใช้ฮีเลียม (99.99%) เป็นแก๊สพา ความคุมอัตราการไหล 1 มิลลิตรต่อนาที ช่วงแรกตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนจนถึง 200 องศาเซลเซียส (อัตราเพิ่ม 10 องศาเซลเซียสต่อนาที) คงไว้ที่นาน 18 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น

230 องศาเซลเซียส (อัตราเพิ่ม 4 องศาเซลเซียสต่อนาที) และคงไว้ 9 นาที ประมวลผลโดยใช้ Mass selective detector (Agilent Technologies, USA) ควบคุมอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส โครมาโตแกรมที่ได้ นำมาพิสูจน์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยเทียบกับโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน กรดไขมัน

โพรไฟล์ไตรเอซิลกลีเซอรอลด้วยเทคนิค RP-HPLC

(ดัดแปลงวิธีการของ Marikkar *et al.*, 2002a)

เตรียมตัวอย่างโดยละลายตัวอย่างน้ำมันหรือไขมันให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ในอะซีโตน (น้ำหนักต่อปริมาตร) สารละลายไขมันที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Reverse phase-HPLC (Thermo-finnigan Co., Ltd USA) ระบบควบคุม (System controller) เป็นแบบปั๊มและตัวฉีด (Pump and Injector; P-200, Thermo-finnigan Co., Ltd USA) ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ 10 ไมโครลิตร ฉีดผ่านคอลัมน์ Lichrosphere Column 100-RP-18, 5 μ m, 125mm x 4mm i.d. (Phenomenex Co., Ltd USA) ควบคุม อุณหภูมิของคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส ด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ (Column Heater) T-120 (Fortune Scientific Co., Ltd. Thailand) สารละลายเคลื่อนที่เตรียมได้จากตัวทำละลายอะซีโตนและอะซีโตรีนในอัตราส่วน 63.5:36.5 (vol/vol) ควบคุมอัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ประมวลผลโดยใช้เครื่องประมวลผล Refractive Detector, RI-150 (Thermo-finnigan Co., Ltd USA) ตั้ง sensitivity RI detector ที่ 128 RI-unit โครมาโตแกรมที่ได้นำมาพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Standard Triacylglycerol, Sigma) ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย Trioleate 99.9% (OOO), Trilinoleate 99.0% (LLL), 1,2-dioleoyl-3-palmitoyl glycerol 99.0% (OOP), 1,3-dioleoyl-2-palmitoyl glycerol 99.0% (OPO), 1,2-dioleoyl-3-steroyl glycerol 99.0% (OOS) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โพรไฟล์โมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลตามการรายงานของ Marikkar *et al.*, (2002a, 2002b); Tan and Che Man, (2000); Al-Rashood *et al.*, (1996)