การแยกส่วนไขมันวัว และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ์ที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน

FRACTIONATION OF TALLOW AND CHARACTERISTICS OF MEAT LOAF CONTAINING FRACTIONATES

พัชรา โกศิยานันท์

FATCHARA KOSIYANANT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-053-062

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแยกส่วนไขมันวัว และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน

FRACTIONATION OF TALLOW AND CHARACTERISTICS OF MEAT LOAF CONTAINING FRACTIONATES

พัชรา โกสิยานันท์

PATCHARA KOSIYANANT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105538
วัน,เดือน,ปี 26 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-053-062

FRACTIONATION OF TALLOW AND CHARACTERISTICS OF MEAT LOAF CONTAINING FRACTIONATES

PATCHARA KOSIYANANT

A THESIS SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-AI-M-053-062

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกส่วนไขมันวัว และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน

Fractionation of Tallow and Characteristics of Meat Loaf Containing Fractionates

ชื่อนักศึกษา นางสาวพัชรา โกสิยานันท์

รหัสประจำตัว 49068513

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย	
รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์	
รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ	
ผศ.ดร.กมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 22 ตุลาคม 2552 เวลา 10.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รศ.เยาวลักษณ์ ภูรพันธพิสิษฐ์)

รักษาการแทนคณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 28 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 30 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 52
ลงชื่อ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกส่วนไขมันวัว และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน
นักศึกษา	พัชรา โกสิยานันท์
รหัสประจำตัว	49068513
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย

บทคัดย่อ

แยกส่วนไขมันวัวแบบหลายขั้น โดยใช้ไขมันวัว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป และพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C และ30 ± 1°C ตามลำดับ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของไขมันแยกส่วน พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาตกผลึกมีผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน และไขมันแยกส่วน การแยกส่วนมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ประมาณ 6.05 % ($p \leq 0.05$) กรดไขมันหลักในน้ำมันวัว ไขมัน และน้ำมันแยกส่วน ได้แก่ โอเลอิค (C18:1) ลิโนเลอิค (C18:2) สเตียริก (C18:0) ปาล์มมิติก (C16:0) พามิโตโอเลอิค (C16:1) ลิโนเลนิค (C18:3) และไมริสติก (C14:0) ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปเป็นส่วนผสม และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปทั้งน้ำมันและไขมันแยกส่วน ทดแทนมันหมูแข็ง โดยปรับอัตราส่วนของส่วนผสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสุดท้ายเท่ากับ 25% ไม่พบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร ยกเว้น ผลิตภัณฑ์ในสูตรควบคุม (ML4) ซึ่งใช้มันหมูแข็งในการผลิตมีความชื้นที่สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) การทดแทนไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปด้วยไขมันแยกส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการทำสุก และความคงตัวของอิมัลชัน จากการประเมินคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ ML3 ซึ่งใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่อุณหภูมิ 35°C เป็นส่วนผสมมีคุณภาพเนื้อสัมผัสของค่า hardness, gumminess และchewiness สูงกว่า ผลิตภัณฑ์อื่นอีก 4 สูตร ($p \leq 0.05$) และมีความสอดคล้องกับผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส (7 – point Hedonic scale; n=20) ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (ML1) และ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก) (ML2) มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือด

ยุโรป ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (ML3) ($p \leq 0.05$) โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วน มีความสม่ำเสมอมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ยังไม่ผ่านการแยกส่วน

การใช้ไขมันแยกส่วนทดแทนมันหมูแข็ง ยังมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาโดยห่อพลาสติกและเก็บที่ อุณหภูมิ $2 \pm 1^{\circ}C$ ระยะเวลา 0 - 28 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก) มีค่า TBARS ที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนเพียงอย่างเดียว ($p \leq 0.05$) แต่การใช้ไขมันแยกส่วนทดแทนมันหมูแข็ง ไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $2 \pm 1^{\circ}C$

Thesis Title	Fractionation of Tallow and Characteristics of Meat Loaf Containing Fractionates
Student	Miss Patchara Kosiyanant
Student ID.	49068513
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wanna Tungjaroenchai

ABSTRACT

Multiple fractionations of tallow from Charolais breed and American Brahman breed at crystallization temperatures of 35 ± 1°C and 30 ± 1°C with a controlled agitation rate of 10 rpm were conducted. Physical and chemical properties of tallow fractionates were evaluated. Both temperature and time of tallow crystallization influenced physical and chemical properties of fractionates. Increases in concentrations of unsaturated fatty acids compositions or decreases in concentrations of saturated fatty acids by an average of 6.05% ($p \leq 0.05$) were resulted. Major fatty acid compositions of tallow and fractionates were oleic acid (C18:1), linoleic acid (C18:2), stearic acid (C18:0), palmitic acid (C16:0), palmitoleic acid (C16:1), linolenic acid (C18:3) and myristic acid (C14:0)

Meat Loaf products containing different type of fat were developed. No difference in chemical compositions among the meat loaf containing pork back fat (ML4), or the control containing fat of Charolais (ML5), or liquid or solid fractionates at the temperature of 35°C with rice bran oil products (ML2, ML3), and liquid fractionate at the temperature of 35°C (ML1). Total fat content of five formulations of meat loaf was standardized to 25% by weight. ML4 had higher moisture content than the others ($p \leq 0.05$). In addition, ML1 contained lower concentrations of total saturated fatty acids than that of ML5 ($p \leq 0.05$). Back fat replacement did not show impact on cooking loss or emulsion stability ($p \leq 0.05$). Texture profile analysis (TPA) of meat loaf showed that ML1, ML2 and ML3 had higher hardness, gumminess and chewiness values than those of ML4 and ML5 ($p \leq 0.05$). The instrumental quality of product texture corresponded to that of the sensory analysis. Panelists ($n = 20$) preferred meat loaf containing oil fractionates (ML1 and ML2) to those of ML4 or ML5 ($p \leq 0.05$). SEM micrographs illustrated

uniform dispersion of fat globules in meat emulsions containing oil fractionates. Connective tissues distributed in microstructures of meat emulsion supported the lower TPA values of the ML4 and ML5 than those of the product containing oil fractionate ($p \leq 0.05$). Results obtained from the microstructural and textural studies could make a better understanding of sensory quality of meat loaf when traditional fat ingredient was modified.

Total aerobic and psychrotrophic counts of meat loaf were investigated during cold storage at 2 ± 1°C 0 - 28 days. The relatively high microbial counts of the products during the zero day of storage reflected post-contamination during handling, packaging, storage, and sample collection for analysis.

Lipid oxidation of the products were determined by investigating TBARS values during cold storage. ML2 and ML3 had significantly ($P < 0:05$) lower TBARS values than the others. The lower TBARS values of ML2 and ML3 might be due to natural antioxidative activity of natural antioxidant (vitamin E and oryzanol) in rice bran oil.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการดูแล เอาใจใส่ คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาของ รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.วิชัย บุญแสง ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์เงินทุนในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร. นพ.สิริฤกษ์ ทรงศิวิไล ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-MS) สำหรับการวิเคราะห์หากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ และคุณอรอุมา เกตุชาติ เจ้าหน้าที่เทคนิค ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่คอยดูแล ให้คำแนะนำ และให้ความรู้ตลอดระยะเวลาวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณรุจิพร ประทีปเสน นักวิทยาศาสตร์ (ชำนาญการ) 8 ประจำศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง Scanning Electron Micrograph (SEM) สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ Meat loaf

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล หัวหน้าห้องปฏิบัติการแปรรูปเนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการในการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขอขอบคุณ คณาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการเกษตรและคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟจากไขมันวัวแยกส่วน

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของคณะบุคคลและหน่วยงานที่ได้กล่าวมานี้และหวังเป็นอย่างยิ่ง ที่จะได้รับความร่วมมือด้านการวิจัยที่จักสามารถพัฒนาขีดความสามารถด้านอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทยต่อไป

พัชรา โกสิยานันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
รายการคำย่อ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎี และรายงานวิจัย	3
2.1.1 วัว	3
2.1.2 ไขมัน	4
2.1.3 การแยกส่วน	6
2.1.4 ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	13
3.1 วัตถุดิบ	13
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	13
3.2.1 เครื่องมือการแยกส่วน	13
3.2.2 อุปกรณ์ผลิตผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ	14
3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน ไขมันวัวแยกส่วนและคุณภาพของผลิตภัณฑ์	14
3.3 วิธีการทดลอง	14
3.3.1 การแยกส่วนไขมันวัวแบบหลายขั้นตอน	14
3.3.2 การผลิตผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ โดยใช้ไขมันแยกส่วนเป็นส่วนผสม	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 22

4.1 คุณลักษณะของน้ำมันวัวเริ่มต้น 22

4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกน้ำมันวัว 23

4.2.1 เวลาเหมาะสมในการแยกส่วน ขั้นที่ 1 ที่ อุณหภูมิ 35 ± 1°C ด้วยอัตราการกวนคงที่ 10 rpm 23

4.2.2 เวลาเหมาะสมในการแยกส่วน ขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C ด้วย อัตราการกวนคงที่ 10 rpm 27

4.3 การแยกส่วนไขมันวัวแบบหลายขั้น 30

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของไขมันวัวแยกส่วน 30

4.4.1 ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลวของน้ำมันและไขมันแยกส่วน 30

4.4.2 ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลวของน้ำมันวัวเริ่มต้นและไขมันวัวแยกส่วน 33

4.4.3 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันวัวแยกส่วน 35

4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ ที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน 37

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ 38

4.5.2 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ 41

4.5.3 คุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ 42

4.5.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ 43

4.5.5 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ 44

4.5.6 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2±1°C นาน 28 วัน 47

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 52

บรรณานุกรม 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก..... 62

ภาคผนวก ข..... 63

ภาคผนวก ค..... 64

ภาคผนวก ง..... 65

ภาคผนวก จ..... 70

ภาคผนวก ฉ..... 85

ประวัติผู้เขียน..... 91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันวัวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูและน้ำมันรำข้าว.....	5
2.2	คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันวัวเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูและน้ำมันรำข้าว.....	6
3.1	ส่วนผสมของ มีทโลฟ.....	19
4.1	คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) และพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (BR)	22
4.2	ปริมาณไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบสองขั้น.....	30
4.3	คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนน้ำมัน CH ด้วยอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1 °C	31
4.4	คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนน้ำมัน CH ด้วยอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1 °C	32
4.5	คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบสองขั้น.....	34
4.6	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันวัวเริ่มต้น น้ำมันและไขมันแยกส่วนแบบสองขั้น ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C	36
4.7	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร	38
4.8	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันในผลิตภัณฑ์จำนวน 5 สูตร.....	39
4.9	ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จำนวน 5 สูตร.....	41
4.10	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร.....	42
4.11	คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร	43
4.12	การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (Aerobic Plate count, Psychrotrophic count) ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1°C เป็นระยะเวลา 0-28 วัน	48
4.13	ปัจจัยของเวลาต่อค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์	49
4.14	ปัจจัยของสูตรต่อค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์	50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.1	วัวเนื้อพันธุ์อเมริกันบราห์มัน.....	3
2.2	วัวเนื้อพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป.....	4
2.3	ผังแสดงการแยกส่วนไขมันโดยใช้อุณหภูมิต่ำ	9
3.1	ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C.....	15
3.2	เนื้อวัวที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ.....	17
4.1	อุณหภูมิระหว่างการทำเย็นน้ำมัน CH เพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-200 นาที.....	24
4.2	ปริมาณไขมันที่ได้จากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C นาน 0-9 ชั่วโมง อัตราการกวน 10 rpm.....	25
4.3	ลักษณะของน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิการตก ผลึกที่ 35 ± 1°C ที่ ระยะเวลา 0-9 ชั่วโมง ...	26
4.4	อุณหภูมิระหว่างการทำเย็นน้ำมัน CH เพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-240 นาที.....	27
4.5	ปริมาณไขมันแยกส่วนที่ได้จากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C นาน 0-12 ชั่วโมง อัตราการกวน 10 rpm.....	28
4.6	ลักษณะของน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิการตกผลึกที่ 30 ± 1°C ที่ระยะเวลา 0-12 ชั่วโมง.....	29
4.7	Scanning Electron Micrographs (15 kV) ของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ	45
ก 1	ชุดเครื่องแยกส่วนไขมัน.....	62
ก 2	ถังสแตนเลส 2 ชั้น สำหรับตกผลึกความจุ 6.5 ลิตร และใบกวนสแตนเลสรูปตัวยู	62
ข 1	Scanning Electron Microscope.....	63
ข 2	SEM Specimen n.....	63
ค 1	ผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ หลังการอบ.....	64
ง 1	กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน (C10:0, C12:0, C14:0 และ C14:1)	66
ง 2	กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน (C15:0, C16:0, C16:1 และ C17:0).....	67
ง 3	กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน (C18:0, C18:1t, C18:1c และ C18:2t).....	68
ง 4	กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน (C18:2c, C18:3 และ C20:1).....	69
จ 1	โครมาโตแกรมองค์ประกอบกรดไขมันของกรดไขมันมาตรฐาน.....	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
จ 2	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CHO).....	72
จ 3	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (CHL35) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป.....	73
จ 4	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (CHS35) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป.....	74
จ 5	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน (BRO).....	75
จ 6	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (BRL35) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน.....	76
จ 7	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (BRS35) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน.....	77
จ 8	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C (BRL30) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน.....	78
จ 9	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C (BRS30) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน.....	79
จ 10	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ มีทโลฟ ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป.....	80
จ 11	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ มีทโลฟ ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1 °C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก).....	81
จ 12	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ มีทโลฟ ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1 °C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก).....	82
จ 13	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ มีทโลฟ ที่ใช้มันหมูแข็ง....	83
จ 14	โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ มีทโลฟ ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วน.....	84
ฉ 1	แบบฟอร์มการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ.....	90

รายการคำย่อ

ไขมัน

หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ระหว่างกลีเซอรอล (glycerol) กับ กรดไขมัน (fatty acid) และใช้เรียกไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง

ไขมันแยกส่วน

หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ที่ตกผลึกได้จากการแยกส่วน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก

ไขมันวัวแยกส่วน

หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากการแยกส่วน ทั้งส่วนที่มีลักษณะเป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลว ณ อุณหภูมิการตกผลึก

น้ำมัน

หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน และใช้เรียกไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิห้อง

น้ำมันแยกส่วน

หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก

CH

หมายถึง ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป

CHO

หมายถึง น้ำมันที่ได้จากการเจียวไขมัน CH

CHL35

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน CHO ที่อุณหภูมิ $35 \pm 1^{\circ}C$

CHS35

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน CHO ที่อุณหภูมิ $35 \pm 1^{\circ}C$

CHL30

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน CHL35 ที่อุณหภูมิ $30 \pm 1^{\circ}C$

CHS30

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน CHL35 ที่อุณหภูมิ $30 \pm 1^{\circ}C$

BR

หมายถึง ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน

BRO

หมายถึง น้ำมันที่ได้จากการเจียวไขมัน BR

BRL35

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน BRO ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

BRS35

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน BRO ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

BRL30

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน BRL35 ที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C

BRS30

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วน BRL35 ที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C

Tallow

หมายถึง น้ำมันวัวเริ่มต้น, น้ำมันวัวก่อนการแยกส่วน

LF

หมายถึง น้ำมันแยกส่วน ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิของการแยกส่วน

LF35

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C จากไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์

LF30

หมายถึง น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C จากไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์

SF

หมายถึง ไขมันแยกส่วน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิของการแยกส่วน

SF35

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C จากไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์

SF30

หมายถึง ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C จากไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์

Σ_{USFA}

หมายถึง ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวทั้งหมด

Σ_{MUFA}

หมายถึง ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวทั้งหมด

Σ_{PUFA}

หมายถึง ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนทั้งหมด

Σ_{SFA}

หมายถึง ปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด

ω6

หมายถึง กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อันแรกนับจากปลายหมู่เมทิล (CH_3) อยู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และ 7

ω3

หมายถึง หมายถึง กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อันแรกนับจากปลายหมู่เมทิล (CH_3) อยู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 4

ML1

หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2

หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3

หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4

หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ สูตรที่ใช้มันแข็งหมู

ML5

หมายถึง ผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ สูตรที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

การขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เศรษฐกิจของประเทศไทยส่งผลให้อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการ ตลอดจนทำให้เกิดของเหลือใช้จากกระบวนการตัดแต่งซากสัตว์ เช่น กระดูก หนัง เลือด เครื่องใน และไขมันสัตว์ เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์นำผลพลอยได้ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ เช่น นำมันแข็งของเนื้อสัตว์มาเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อ นำไขมันสัตว์มาใช้เป็นน้ำมันทอดเป็นต้น แต่ไขมันสัตว์เป็นส่วนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยที่สุดเนื่องจากทำให้มีไขมันเหลือตกค้างในกระบวนการผลิตในปริมาณมาก ปัจจุบันพบว่ามีความพยายามที่จะนำไขมันสัตว์มาเพิ่มมูลค่า และใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

ไขมันสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น C_{16-18} ประมาณ 30-40 % มีปริมาณกรดโอเลอิค (oleic) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงถึง 50 % ขณะที่มีปริมาณกรดลิโนเลอิค (linoleic) เพียง 2-5 % ไขมันสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าของน้ำมันพืช เนื่องจากไขมันสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณที่มากกว่าของน้ำมันพืช ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากไขมันสัตว์เพื่อผลิตสบู่ราคาถูก และทอดอาหาร กรดไขมันแตกต่างกันทั้งชนิด และปริมาณจึงมีผลให้ไขมันมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกัน คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันสัตว์ ทำให้เกิดขีดจำกัดของการนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงกับอาหาร การปรับปรุงคุณสมบัติของไขมันให้ได้คุณลักษณะตามที่ต้องการเพื่อสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันสัตว์มากขึ้น จึงมีความสำคัญและจำเป็นในการปรับปรุง (improvement) หรือดัดแปร (modification) คุณภาพของไขมันด้วยการแยกส่วนที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีทางเคมี เพราะไม่ก่อให้เกิดสารเคมีตกค้างในน้ำมัน การแยกส่วนไขมันด้วยวิธีทางกายภาพที่สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันชนิดจำเป็น คุณค่าทางโภชนาการของไขมันแยกส่วนอีกด้วย ทั้งนี้การแยกส่วนทำให้ได้โอเลอิน ในส่วนของไขมันเหลว (น้ำมัน) และสเตียริน ในส่วนของไขมันแข็ง (Hamm, 1995; Rajah and Moran, 1994) O'She *et al.* (2000) สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลิโนเลอิคในไขมันวัว และดัดแปรสมบัติทางกายภาพของไขมันโดยเปลี่ยนน้ำมันให้อยู่ในสภาพกึ่งแข็งกึ่งเหลว (semi-solid) หรือของแข็ง (solid) หรือเพื่อ กำจัด ไข (wax) ออกจากไขมันด้วย

มีทโลฟ (Meat Loaf) มีไขมันประกอบอยู่ประมาณ 20-30 % โดยน้ำหนักของส่วนผสม ปัจจุบันผู้บริโภคมีความวิตกในเรื่องของการบริโภคอาหารที่มีไขมันชนิดอิ่มตัว ความสามารถที่จะทดแทนไขมันสัตว์ด้วยไขมันที่มีคุณภาพทางโภชนาการที่ดีกว่าจึงเป็นแนวทางใหม่ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทเพื่อสุขภาพ และตลอดจนสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ไขมันสัตว์อีกด้วย

ปัจจุบันยังไม่พบรายงานวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์จากไขมันวัวแยกส่วนในประเทศไทย แนวคิดที่จะนำน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวมาใช้ทดแทนมันแข็งในการผลิตมีทโลฟเพื่อสามารถปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการ จึงเป็นแนวทางใหม่เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารนวัตกรรมเพื่อสุขภาพตลอดจนเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารฮาลาลในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาเทคนิคการแยกส่วนไขมันวัวด้วยอุณหภูมิต่ำ $35 \pm 1^{\circ}C$ และ $30 \pm 1^{\circ}C$

1.2.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันวัวแยกส่วน

1.2.3 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ส่วนผสมของไขมันหรือน้ำมันที่แตกต่างกัน

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. 1 ทฤษฎี และรายงานวิจัย

2.1.1 วัว (Cow)

วัว หรือโค อยู่ในไฟลัม (Phylum) สัตว์มีแกนสันหลังชั้นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เกษตรกรเลี้ยงวัวเพื่อใช้เนื้อ และนมเป็นอาหาร และสามารถนำมาใช้แรงงาน สามารถแบ่งประเภทของวัวตามการใช้ประโยชน์ ได้ 3 ประเภท ชนิด วัวเนื้อ วัวนม และวัวเนื้อ-นม

วัวพันธุ์อเมริกันบราห์มัน (American Brahman) (รูปที่ 2.1) เป็นวัวอินเดีย (*Bos indicus*) ที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ขึ้นในสหรัฐอเมริกา แหล่งกำเนิดของวัวพันธุ์บราห์มันที่สำคัญอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา และ ออสเตรเลีย วัวพันธุ์บราห์มันมีลำตัวขนาดกลาง เพศผู้มีน้ำหนักเฉลี่ย 850 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักเฉลี่ย 550 กิโลกรัม วัวมีรูปร่างล่ำสัน กล้ามเนื้อมาก ลำตัวลึกยาว หลังยาว และแอ่นลงเล็กน้อย เหนียงใต้คางย้อย หน้าผากกว้างและยาว เขาจะชันขึ้นบน และมีลักษณะงุ้ม ใบหูยาว ปลายแหลม พับชี้ลงล่าง สีลำตัวมีหลายสี สีขาว แดง และเทา ลักษณะเด่นของโคพันธุ์นี้ คือทนต่อสภาพอากาศร้อน เห็บ โรค และเจริญเติบโตได้ดี นิยมใช้เป็นพันธุ์พื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ เมื่อนำไปผสมกับวัวยุโรป และเป็นการรวบรวมลักษณะดีเยี่ยมของแต่ละฝ่ายเข้าด้วยกัน (กลุ่มวิจัยและพัฒนาพันธุ์โคเนื้อ กองบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์, 2552)

รูปที่ 2.1 วัวเนื้อพันธุ์อเมริกันบราห์มัน

ที่มา : www.ansi.okstate.edu/breeds/cattle/brahman/

วัวเลือดยุโรปพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ (Charolais) (รูปที่ 2.2) เป็นวัวสายพันธุ์ยุโรป (*Bos taurus*) มีถิ่นกำเนิดในเมืองชาร์โรลส์ (Charolles) ประเทศฝรั่งเศส เคยใช้เป็นวัวงาน ต่อมามีการคัดเลือกพันธุ์เพื่อใช้เป็นทั้งวัวงานและวัวเนื้อ ลักษณะทั่วไปมีลำตัวสีขาวถึงสีครีม อาจมีผิวหนังสีแดงโดยเฉพาะบริเวณรอบจมูก ตา และใต้ท้อง จัดว่าเป็นวัวเนื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกพันธุ์หนึ่ง เพศผู้เมื่อโตเต็มที่มีน้ำหนักตัวระหว่าง 1,000-1,200 กิโลกรัม และเพศเมียระหว่าง 800-850 กิโลกรัม เจริญเติบโตเร็ว มีรูปร่างยาวเพรียวกว่าวัวพันธุ์ยุโรปอื่นๆ วัวพันธุ์นี้มีขาสั้น ลำตัวลึก และมีเปอร์เซ็นต์ซากคุณภาพดีและสูงกว่าวัวพันธุ์อื่นๆ เนื้อวัวมีคุณภาพดี ประเทศไทยได้นำวัวพันธุ์นี้มาผสมกับวัวลูกพันธุ์บราห์มัน เพื่อให้ลูกวัวที่ได้เติบโตเร็ว รวมทั้งทนร้อนได้ดีพอสมควร (สุรัสสาและคณะ, 2552)

รูปที่ 2.2 วัวเนื้อพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป

ที่มา : http://gotoknow.org/blog/tpthaicowboy/29452

2.1.2 ไขมัน (Fats)

ไขมัน คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ระหว่างกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมล กับ กรดไขมัน (fatty acid) 3 โมล ไขมันพืชที่ได้รับความนิยมใช้เป็นอาหาร ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่ว และน้ำมันรำ ส่วนไขมันสัตว์ที่ใช้ในอาหาร ได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันวัว ไขมันปลา และ เนย ไขมันในอาหารจึงเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น และวิตามินที่ละลายในไขมัน รวมทั้งเป็นแหล่งพลังงานให้ร่างกาย

น้ำมันวัว (tallow) ได้จากการเจียวเนื้อเยื่อไขมัน (fat tissues) หลายประเภทได้แก่ มันแข็ง (back fat) มันเปลวหรือไขมันรอบไต (leaf fat) มันบริเวณไหล่ (shoulder fat) มันบริเวณคอ (neck fat) เศษไขมันตัดแต่งจากส่วนต่างๆ รวมถึงหู หาง และอวัยวะภายใน

ไม่ควรพบเอนไซม์ไลเปส (lipase) ในไขมันบริโภคที่มีคุณภาพ เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้จะไฮโดรไลซ์ไขมันให้แตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล ไขมันคุณภาพดีต้องมีกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 0.5 ในรูปของกรดโอเลอิค ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดกรดไขมันอิสระได้โดยสกัดน้ำมัน/ไขมันออกจากเนื้อเยื่อไขมันให้เร็วที่สุด และใช้อุณหภูมิของการสกัดสูงกว่า 60 °C เพื่อ

สามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปส แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไป หรือใช้เวลาในการสกัดนานเกินไปน้ำมันที่สกัดมีสีดำคล้ำ มีกลิ่นไหม้ และทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมากขึ้น

น้ำมันและไขมันมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันเนื่องจากชนิดและ/หรือปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (ตารางที่ 2.1) จุดหลอมเหลวของไขมันสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันมากขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันลดลงเมื่อกรดไขมันมีจำนวนพันธะคู่น้อยลง ไขมันพืช เช่นน้ำมันรำข้าวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก ($C_{18:2}$) ในปริมาณที่มากกว่าในไขมันสัตว์ เช่น ไขมันหมู และไขมันวัวอย่างเห็นได้ชัด แต่ไขมันสัตว์มีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดปาล์มมิติก ($C_{16:0}$) และกรดสเตียริก ($C_{18:0}$) สูงกว่าในไขมันพืชถึง 2 และ 10 เท่า ตามลำดับ อีกทั้งในไขมันสัตว์ยังมีปริมาณของกรดไขมันไมริสติก ($C_{14:0}$) ซึ่งเป็นกรดไขมันสายกลาง (C10-C14) ที่ช่วยส่งเสริมให้ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดเพิ่มสูงขึ้น (Temme *et al.*, 1997) มากกว่าในไขมันพืช ค่าไอโอดีนเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความไม่อิ่มตัวของไขมัน ไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง มักมีค่าไอโอดีนสูงด้วย และมีจุดหลอมเหลวของไขมันต่ำ ไขมันพืชเช่น น้ำมันรำข้าว มีค่าไอโอดีนประมาณ 99-108 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม ในขณะที่ไขมันสัตว์ซึ่งมีความอิ่มตัวสูงกว่า เช่น น้ำมันหมู มีค่าไอโอดีนประมาณ 53-77 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันวัวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูและน้ำมันรำข้าว

ปริมาณกรดไขมัน (%)	น้ำมันวัว	น้ำมันหมู	น้ำมันรำข้าว
กรดไมริสติก ($C_{14:0}$)	3	1	0.4-1
กรดปาล์มิติก ($C_{16:0}$)	28	25	12-16
กรดปาล์มิโตเลอิก ($C_{16:1}$)	3	2	0.2-0.4
กรดสเตียริก ($C_{18:0}$)	23	13	1-3
กรดโอเลอิก ($C_{18:1}$)	40	47	40-50
กรดลิโนเลอิก ($C_{18:2}$)	2	12	29-42
กรดลิโนเลนิก ($C_{18:3}$)	-	-	< 1
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว C_{20}-C_{22}	-	-	1

ที่มา: นิธิยา (2548)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันวัวเปรียบเทียบกับน้ำมันหมูและน้ำมันรำข้าว

	น้ำมันวัว	น้ำมันหมู	น้ำมันรำข้าว
จุดหลอมเหลว (°C)	40-48	33-45	-
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25°C)	0.860-0.870	0.858-0.864	0.910-0.921
ค่าการหักเหแสง (ที่ 25°C)	1.454-1.458	1.459-1.461	1.470-1.473
ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification) (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	190-199	190-202	181-189
ค่าไอโอดีน (Iodine value) โดย Wijs solution	40-48	53-77	99-108
สารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง (Unsaponifiable) สูงสุด (%)	0.2-0.3	0.2-0.4	3-5

ที่มา: นิธิยา (2548)

2.1.3 การแยกส่วน (Fractionation)

การแยกส่วนเป็นกรรมวิธีการดัดแปรไขมัน เพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ (Rajah and Moran, 1994) สามารถแบ่งวิธีการแยกส่วนไขมันได้ 3 วิธี ได้แก่

1) การตกผลึกไขมันโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (dry fractionation) เป็นวิธีแยกส่วนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภค เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยน้ำมันต่ำที่สุด กรรมวิธีการผลิตไม่ซับซ้อน และเป็นวิธีที่ใช้กันมานาน (สุมาลัย และคณะ, 2532; Bussey *et al.*, 1981; Hamm , 1995; Kaylegian and Lindsay, 1994) การตกผลึกด้วยอุณหภูมิต่ำอาศัยเทคนิคทำให้ไขมันหลอมเหลว และให้ความเย็นเพื่อให้ไขมันตกผลึก ก่อนแยกส่วนไขมันแข็งออกจากส่วนของน้ำมันเหลว ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายชนิด เช่น กรดไขมันชนิดอิ่มตัว และชนิดไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว และสายโซ่สั้น ทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ แตกต่างกัน ไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงตกผลึกเป็นของแข็งก่อน เรียกส่วนของผลึกไขมันนี้ว่า สเตียริน (stearins) และไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ตกผลึกภายหลัง และส่วนของของเหลวที่ได้หลังจากการแยกผลึก เรียกว่า โอเลอิน (oleins) การแยกส่วนไขมันด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถทำได้หลายครั้ง มีผลให้น้ำมันและไขมันแยกส่วนมีคุณภาพแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น ไขมันและน้ำมันแยกส่วนที่ได้แต่ละส่วนจะมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารย่อมต้องการไขมันที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่จำเพาะต่อผลิตภัณฑ์ วัตถุประสงค์ของการแยกส่วนไขมันเพื่อแยกองค์ประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูงออก เพื่อดัดแปรไขมัน และน้ำมันให้มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากขึ้น ได้ไขมันที่มีการหลอมเหลวในช่วงที่แคบ มีความคง

ตัวต่ออุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์อื่นๆ มากขึ้น การแยกส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้วสองขั้นตอน จะได้ซุปเปอร์โอเลอิน (superolein) ที่เก็บได้นานกว่า 200 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (Deffense, 1985; Hamm, 1995) สุมาลัย และคณะ (2532) ศึกษาสภาวะการตกผลึก และกรองที่เหมาะสมเพื่อแยกส่วนน้ำมันปาล์ม Dimick *et al.* (1996) แยกส่วนไขมันนมปราศจากความชื้น (anhydrous milk fat) แบบสองขั้นตอน ได้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (high melting) และเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ และช็อกโกแลต ไขมันที่มีจุดหลอมเหลว ปานกลาง (middle melting) สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยว เคลือบช็อกโกแลต และเติมในน้ำมันเพื่อให้เกิดกลิ่นเนย (Butter flavor) และไขมันจุดหลอมเหลวต่ำที่นำไปใช้ทดแทนไขมันนม คณะวิจัย Chiu *et al.* (2002) แยกส่วนไขมันไก่ที่อุณหภูมิ 10°C เพื่อนำผลึกไขมันไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ เช่น มาการีน(สำหรับพัฟ puff-pastry) ซุปแห้งชนิดก้อน และนำส่วนของน้ำมันมาใช้สำหรับทอด ศลินา (2547) ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมันไก่ที่ได้จากแยกส่วนแบบหลายขั้น

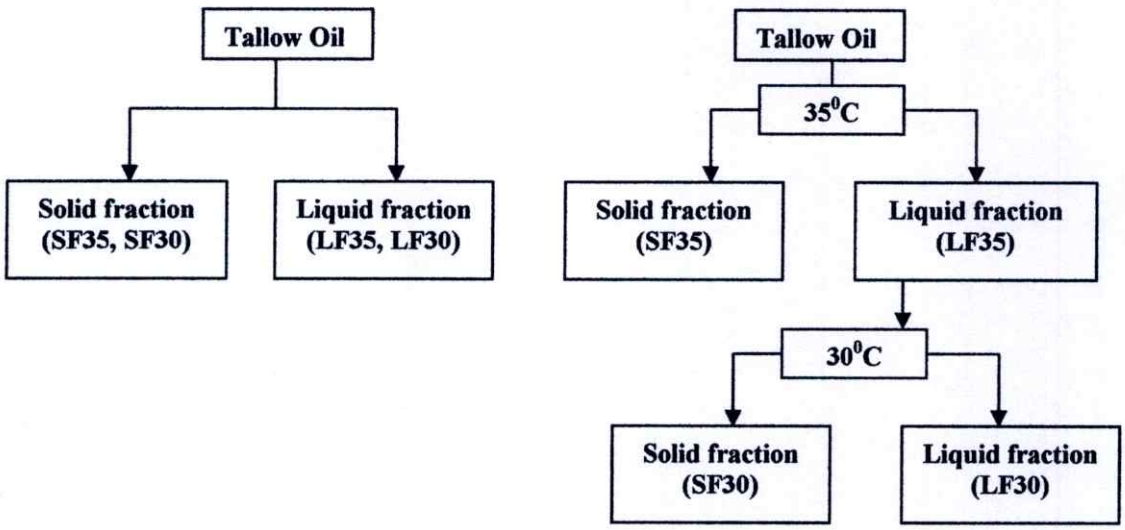
2) การตกผลึกไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent fractionation) เป็นวิธีแยกส่วนโดยใช้ตัวทำละลาย เช่น อะซิโตน (acetone) เฮกเซน (hexane) ไอโซโพรพานอล (isopropanol) หรือ 2- โพรพานอล (2-propanol) ละลายน้ำมันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว ทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ จนไขมันตกผลึก กรอง และล้างผลึกด้วยตัวทำละลายเย็น และกลั่นแยกตัวทำละลายออก (สุมาลัย และคณะ, 2532) การใช้ตัวทำละลายในการตกผลึกจะได้ไขมันที่เจือจางลงและสามารถแยกส่วนผลึกไขมันที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าวิธีที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย สามารถแก้ปัญหาการกรองที่เกิดจากความหนืดสูงของไขมันที่อุณหภูมิต่ำ Yang *et al* .(1992) แยกส่วนไขมันจากเครื่องในปลาหมึกด้วยอะซิโตน เฮกเซน และตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และเฮกเซน เพื่อเพิ่มปริมาณ EPA (Eicosapentaenoic acid) และ DHA (Docosahexaenoic acid) ในไขมันเพื่อนำมาผสมในมาการีน Pal *et al.* (2000) แยกส่วนไขมันเนย ด้วยไอโซโพรพานอล ที่อุณหภูมิ ระหว่าง 15-30°C เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติการหลอมเหลวของไขมันเนยแต่ละส่วน Jeyarani and Reddy (2001) แยกส่วนไขมันจากเมล็ด Paradise Tree (*Simarouba glauca*) ซึ่งเป็นพืชน้ำมันของอินเดีย ด้วยอะซิโตน เพื่อผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้ และแยกส่วนไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango kernel fat) ด้วยการแยกส่วนด้วยตัวทำละลายสองครั้ง Hashimoto *et al.* (2001) พัฒนาวิธีการแยกส่วนไขมันปาล์มแบบหลายขั้นด้วยอุณหภูมิต่ำในขั้นแรก และแยกส่วนขั้นที่สองด้วยอะซิโตน เพื่อให้ได้ไขมันปาล์มที่หลอมละลายเร็ว และสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต Tasioula-Margari *et al.* (1996) ตกผลึกน้ำมันเมล็ดทานตะวันได้ น้ำมันแยกส่วนที่มีโอเลอินสูง Foglia *et al.* (2002) จดสิทธิบัตรกระบวนการแยกส่วนไขมันไก่ด้วยตัวทำละลาย เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และเชิงซ้อน

3) การตกผลึกไขมันโดยใช้ดีเทอร์เจนท์ (detergent fractionation) เป็นวิธีการแยกส่วนไขมันที่มีหลักการคล้ายกับการใช้อุณหภูมิต่ำ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (surface active agent) เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS หรือเรียกว่า Detergent) แมกนีเซียมซัลเฟต ก่อนทำการแยกผลึกไขมัน (สุมาลัย และคณะ, 2532; Kreulen, 1976) อาจเติมดีเทอร์เจนท์ที่เป็นของแข็ง หรือ สารละลาย และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียมซัลเฟต เพื่อเพิ่มการดูดซับดีเทอร์เจนท์ที่ผลึกไขมันในน้ำมัน ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว และความเข้มข้นเหมาะสมที่จะไปจับที่ผิวของผลึก ความเข้มข้นที่เหมาะสมนี้ จะทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถไปจับกับผลึกในแนวที่เหมาะสมได้ และลดการสูญเสียโอเลอินขณะกรอง (Glassner and Grulke, 1986; Hamm, 1995) ไขมันวัวที่ผ่านการแยกส่วนด้วย SDS สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดมันฝรั่ง หรือนำไปใช้ในการผลิตเนยขาว (shortening) ใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ มีงานวิจัยเพื่อศึกษาปริมาณ SDS ร่วมกับสารละลายโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสมและช่วยเพิ่ม ionic strength ของสารลดแรงตึงผิว (Bussey *et al.*, 1981; Defouw *et al.*, 1981; Glassner and Grulke, 1986)

ประเภทของการแยกส่วนโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

1. การแยกส่วนขั้นตอนเดียว (Single-step fractionation) เป็นการแยกส่วนน้ำมันเพียงหนึ่งขั้นตอนได้ไขมัน และน้ำมัน รวม 2 ส่วน (รูปที่ 2.3 - a) สามารถนำส่วนของไขมันแข็งหรือที่นิยมเรียกว่า สเตียริน ไปใช้ผลิตน้ำมันสำหรับทอด และเนยขาว นำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่นพาย บิสกิต และขนมปัง เป็นต้น สามารถนำส่วนส่วนของน้ำมัน (liquid fat) หรือ โอเลอิน นำมาใช้ผลิต มาการีน ชอร์เทนนิ่ง ใช้แทนเนยโกโก้ (cocoa butter) และผลิตฟิล์มที่รับประทานได้ เป็นต้น (Bussey *et al.*, 1981; Chiu *et al.*, 2002; Jeyarani and Reddy, 2001; Yang *et al.*, 1992)

2. การแยกส่วนหลายขั้นตอน (Multiple-step fractionation) เป็นการแยกส่วนน้ำมันที่ใช้อุณหภูมิสูงในขั้นตอนแรก เมื่อได้ไขมันและน้ำมันแยกส่วนแล้วจึงนำน้ำมันหรือไขมันแยกส่วนมาทำการแยกส่วนซ้ำ (refractionation) โดยใช้ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าครั้งแรก จะทำให้ได้น้ำมัน และไขมันหลายส่วนภายในหนึ่งกระบวนการ (รูปที่ 2.3 - b) ไขมันแข็งที่แยกได้จากการแยกแบบหลายขั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพ แตกต่างกันมาก วิธีนี้ยังทำให้ส่วนของไขมันแข็งมีน้ำมันปนอยู่น้อยกว่าการใช้วิธีการแยกแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิศึกษาเดียวกัน นอกจากนี้ผลึกของไขมันที่แยกได้มีขนาดเล็กลงเมื่อผ่านกระบวนการแยกซ้ำ (Kaylegian and Lindsay, 1994) Rolland and Riel (1996) แยกส่วนไขมันนมแบบหลายขั้น โดยนำส่วนไขมันแข็งมาแยกส่วนอีกครั้ง การที่นำส่วนไขมันแข็งมาแยกส่วนซ้ำด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิเดิม ทำให้ไขมันแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น และได้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างแน่นอนมากขึ้น



รูปที่ 2.3 ผังแสดงการแยกส่วนไขมันโดยใช้อุณหภูมิต่ำ a. การแยกส่วนแบบขั้นเดียว และ b.การแยกส่วนแบบหลายขั้น

ที่มา: Fatouh *et al.*, (2003)

หลักการสำคัญ 2 ขั้นตอน ในกระบวนการแยกส่วนไขมันโดยใช้อุณหภูมิต่ำ คือ การตกผลึก (crystallization) และ การแยกผลึก (separation)

1. การตกผลึก เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำมันจากของเหลวให้เป็นผลึก กระบวนการนี้ประกอบด้วย การก่อผลึก (nucleation) และการเจริญของผลึก (growth) ไขมันแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวแตกต่างกันขึ้นกับชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่บ่งบอกถึงช่วงของอุณหภูมิหลอมเหลว ปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกไขมัน ได้แก่ องค์ประกอบของน้ำมัน การตกผลึกร่วม การใช้ผลึกล่อ อัตราการทำเย็น อัตราการกวน ระยะเวลา และอุณหภูมิ (Breeding and Marshall,1995; Breitschuh and Windhab, 1998; Deffense, 1993; Feng and Chin, 1995; Kaylegian and Linsay, 1994; O'Shea *et al.*, 2000)

การก่อผลึก เป็นขั้นตอนของการเกิดนิวเคลียสขนาดเล็กๆ ที่ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมัน และนิวเคลียสพัฒนาเป็นผลึก ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกก่อน ผลึกของไตรกลีเซอไรด์จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (lattice structure) มีพันธะเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลได้เป็นโครงสร้างหลายแบบของผลึก (polymorphism) หากผลึกเชื่อมต่อด้วยแรงวันเดอร์วาลล์ (van der Waals force) โมเลกุลผลึกจัดเรียงตัวแบบหลวมๆ พบลักษณะผลึกประเภทนี้ในเนยขาว และมาการีน ถ้าผลึกเชื่อมต่อกันด้วยแรงอิออนิก (ionic force) การจัดตัวของผลึกไขมันจะจัดเรียงตัวแน่น อัตราการก่อผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง จำนวนและขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นถูกควบคุมด้วย อุณหภูมิ อัตราการทำความเย็น อัตราการกวน และ องค์ประกอบของน้ำมัน

(Fatouh *et al.*, 2003; Ghotra *et al.*, 2002; Grall and Hartel, 1992; Rajah and Moran, 1994) การเจริญของผลึกหรือนิวเคลียสของผลึกเป็นการรวมตัวของไตรกลีเซอไรด์บริเวณผิวผลึก อัตราการเจริญของผลึกขึ้นกับอุณหภูมิตกผลึก อัตราการทำเย็น และระยะเวลา ถ้าใช้อุณหภูมิตกผลึกต่ำ หรือใช้อัตราการทำเย็นสูง การเจริญของผลึกไขมันจะเป็นไปอย่างช้าๆ ได้ผลึกขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเร่งการผลิตนิวเคลียสขนาดเล็กจำนวนมาก ผลึกที่ได้มีการจัดเรียงตัวไม่สมบูรณ์ ถ้าใช้อุณหภูมิในการตกผลึกไม่ต่ำมากนักสามารถช่วยเร่งการเจริญของผลึก (Ghotra *et al.*, 2002; Rajah and Moran, 1994)

2. การแยกผลึก สามารถแยกผลึกไขมันได้หลายวิธี เช่น การกรองแบบสุญญากาศ (vacuum filtration) การกรองด้วยความดัน (pressure filtration) การหมุนเหวี่ยง (centrifugation) หรือการหมุนเหวี่ยงพร้อมกับการกรอง (Breeding and Marshall, 1995) ขนาดและความบริสุทธิ์ของผลึกเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเมื่อต้องการแยกผลึก (Black, 1975) เนื่องจากผลึกไขมันกักเก็บน้ำมันไว้ภายในโครงสร้างผลึก (entrapment) ผลึกที่ได้มีส่วนของน้ำมันปนอยู่ แต่การใช้ตัวทำละลายในการแยกส่วนสามารถลดปัญหานี้ได้ (Hamm, 1995; Kaylegian and Linsay,1994)

การใช้ความดันในการแยกผลึกสามารถใช้วัสดุกรองได้แก่ ผ้ากรอง และ wire gauze filter ไนลอน หรือ โพลีโพรไพลีน ผลึกที่แยกได้ไม่ดูดซับน้ำมันจึงได้ผลึกที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า แต่อาจไม่เหมาะกับการแยกผลึกที่ได้จากอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากความดันอาจทำให้ผลึกหลอมเหลวได้ ประเภท และจำนวนแผ่นกรองมีผลต่อปริมาณของน้ำมันและไขมันที่แยกได้ (สุมาลัย และคณะ, 2532)

การกรองแยกด้วยระบบหมุนเหวี่ยงแบบไม่ต่อเนื่อง (batch process) ได้รับความนิยม โดยใช้หลอดกรองประเภท basket-type centrifuge tube ช่วยในการแยกได้ดีขึ้น (Breeding and Marshall, 1995) หรือใช้ขวดกรองหมุนเหวี่ยง (filter-centrifuge bottle) ช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในผลึก โดยการหมุนเหวี่ยงซ้ำ การแยกด้วยวิธีนี้อาศัยปัจจัยของความเร็วการหมุนเหวี่ยง ความเร็วของการหมุนเหวี่ยงสูงเกินไปทำให้เกิดการปะปนของไขมันแข็ง และไขมันเหลว เนื่องจากผลึกถูกแรงเฉือนขณะหมุนเหวี่ยงทำให้มีขนาดผลึกเล็กลง

2.1.4 ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

มีทโลฟ (ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชัน (emulsion) ประเภทหนึ่งที่ได้จากการนำเนื้อสัตว์ และไขมันสัตว์ที่ผ่านการบด มาปรุงแต่งด้วยเครื่องเทศ และเครื่องปรุงรส อาจทำจากเนื้อสัตว์ชนิดเดียว หรือ หลายชนิดรวมกัน ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู หรือเนื้อสัตว์ปีก มีทโลฟเป็นผลิตภัณฑ์ทำให้สุกพร้อมรับประทานได้ทันที ลักษณะทางเคมี และกายภาพของมีทโลฟ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของส่วนผสม เครื่องปรุง และที่สำคัญที่สุด คือ คุณภาพของเนื้อสัตว์ในการอุ้มน้ำและ

สัดส่วนของโปรตีนในกลุ่มไมโอฟิบริลา และปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของไขมัน ประเภทของเนื้อสัตว์ และปริมาณไขมันที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

ส่วนผสมที่สำคัญของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

1. เนื้อสัตว์ ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ควรประกอบด้วยโปรตีนคุณภาพดีซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี เนื้อสัตว์ที่เหมาะในการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ คือ เนื้อสัตว์ที่ไม่ติดเอ็น มีไขมันน้อย โปรตีนเนื้อสัตว์ แอคติน (actin) และ ไมโอซิน (myosin) ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้น้ำและไขมันรวมตัวกันในส่วนผสมมวลเหนียว โปรตีนเนื้อสัตว์ที่สามารถละลายในน้ำเกลือช่วยการรวมตัวได้ดีขึ้น เนื้อสัตว์แต่ละประเภทปริมาณโปรตีนสองประเภทนี้แตกต่างกัน เนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพต่ำ ได้แก่ เนื้อสัตว์ปนไขมัน เนื้อสัตว์ส่วนแก้ม เอ็น และพังผืด มีปริมาณโปรตีนแอคตินและไมโอซินต่ำ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ที่ไม่มีคุณภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดไมโอฟริบิลลาโปรตีน (myofibrillar protein) ได้โดยใช้ฟอสเฟตเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ (Theno *et al.* ,1978)

2. เกลือ เป็นสารปรุงแต่งให้รสชาติ และทำให้มีทโลฟ มีลักษณะเหนียว เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการสกัดโปรตีนแอคติน และไมโอซินจากกล้ามเนื้อ และให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้เกลือปริมาณ 4.5% และอุณหภูมิไม่เกิน 4°C Pappa *et al.* (2000) พบว่าการเพิ่มปริมาณเกลือจาก 1% เป็น 2% สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ทำให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น นอกจากนี้เกลือยังทำหน้าที่เป็นวัตถุกันเสีย ลดปริมาณจุลินทรีย์ ยืดอายุการเก็บรักษา และลดความชื้น หรือลด water activity ในผลิตภัณฑ์เนื้อ

3. ไขมัน เป็นส่วนประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากไขมันมีผลต่อความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และให้กลิ่นรสเฉพาะแก่ผลิตภัณฑ์ (Abiola and Adegbaju, 2001) ยังเป็นส่วนผสมที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต สามารถใช้ไขมันพืช และ/หรือไขมันสัตว์ ปริมาณไขมันส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ความสว่าง เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และจำนวนจุลินทรีย์ (Muguerza *et al.*, 2002) และการสูญเสียน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อน ถ้าปริมาณไขมันมาก การสูญเสียจะมากขึ้นโดยไม่ขึ้นกับอัตราการให้ความร้อน (Cofrades *et al.*, 1997)

4. น้ำแข็ง เป็นส่วนผสมที่ควบคุมอุณหภูมิขณะสับผสม และนวด ทำให้เกลือ และส่วนผสมละลาย และกระจายตัวได้ดี รวมทั้งยังทำให้อิมัลชันมีความคงตัว และเนื้อนุ่ม

5. เกลือไนเตรท และไนไตรท ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เกิดสีชมพูแดง โดยไนไตรทจับตัวกับไมโอโกลบิน (myoglobin) ได้เป็นไนโตรโซฮีโมโครม (nitroso-hemochrom) นอกจากนี้ไนเตรทและไนไตรทยังมีคุณสมบัติในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นิยมใช้รูปเกลือของโพแทสเซียม และโซเดียม

6. สารยึดเกาะ (binder) เป็นส่วนผสมที่ช่วยปรับปรุงความคงตัวของระบบอิมัลชัน มีความสามารถในการจับน้ำ และยังเป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส เช่น แป้งมันสำปะหลัง คาราจีแนน โซเดียมอัลจิเนต กัลแลนกัม (gallan gum) บุก วุ้น หรือ โลคัสบีนกัม เป็นต้น

7. ฟอสเฟต เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีความเหนียว และอุ้มน้ำได้ดี ผลิตภัณฑ์เนื้อจึงมีความชุ่มชื้น ช่วยให้ไขมันมีความคงตัวขณะทำให้สุก และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่น การใช้ฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไปมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติฝาด เกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฟอสเฟตได้ การใช้เกลือประมาณ 2-2.5% ร่วมกับฟอสเฟต 0.5% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักขณะให้ความร้อน และสามารถผสมน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ถึง 22% (Hsu and Yu, 1999)

8. เครื่องเทศ และเครื่องปรุงรส เป็นส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มรสชาติ กลิ่น รส และให้รสชาติเฉพาะแก่ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์เนื้อแต่ละประเภทจะใช้เครื่องเทศแตกต่างกัน นอกจากนี้เครื่องเทศยังมีหน้าที่เป็นสารถนอมอาหาร เครื่องเทศบางชนิดทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการหืนของผลิตภัณฑ์

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

1. ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป	(สหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ โพนยางคำ จำกัด)
2. ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน	(บริษัท ประกอบบีฟ โปร จำกัด)
3. เนื้อวัวพันธุ์พื้นเมือง	(สหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน)
4. เนื้อสันในไก่	(บริษัท ซีพีเอฟ ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด)
5. น้ำมันรำข้าว	(บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด)
6. เกลือไนไตรท์	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
7. เกลือฟอสเฟต	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
8. Erythrobate	(บริษัท ฟู้ด อีคิว จำกัด)
9. ผงชูรส	(อายิโน๊ะโมโต๊ะ)
10. น้ำตาลทราย	(มิตรผล)
11. กระเทียม	(ตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพฯ)
12. หอมหัวใหญ่	(ตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพฯ)
13. เครื่องเทศต่างๆ	(ง่วนสุน)

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือแยกส่วน

เครื่องมือแยกส่วนไขมันประกอบด้วย ถังสำหรับตกผลึกสเตนเลสขนาด 6.5 ลิตร เป็นถังสแตนเลส สองชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กว้าง 22 เซนติเมตร สูง 26 เซนติเมตร เครื่องกวนผสมมอเตอร์ขนาด 90 Watt (speed control motor, Kimpo, Taunglix Electrical Co., LTD.) ใบกวนสเตนเลสรูปตัวยู (U-shape anchor, เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 15 เซนติเมตร ความยาวใบกวน 15 เซนติเมตร ความสูง 30.5 เซนติเมตร) เครื่องทำความเย็นแบบน้ำหล่อเย็น (cooling unit ที่ตั้งอุณหภูมิได้ ระหว่าง 25°C ถึง -10°C, Thailand) และชุดกรวยกรอง Buchner funnel ควบคุมอุณหภูมิขณะกรองโดยท่อน้ำหล่อเย็นรอบกรวยกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 เซนติเมตร ต่อกับปั๊มสุญญากาศ (SIBATA, WJ-20, Japan)

3.2.2 อุปกรณ์ผลิตผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

3.2.2.1 เครื่องสับผสม (DITO SAMA, French)

3.2.2.2 เครื่องบดเนื้อ (US BERKEL, USA)

3.2.2.3 ตู้อบรมควัน (Autotherm, Germany)

3.2.2.4 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Mettler, AE204, Switzerland)

3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพของไขมัน น้ำมันวัวแยกส่วน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.2.3.1 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo, German)

3.2.3.2 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma-meter CR-300, Japan)

3.2.3.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Beckman, Allegra X-12R, USA)

3.2.3.4 เครื่องย่อยโปรตีน และเครื่องกลั่นไนโตรเจน (Gerhardt Vapodest 30, West German)

3.2.3.5 ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Gerhardt S306 AK, German)

3.2.3.6 เครื่องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนนิง (JEOL, model JSM-5410LV, Japan)

3.2.3.7 Gas Chromatography Mass Spectrometer (GP5050A Shimadzu, Japan)

3.2.3.8 Siliga capillary column (60 m x 0.25 mm x 0.20 μm; length x I.D. x dilution factor; Agilent Technologies, USA)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การแยกส่วนไขมันวัวแบบหลายขั้นตอน (multiple-step dry fractionation)

3.3.1.1 เตรียมน้ำมันวัว

เตรียมตัวอย่างน้ำมันวัว โดยนำไขมันวัวมาทำการตัดแต่งแยกส่วนที่เป็นเนื้อ ก้อนเลือด หรือส่วนอื่นที่ไม่ใช่ไขมันออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหม้ขณะเจียว จากนั้นหั่นไขมันวัวเป็นชิ้นเล็กๆรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2 X 2 เซนติเมตร ทำการสกัดน้ำมันโดยใช้การเจียวแบบแห้ง ใช้ไขมันวัว 10 กิโลกรัม ในภาชนะสแตนเลส และให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 110 °C (นิธิยา, 2539) ใช้เวลาในการเจียวประมาณ 1 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิในการเจียวไม่เกิน 110°C ทำการกรองแยกกาก และน้ำมันออกจากกันด้วยผ้าขาวบาง และเก็บน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปแยกส่วน คำนวณปริมาณน้ำมันที่เจียวได้เป็นร้อยละ โดยน้ำหนักดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังเจียว}}{\text{น้ำหนักไขมันก่อนเจียว}} \times 100$$

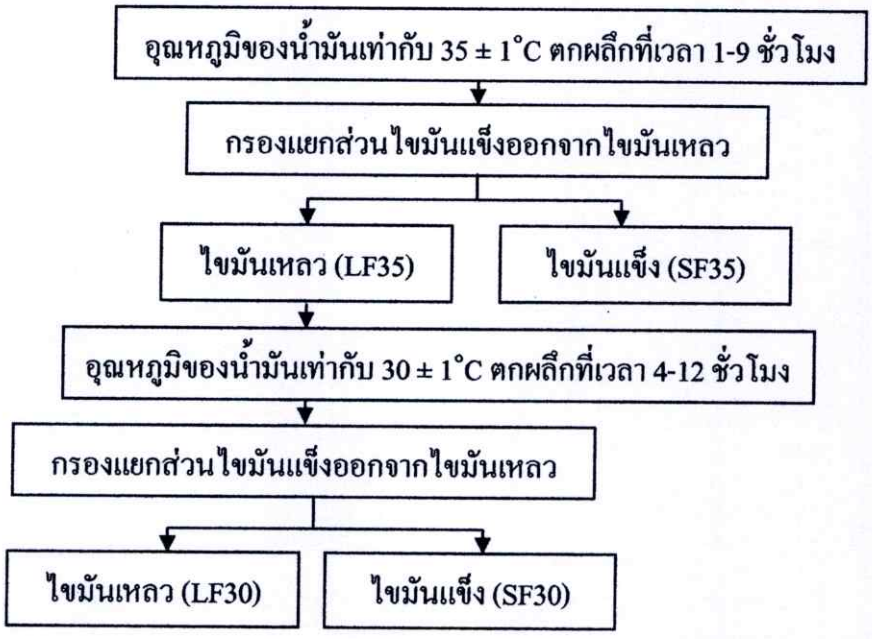
3.3.1.2 การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกน้ำมันวัว

3.3.1.2.1.1 การศึกษาอัตราการทำเย็น (Cooling rate) ณ อุณหภูมิการตกผลึก

นำไขมันที่สกัดได้จากข้อ 3.3.1.1 มาหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 80 ± 2°C เพื่อทำลายผลึกไขมันก่อนนำมาตกผลึก (Fatouh *et al.*, 2003) เทน้ำมันวัวประมาณ 6 ลิตรในถังตกผลึกใช้อุณหภูมิหล่อเย็นคงที่ 2 ระดับ คือ 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C ใช้อัตราการกวนคงที่ ที่ 10 rpm บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที เพื่อศึกษาการทำเย็นของน้ำมันวัว จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก ที่ อุณหภูมิตกผลึกที่ 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และอุณหภูมิ

3.3.1.2.1.2 ศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก

เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิในการตกผลึกที่ 35 ± 1°C ที่ระยะเวลา 1-9 ชั่วโมง และ 30 ± 1°C ระยะเวลาเท่ากับ 4-12 ชั่วโมง ทำการตกผลึกโดยการกวนที่ความเร็วรอบ 10 rpm เมื่อครบกำหนดเวลาทำการแยกส่วนผลึกไขมันออกจากน้ำมัน ด้วยการกรองแบบสุญญากาศ ควบคุมอุณหภูมิขณะกรองให้เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก ชั่งน้ำหนักส่วนไขมันและน้ำมันที่ได้ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณผลึกไขมัน เก็บส่วนไขมันและน้ำมันเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี



รูปที่ 3.1 ผังแสดงขั้นตอนการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1 และ 30 ± 1°C

3.3.1.3 การแยกส่วนแบบสองขั้นตอน (Double-step dry fractionation)

แยกส่วนน้ำมันวัวโดยนำน้ำมันวัวที่ผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ 80 ± 2°C เพื่อทำลายผลึกไขมันแล้ว และนำน้ำมันวัวประมาณ 6 ลิตรใส่ลงในถังสำหรับตกผลึก ด้วยอัตรากวน 10 rpm ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ได้จากการศึกษาใน ข้อ 3.3.1.2

3.3.1.4 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของไขมันเหลว และไขมันแข็งแยกส่วน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำมันวัวที่ไม่ผ่านการแยกส่วน น้ำมันและไขมันแยกส่วนแบบหลายขั้นจากข้อ 3.3.1.3 ได้แก่ จุดหลอมเหลวโดยวิธี Capillary tube (AOCS: Cc 1-25, 1999) ค่าไอโอดีนด้วย Cyclohexane–Acetic acid method (AOCS: Cd 1-25, 1999) ค่ากรดไขมันอิสระ (AOCS: Ca 5a- 40, 1999) และองค์ประกอบของกรดไขมัน (Compendium of Method for Food Analysis, 2003) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 100 ± 0.1 มิลลิกรัม ในหลอดแก้วขนาด 18 x 180 มิลลิเมตร เติมสารละลาย 0.5N NaOH ในเมทานอล 4 มิลลิลิตร ก่อนนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 85-100°C นาน 10 นาที ในอ่างน้ำร้อน นำตัวอย่างมาทำให้เย็นก่อนเติมสารละลาย 14 % BF_3 ในเมทานอล ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 95°C นาน 10 นาที แล้วทำให้สารละลายเย็นลงก่อนเติม n-hexane ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำส่วนผสมไปทำให้ร้อนนานอีก 5 นาที พร้อมกับเขย่าเป็นระยะๆ นำสารละลายไปทำให้เย็นก่อนเติมสารละลายอิ่มตัว NaCl ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าหลอดนาน 1 นาที ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยง แยกสารละลายตอนบน (fatty acids methyl esters, FAMES) ออกก่อน นำส่วนล่างไปสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ก่อนนำสารสกัดของ fatty acids methyl esters ทั้ง 3 ครั้งมารวมกัน ขจัดความชื้นของสารสกัดด้วย anhydrous Na_2SO_4 ก่อนนำสารสกัดไประเหย n-hexane ภายใต้ไนโตรเจนก๊าซจนเหลือปริมาตรประมาณ 1 มิลลิลิตร นำสารละลาย fatty acids methyl esters (FAMES) ที่ได้มาวิเคราะห์หากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยใช้ Gas Chromatograph Mass Spectrometer โดยใช้ Siliga capillary column (60 m x 0.25 mm x 0.20 μm; length x I.D. x dilution factor; Agilent Technologies, USA) Split ratio 1:20 ที่มีฮีเลียม (Helium gas 99.99%) เป็นแก๊สพาอัตราการไหล 0.4 ml/min ฉีดสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาตร 0.2 μl ด้วย auto injector (AOC- 20i, Shimadzu, Japan) อุณหภูมิของ injector เท่ากับ 210°C และอุณหภูมิของดีเทคเตอร์เท่ากับ 250°C โดยให้อุณหภูมิของ oven เท่ากับ 50°C คงอุณหภูมิไว้นาน 1 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น150°C ด้วยอัตราความเร็ว 10°C/นาที และคงอุณหภูมิไว้นาน 18 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 230°C ด้วยอัตรา 4°C/นาที และคงอุณหภูมินี้ไว้นาน 9 นาที ใช้ Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) (Sigma, USA) เป็น internal standard (IS) และใช้ Mixed standard fatty acid methyl ester, C4-C24 (Supelco 37 component FAMES Mix, USA) เป็นกรดไขมันมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมของตัวอย่าง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการแยกส่วน

วางแผนการทดลองการแยกส่วนน้ำมันวัวจากไขมันวัว 3 ชนิด ที่ 2 ระดับอุณหภูมิ แบบ Completely Randomized Design; CRD ทำการแยกส่วน 2 ซ้ำ ข้อมูลจากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพของไขมันวัวแยกส่วน นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้ด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

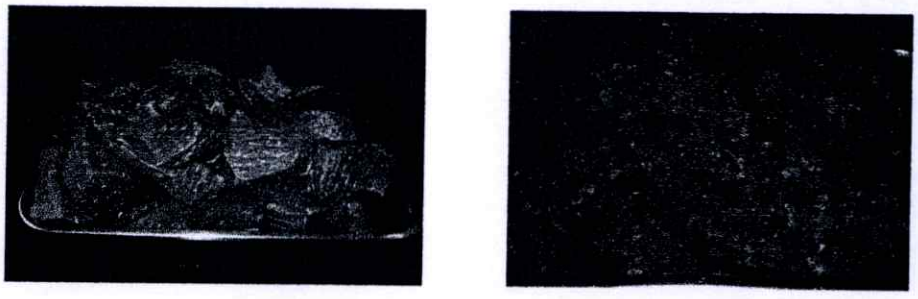
3.3.2 การผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ โดยใช้ไขมันแยกส่วนเป็นส่วนผสม

3.3.2.1 ผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ สูตรไขมัน 25 ± 1%

ผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ โดยใช้น้ำมันและไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป เปรียบเทียบกับการใช้มันหมูแข็ง และไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป โดยปรับอัตราส่วนของส่วนผสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสุดท้ายเท่ากับ 25 ± 1% ของน้ำหนักสด (ตารางที่ 3.1)

3.3.2.1.1 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

1) เตรียมวัตถุดิบโดยการแยกส่วนไขมัน พังผืด และเศษเลือด ออกจากเนื้อ เพื่อให้ได้เนื้อไม่ติดมันเพียงอย่างเดียว ทำการลดขนาดวัตถุดิบที่ใช้ ด้วยเครื่องบดเนื้อ (เนื้อวัวพันธุ์พื้นเมือง เนื้อไก่ มันแข็งของหมู และไขมันที่ได้จากการตัดแต่งซากวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป) อุณหภูมิของเนื้อที่ผ่านการบดลดขนาดต้องไม่เกิน 7°C



A. B.

รูปที่ 3.2 เนื้อวัวที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ (A. เนื้อวัวหลังการตัดแต่ง B. เนื้อวัวหลังการบดเพื่อลดขนาด)

2) เริ่มการผลิต โดยใส่เนื้อวัว ลงในเครื่องสับผสม จากนั้นเติมฟอสเฟตและน้ำแข็งจำนวนหนึ่งในสาม เพื่อควบคุมอุณหภูมิในการสกัดโปรตีน สับผสมด้วยความเร็วต่ำ นานประมาณ 2 นาที

105538

3) ทำการเติมสันในไก่ ไนไตรท์, อิริโธเบท และน้ำแข็งประมาณหนึ่งในสาม สับผสมด้วยความเร็วต่ำประมาณ 1 นาที

4) เติมส่วนของไขมัน (ในสภาวะที่เป็นของแข็ง ยกเว้น น้ำมันรำข้าวใช้ในสถานะที่เป็นของเหลว) น้ำตาลทราย ผงชูรส เครื่องเทศ หอมใหญ่ กระเทียม และน้ำแข็งที่เหลือและทำการสับผสมต่อด้วยความเร็วต่ำ ประมาณ 1 นาที แล้วปรับไปที่ความเร็วสูงและผสมต่อประมาณ 1-2 นาที หรือจนได้แบตเตอร์ (batter) มีอุณหภูมิสูงกว่า 10°C บรรจุลงในพิมพ์สแตนเลสขนาดความกว้าง 3 ½ นิ้ว x ความยาว 7 นิ้ว x ความสูง 3 นิ้วที่ทาพื้นผิวด้านในด้วยน้ำมันดอกทานตะวันประมาณ 20 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120°C นานประมาณ 90 นาที นำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาอบและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ห่อด้วย Saran ป้องกันความชื้นและเก็บที่ อุณหภูมิ 2 ± 1°C

3.3.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ที่เตรียมได้จาก 3.3.2.1 ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี (Kayaardi and Gök, 2003) ความคงตัวของอิมัลชัน (Hughe *et al.*, 1997) ค่าการสูญเสียน้ำหนักขณะทำสุก (Crehan *et al.*, 2000) และโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ด้วย Scaning Electron Microscopy (ดัดแปลงจาก Iwasaki *et al.*, 2006) และองค์ประกอบกรดไขมัน (Compendium of Method for Food Analysis, 2003) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สกัดไขมันจากตัวอย่าง ด้วยวิธีของ Bligh and Dryer (1959) โดยชั่งตัวอย่าง 20 กรัม (± 0.0001 กรัม) เติมส่วนผสมของคลอโรฟอร์ม 20 มิลลิลิตร และเมทานอล 40 มิลลิลิตร และนำของผสมไปโฮโมจีไนซ์ด้วยความเร็วสูงนาน 1 นาที หลังจากนั้นเติมคลอโรฟอร์มอีก 20 มิลลิลิตร และนำไปโฮโมจีไนซ์ต่อนาน 30 วินาที กรองสารละลายภายใต้สุญญากาศและนำสารละลายที่ได้ไปแยกโดยกรวยแยก (Separatory funnel) สามารถแยกส่วนล่างของกรวยแยกซึ่งเป็นส่วนของไขมันในคลอโรฟอร์มออกใส่ลงในขวดรูปชมพู่ นำไประเหยคลอโรฟอร์มออกที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้ไนโตรเจนก๊าซจนน้ำหนักของไขมันคงที่ และเก็บไขมันที่ได้เพื่อนำไปใช้ในวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน (วิธีดังระบุในหัวข้อ 3.3.1.4)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
เนื้อวัว (กรัม)	555	555	555	248*	353*
เนื้อไก่ (กรัม)	300	300	300	300	300
มันแข็งหมู (กรัม)	-	-	-	577	-
มันวัว (กรัม)	-	-	-	-	682
Liquid fraction 35 ± 1°C (กรัม)	375	187.5	-	-	-
Solid fraction 35 ± 1°C (กรัม)	-	-	187.5	-	-
น้ำมันรำข้าว (กรัม)	-	187.5	187.5	-	-
น้ำแข็ง (กรัม)	270	270	270	270	270
เกลือไนไตรท์ (กรัม)	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
เกลือฟอสเฟต (กรัม)	6	6	6	6	6
ผงชูรส (กรัม)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Erythrobate (กรัม)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
น้ำตาลทราย (กรัม)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
กระเทียม (กรัม)	10	10	10	10	10
หอมหัวใหญ่ (กรัม)	20	20	20	20	20
เครื่องเทศรวม (กรัม)	10	10	10	10	10
รวม (กรัม)	1,500	1,500	1,500	1,395	1,605

หมายเหตุ

* ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ML ในครั้งนี้ ต้องการศึกษาชนิดของไขมันที่อาจมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ จึงดำเนินการผลิตโดยปรับให้มีปริมาณไขมันเท่ากัน คือ 25 ± 1% ส่วนผสมของสูตร ML4 และ ML5 เป็นเนื้อเยื่อไขมันที่ไม่ได้ผ่านการเจียว ซึ่งมีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งเป็นโปรตีนอยู่ด้วย (วินิดา, 2545) จึงต้องเพิ่มปริมาณของเนื้อเยื่อไขมันที่ใช้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ มีปริมาณของไขมันรวม 25 ± 1% และ เพื่อควบคุมปริมาณโปรตีนให้เท่ากัน ด้วยการลดปริมาณของเนื้อสัตว์ในส่วนผสม (ทั้งนี้มีโปรตีนบางส่วนที่ได้จากเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน)

3.3.2.3 ประเมินคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

ประเมินคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer TAXT2i ที่มี load cell ขนาด 5 กิโลกรัม (Devatkal *et al.*, 2004) เลือกใช้หัวกด Platen ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ หนึ่ง batch (ซ้ำ) หรือ 9 ตัวอย่างต่อหนึ่งสูตร โดยใช้บริเวณด้านในของผลิตภัณฑ์ ตัดให้มีขนาดลูกเต๋า 1x1x1 เซนติเมตร ใช้ compression mode ด้วยความเร็วหัววัดก่อนทดสอบ (pre-test speed) 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วหัววัดระหว่างการทดสอบ (test speed) 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วหัววัดหลังการทดสอบ (post-test Speed) 10 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทางหัววัดจากจุด trigger force 60 % strain กำหนดจุดเริ่มทดสอบ (trigger) เป็น ชนิด (Type) :Auto, Force :5 กรัม., Time :3.0 วินาที

3.3.2.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ โดยเลือกใช้การทดสอบความชอบต่อผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ความชุ่มฉ่ำ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ใช้แบบทดสอบ 7-points Hedonic scale และใช้ผู้ทดสอบที่เคยรับประทาน มีทโลฟ จำนวน 20 คน(n=20) ใช้แบบฟอร์มการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ภาคผนวก รูป ฉ1) ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ผู้ทดสอบเป็นอาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการเกษตร แบ่งเป็นชาย 10 และหญิง 10 คน อุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง เตรียมตัวอย่าง โดยหั่นเป็นลูกเต๋าขนาด 1x1x1 เซนติเมตร ในการทดสอบจะเสิร์ฟตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งละ 5 ตัวอย่างที่ระบุด้วยชุดตัวเลขสุ่ม (random numbers) ผู้ทดสอบได้รับการแนะนำให้ชะล้างกลิ่นรสในปากด้วยการเคี้ยวขนมปังจืด เพื่อกำจัดกลิ่นรสตกค้างในปาก และกลั้วปากด้วยน้ำสะอาดก่อนการประเมินตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง ดำเนินการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ณ ห้องปฏิบัติการเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2.5 ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีทโลฟในระหว่างการเก็บรักษา

ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ Total aerobic plate count และ Psychrotrophic count (AOAC, 2000) ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ทั้ง 5 สูตร ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1°C นาน 0-28 วัน โดยทำการตรวจทุกๆ 7 วัน และการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยการติดตามค่า TBARS (Sorensen and Jorgensen., 1995)

3.3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

วางแผนการทดลองการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองด้านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) ข้อมูลจากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้

ด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

4.1 คุณลักษณะของวัตถุดิบไขมันวัว

การศึกษาในตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบคุณลักษณะของวัตถุดิบไขมันวัวที่แตกต่างกันสองสายพันธุ์ คือ ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) และไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมบรามันท์ (BR) น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์ มีคุณลักษณะเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะสำคัญของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) และพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (BR)

แหล่งที่มาของไขมัน	คุณลักษณะของน้ำมันวัว			
	ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการเจียว (%)^{ns}	จุดหลอมเหลว (°C)	Iodine Value* (IV)^{ns}	FFA (as %oleic)^{ns}
CH	54.72 ± 3.55	37.83 ± 0.75^{b}	41.21 ± 0.75	0.61 ± 0.01
BR	51.53 ± 5.45	43.83 ± 2.14^{a}	43.26 ± 0.94	0.58 ± 0.04

หมายเหตุ

* หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการเจียวไขมันวัว 2 ซ้ำ

จุดหลอมเหลวเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่บอกถึงอุณหภูมิที่ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว พบปัจจัยของสายพันธุ์วัวต่อความแตกต่างของจุดหลอมเหลว น้ำมัน BR มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า CH ($p \leq 0.05$) น้ำมัน BR จึงน่าจะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่มากกว่าน้ำมัน CH ค่าไอโอดีนมีความสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวของไขมัน ซึ่งค่าไอโอดีนเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความไม่อิ่มตัวของไขมัน ไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง มักมีค่าไอโอดีนสูงด้วย (นิธิยา, 2548) และมีจุดหลอมเหลวของไขมันต่ำ ไขมันพืชเช่น น้ำมันรำข้าว มีค่าไอโอดีนประมาณ 99-108 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม ในขณะที่ไขมันสัตว์ซึ่งมีความอิ่มตัวสูงกว่า เช่น น้ำมันหมู มีค่าไอโอดีนประมาณ 53-77 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบไขมันพบว่า CH มีค่าไอโอดีน เท่ากับ 42.65 ± 0.79 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม ไม่แตกต่างจากของ BR (42.35 ± 0.97 กรัมไอโอดีน/ไขมัน 100 กรัม)

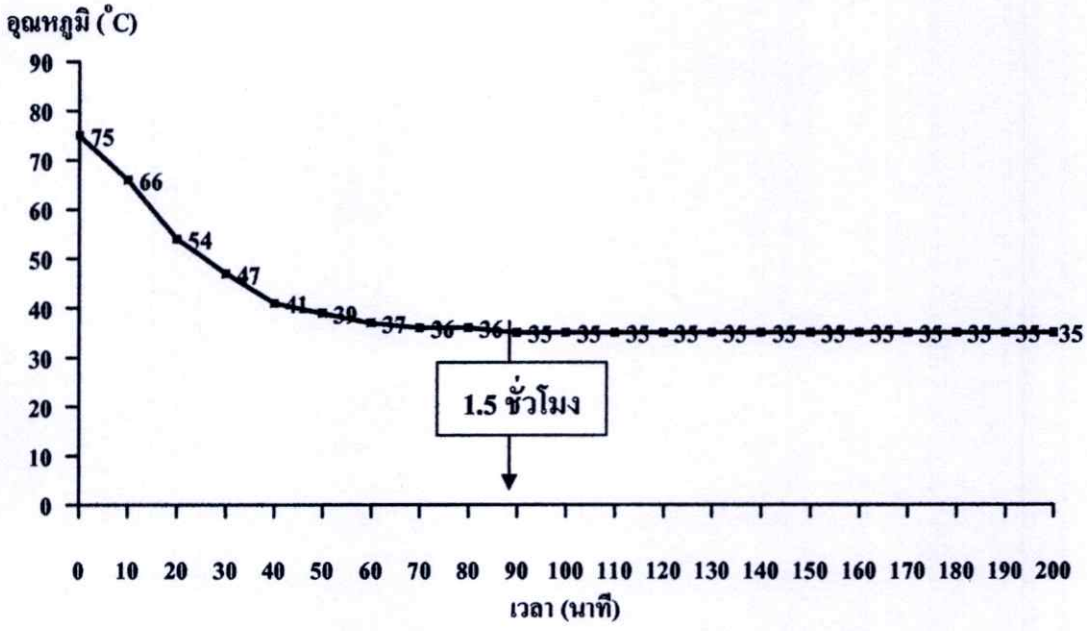
กรดไขมันอิสระเป็นดัชนีบอกคุณภาพและปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน น้ำมันบริโภคที่ดีมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.5 % (นิธิยา, 2548) หรือมีค่าของกรดไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัม KOH / ไขมัน 1 กรัม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2543) อุณหภูมิ และระยะเวลาของการให้ความร้อนขณะเจียวมีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมาก ปริมาณกรดไขมันอิสระที่คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดโอเลอิคของไขมันวัวสองสายพันธ์ไม่แตกต่างกัน

4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกน้ำมันวัว

4.2.1 เวลาเหมาะสมในการแยกส่วนขั้นที่ 1 ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ด้วยอัตราการกวนคงที่ 10 rpm

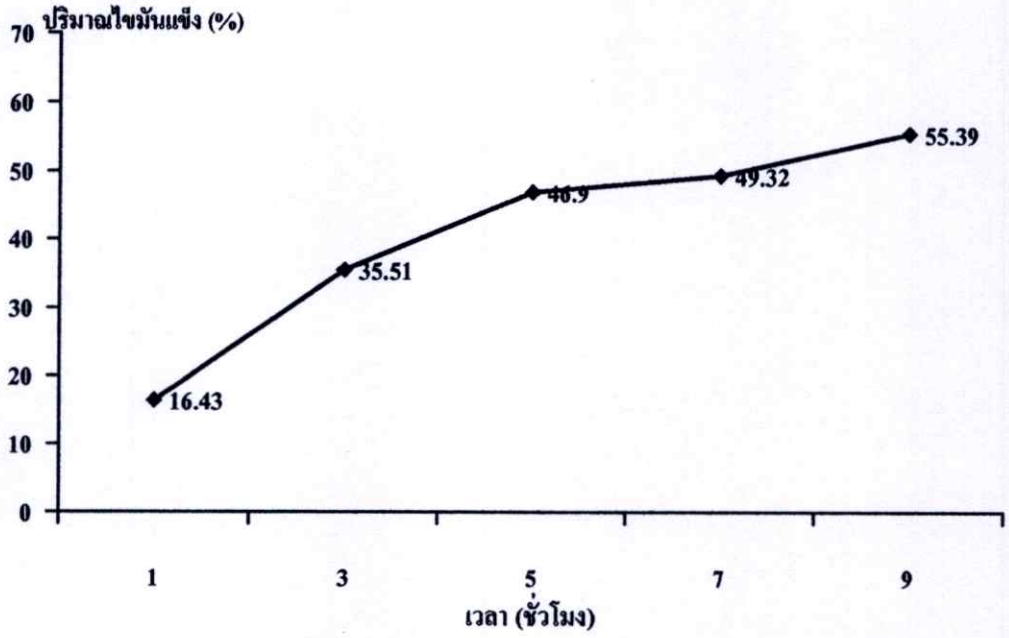
การทำเย็นไขมันมีผลต่อความสม่ำเสมอ และรูปร่างของผลึก รวมทั้งปริมาณไขมันแยกส่วนที่เกิดขึ้น การทำเย็นอย่างช้าๆจะได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ และรูปร่างของผลึกจะมีความคงตัวมากกว่าการทำเย็นอย่างรวดเร็ว (Kaylegian and Lindsay, 1994) ในขณะที่การทำเย็นอย่างรวดเร็วจะให้ปริมาณไขมันแยกส่วนและความแข็งของผลึกไขมันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลึกไขมันที่เกิดจากอัตราการทำเย็นช้า (Campos *et al.*, 2002) องค์ประกอบของน้ำมันที่แตกต่างกันมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมี กายภาพและคุณสมบัติการนำความร้อนของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ผลการศึกษาระยะเวลาของการทำเย็น ระยะเวลาตกผลึก และปริมาณไขมัน ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C โดยใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) พบว่าเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิน้ำมัน จาก 75°C ลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ± 1°C ใช้เวลา 90 นาที (รูปที่ 4.1) O'Shea *et al.* (2000) ศึกษาการตกผลึกไขมันนมวัวที่อุณหภูมิระหว่าง 33-10°C นาน 2 ชั่วโมง ที่อัตราการทำเย็น 0.58, 0.74, 1.17 และ2.80°C / ชั่วโมง อัตรากวน 16 rpm และพบว่าอัตราการทำเย็น0.58°C / ชั่วโมง ให้ปริมาณส่วนของน้ำมันที่มีกรดโอเลอิคสูงถึง 63.2% ขณะที่ Dimick *et al.* (1996) แยกส่วน anhydrous milk fat ด้วยอุณหภูมิต่ำ เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี และลักษณะการนำความร้อน โดยใช้อัตราการทำเย็น1°C / นาที ในการลดอุณหภูมิไขมันนมจาก 60°C, 50°C ให้ลดลงเหลือ 29°C และ 18°C ตามลำดับ



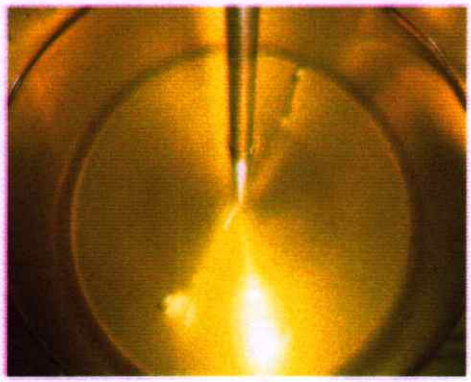
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิระหว่างการทำเย็นขั้นที่ 1 น้ำมัน CH เพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-200 นาที

ผลการศึกษาระยะเวลา และปริมาณผลึกไขมันแข็งที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C ที่เวลา 1, 3, 5, 7 และ9 ชั่วโมง ปริมาณผลึกไขมันแข็งที่กรองแยกได้ เท่ากับ 16.43 ± 5.56, 35.51 ± 1.45, 46.90 ± 0.84, 49.32 ± 0.26 และ 55.39 ± 3.75 % ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ระยะเวลาที่ใช้ในการตกผลึกน้ำมันที่ 35 ± 1°C มีอิทธิพลต่อปริมาณผลึกไขมันแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณผลึกไขมันจะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการตกผลึก คือ ปริมาณผลึกไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตกผลึกเพิ่มขึ้น และเลือกใช้ระยะเวลาที่ให้ปริมาณไขมันแยกส่วนที่เกิดขึ้นเริ่มมีปริมาณสูงที่สุด จึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ 9 ชั่วโมง เพื่อการตกผลึกที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C



รูปที่ 4.2 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C นาน 0-9 ชั่วโมง อัตราการกวน 10 rpm

กระบวนการตกผลึกเป็นการทำให้น้ำมันเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นผลึกไขมัน ไขมันแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ช่วงแรกของการตกผลึกไขมันจะเป็นช่วงก่อผลึกจะเกิดนิวเคลียสขนาดเล็กแล้วก่อตัวเป็นผลึก ผลึกจะเจริญมากขึ้นที่เวลาตกผลึกนาน พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกมีผลต่ออัตราการเกิดผลึก จำนวน และขนาดของผลึก (รูปที่ 4.3) แสดงการเปลี่ยนแปลงความข่นจากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C เวลา 0 - 9 ชั่วโมง สังเกต พบว่าความขุ่นของน้ำมันที่เวลาตกผลึกตั้งแต่ 3 - 9 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันนัก



A.

B.

C.

D.

E.

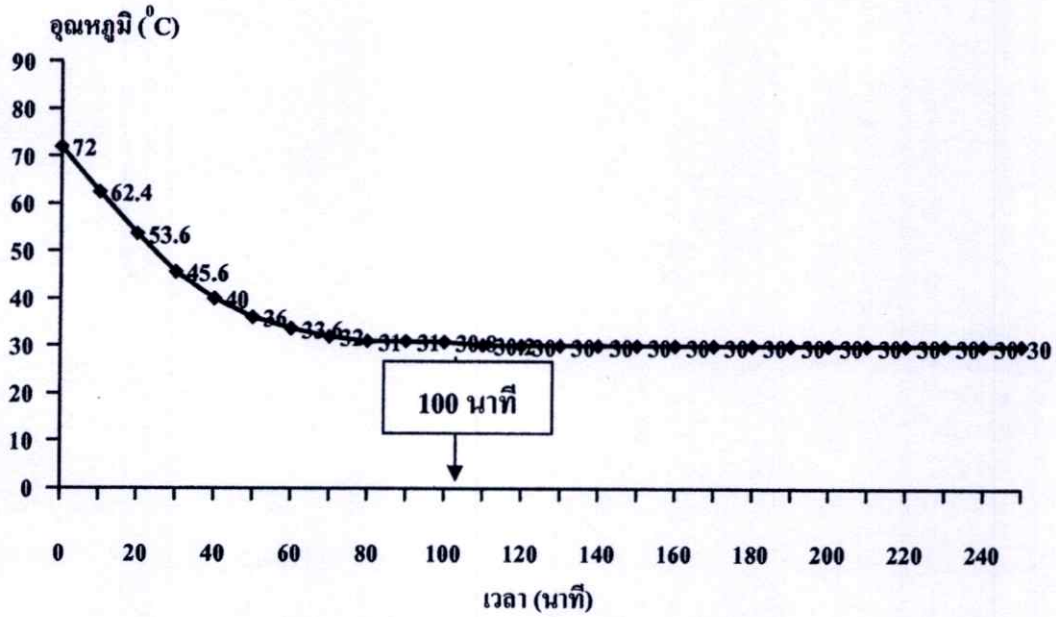
F.

รูปที่ 4.3 ลักษณะของน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิการตก ผลึกที่ 35 ± 1°C ที่ ระยะเวลา 0-9 ชั่วโมง (A. 0 ชั่วโมง, B. 1 ชั่วโมง, C. 3 ชั่วโมง, D. 5 ชั่วโมง, E. 7 ชั่วโมง และ F. 9 ชั่วโมง)

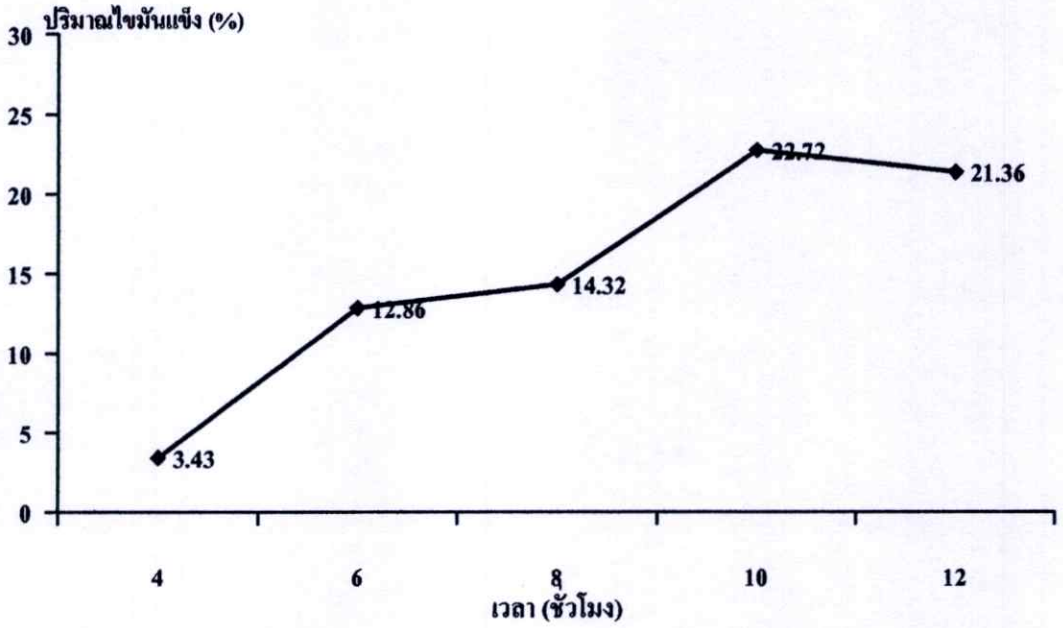
4.2.2 เวลาเหมาะสมในการแยกส่วนขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 30±1°C ด้วยอัตราการกวนคงที่ 10 rpm

นำน้ำมันที่ได้จากอุณหภูมิตกผลึกที่ 35 ± 1°C ที่เวลาตกผลึก 9 ชั่วโมง มาศึกษาระยะเวลาการทำเย็น ระยะเวลาการตกผลึก และปริมาณไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C เนื่องจากให้ปริมาณผลึกที่ค่อนข้างมากพอ และผลึกของไขมันมีขนาดที่ใหญ่ เพื่อสะดวกในการกรองแยก

ระยะเวลาที่อุณหภูมิของน้ำมัน CH ลดลงจาก 72°C จนมีอุณหภูมิเท่ากับ 30 ± 1°C เท่ากับ 100 นาที (รูปที่ 4.4) ระยะเวลาตกผลึกที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C มีผลต่อปริมาณไขมันแยกส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ที่ระยะเวลา 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ปริมาณไขมันแยกส่วน เท่ากับ 3.43 ± 1.24, 12.86 ± 3.74, 14.32 ± 0.47, 22.72 ± 1.99 และ 21.36 ± 2.41 % ตามลำดับ ปริมาณไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C ที่ระยะเวลาตกผลึกนาน 10 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากปริมาณไขมันแยกส่วนที่ได้จากการตกผลึก นาน 12 ชั่วโมง จึงเลือกใช้ระยะเวลาที่ 10 ชั่วโมง สำหรับการตกผลึกที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C

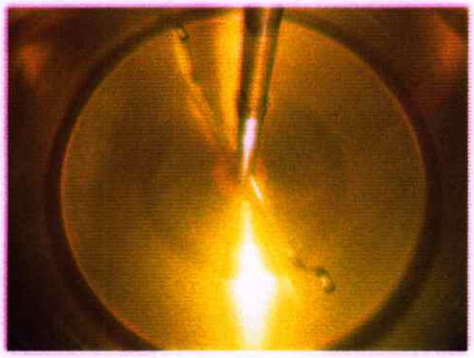


รูปที่ 4.4 อุณหภูมิระหว่างการทำเย็น ขั้นที่ 2 น้ำมัน CH เพื่อตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C อัตราการกวน 10 rpm ที่เวลา 0-240 นาที



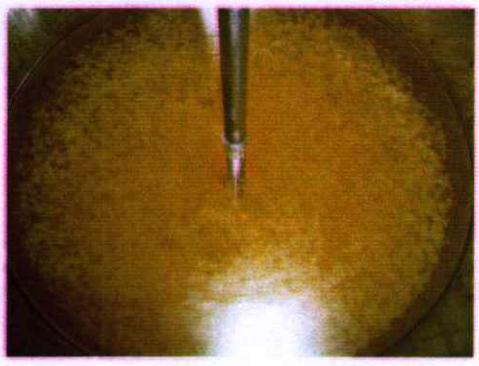
รูปที่ 4.5 ปริมาณไขมันแข็งที่ได้จากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C นาน 0-12 ชั่วโมง อัตราการกวน 10 rpm

รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความข่นจากการตกผลึกน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิการตกผลึก 30 ± 1°C ที่เวลา 0-10 ชั่วโมง จากการสังเกต พบว่าความข่นของน้ำมันเพิ่มมากขึ้นที่เวลาตกผลึก 6-12 ชั่วโมง



A.

B.



C.

D.

E.

F.

รูปที่ 4.6 ลักษณะของน้ำมัน CH ที่อุณหภูมิการตกผลึกที่ 30 ± 1°C ที่ระยะเวลา 0-12 ชั่วโมง (A. 0 ชั่วโมง, B. 4 ชั่วโมง, C. 6 ชั่วโมง, D. 8 ชั่วโมง, E. 10 ชั่วโมง และ F. 12 ชั่วโมง)

4.3 การแยกส่วนไขมันวัวแบบหลายขั้น

นำไขมันวัวทั้งสองสายพันธุ์มาทำการตกผลึก ขั้นแรก ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ระยะเวลา 9 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 30 ± 1°C ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ปริมาณไขมันแยกส่วน แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไขมันแยกส่วนที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบสองขั้น

แหล่งที่มาของไขมัน	ปริมาณไขมันแยกส่วนที่ได้ (%โดยน้ำหนัก)			
	การแยกส่วนขั้นที่ 1		การแยกส่วนขั้นที่ 2	
	LF	SF	LF	SF
CH	76.98 ± 8.02[a]	23.02 ± 8.02[b]	78.30 ± 1.75[b]	21.70 ± 1.75[a]
BR	45.63 ± 7.18[b]	54.37 ± 7.18[a]	96.12 ± 0.52[a]	3.88 ± 0.52[b]

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการแยกส่วนไขมันวัว 2 ซ้ำ

LF คือ น้ำมันแยกส่วน, SF คือ ไขมันแยกส่วน

ในการแยกส่วนขั้นที่ 1 ไขมัน CH มีปริมาณไขมันแยกส่วน เท่ากับ 23.02 ± 8.02% ซึ่งน้อยกว่าไขมัน BR (54.37 ± 7.18%) แสดงว่าไขมัน BR น่าจะมีองค์ประกอบกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 35°C ในปริมาณที่มากกว่าในไขมัน CH เมื่อนำน้ำมันที่ได้จากการแยกส่วนในขั้นที่ 1 ไปทำการแยกส่วนในขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 30°C เวลา 10 ชั่วโมง พบว่าไขมัน CH มีปริมาณไขมันแยกส่วนสูงกว่าไขมัน BR แสดงว่าไขมัน CH น่าจะมีองค์ประกอบกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 35-30°C ในปริมาณที่สูงกว่า BR

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของไขมันวัวแยกส่วน

4.4.1 ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลวของน้ำมันและไขมันแยกส่วน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าไอโอดีน และปริมาณกรดไขมันอิสระและคุณสมบัติทางกายภาพ คือ จุดหลอมเหลวของน้ำมันแยกส่วน (LF) และไขมันแยกส่วน (SF) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C เวลาตกผลึก 0-9 ชั่วโมง (สำหรับการตกผลึกในขั้นแรก) และที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C เวลาตกผลึก 0-12 ชั่วโมง (สำหรับการตกผลึกในขั้นที่สอง) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 - 4.4

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนน้ำมัน CH ด้วยอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1 ℃

Fraction	เวลา (hr)	จุดหลอมเหลว (°C)	Iodine Value* (IV)	FFA (as %oleic)
น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C (LF35)				
Tallow	0	37.83 ± 0.75^{a}	42.65 ± 0.79^{d}	0.61 ± 0.01^{f}
LF35	1	34.67 ± 0.52^{b}	44.42 ± 0.15^{c}	0.62 ± 0.00^{e}
	3	34.33 ± 0.52^{b}	42.75 ± 0.23^{cd}	0.65 ± 0.00^{d}
	5	34.00 ± 0.89^{b}	45.41 ± 0.28^{ba}	0.66 ± 0.00^{c}
	7	34.67 ± 0.52^{b}	45.88 ± 0.10^{a}	0.68 ± 0.00^{b}
	9	33.00 ± 0.89^{c}	46.28 ± 0.17^{a}	0.69 ± 0.00^{a}
ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C (SF35)				
Tallow	0	37.83 ± 0.75^{e}	42.65 ± 0.79^{a}	0.61 ± 0.01^{b}
SF35	1	46.67 ± 0.52^{ab}	42.91 ± 0.64^{a}	0.50 ± 0.00^{a}
	3	45.67 ± 0.52^{c}	42.04 ± 0.50^{a}	0.49 ± 0.00^{a}
	5	47.00 ± 0.00^{a}	40.96 ± 0.07^{b}	0.49 ± 0.00^{a}
	7	44.67 ± 0.52^{d}	38.82 ± 0.13^{c}	0.49 ± 0.00^{a}
	9	46.00 ± 0.89^{bc}	35.82 ± 0.19^{d}	0.50 ± 0.00^{a}

หมายเหตุ

* หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่างการแยกส่วนไขมันจำนวน 2 ซ้ำ

Tallow คือน้ำมันวัวเริ่มต้น, LF = น้ำมันแยกส่วน, SF = ไขมันแยกส่วน

ระยะเวลาในการตกผลึกมีผลต่อค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลวของไขมันวัวแยกส่วนทั้ง LF และ SF ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C ($p \leq 0.05$) พบว่าพารามิเตอร์ทั้งสามของ LF แตกต่างจากน้ำมันวัวเริ่มต้น โดยค่าไอโอดีนและปริมาณกรดไขมันอิสระของ LF มีค่าสูงกว่าน้ำมันวัวเริ่มต้น แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ค่าไอโอดีนของ LF อยู่ระหว่าง 42.75 ± 0.23 ถึง 46.28 ± 0.17 กรัม/ไขมัน 100 กรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ระหว่าง 0.61 ± 0.01 ถึง 0.69 ± 0.00% จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33.00 ± 0.89 ถึง 34.67 ± 0.52°C ไม่พบความแตกต่างของพารามิเตอร์ทั้งสามใน LF ในเวลา 1-7 ชั่วโมง แต่พบความแตกต่างของพารามิเตอร์ที่เวลาตกผลึก 9 ชั่วโมง ซึ่งความแตกต่างของพารามิเตอร์บอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการแยกส่วนไขมัน

ในส่วนของ SF พบว่า พารามิเตอร์ทั้งสามของไขมันแยกส่วนมีความแตกต่างกับน้ำมันวัวเริ่มต้น โดยในน้ำมันวัวเริ่มต้นมีค่าไอโอดีนและปริมาณของกรดไขมันอิสระสูงกว่าไน SF แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ค่าไอโอดีนของ SF อยู่ระหว่าง 35.82 ± 0.19 ถึง 42.91 ± 0.64 กรัม/ไขมัน 100 กรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 0.49 ± 0.00 ถึง 0.50 ± 0.00% จุดหลอมเหลวช่วง 45.67 ± 0.52 ถึง 46.67 ± 0.52°C

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนน้ำมัน CH ด้วยอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1 °C

Fraction	เวลา (hr)	จุดหลอมเหลว (°C)	Iodine Value* (IV)	FFA (as %oleic)
น้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 ± 1 °C (LF30)				
Tallow	0	37.83 ± 0.75^{a}	42.65 ± 0.79^{d}	0.61 ± 0.01^{d}
LF30	4	30.33 ± 0.52^{b}	46.21 ± 0.05^{c}	0.54 ± 0.01^{e}
	6	30.33 ± 0.23^{b}	46.99 ± 0.05^{bc}	0.60 ± 0.01^{d}
	8	30.67 ± 0.26^{b}	47.38 ± 0.11^{b}	0.67 ± 0.01^{c}
	10	30.33 ± 0.53^{b}	49.68 ± 0.24^{a}	0.70 ± 0.01^{b}
	12	30.34 ± 0.16^{b}	49.57 ± 0.84^{a}	0.73 ± 0.01^{a}
ไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิ 30 ± 1 °C (SF30)				
Tallow	0	37.83 ± 0.75^{a}	42.65 ± 0.79^{a}	0.61 ± 0.01^{a}
SF30	4	35.00 ± 0.00^{b}	40.86 ± 0.19^{b}	0.52 ± 0.00^{d}
	6	35.33 ± 0.52^{b}	40.30 ± 0.14^{bc}	0.54 ± 0.00^{c}
	8	35.67 ± 0.52^{b}	39.62 ± 0.13^{c}	0.58 ± 0.01^{b}
	10	35.33 ± 0.52^{b}	38.65 ± 0.23^{d}	0.57 ± 0.01^{b}
	12	35.67 ± 0.52^{b}	37.28 ± 0.14^{e}	0.49 ± 0.01^{e}

หมายเหตุ

* หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่างการแยกส่วนไขมันจำนวน 2 ซ้ำ

Tallow คือน้ำมันวัวเริ่มต้น, LF = น้ำมันแยกส่วน, SF = ไขมันแยกส่วน

ระยะเวลาในการแยกส่วนมีผลต่อคุณภาพของไขมันวัวแยกส่วน โดยพบว่า ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลว ของ LF แตกต่างจากน้ำมันวัวเริ่มต้น โดย LF มีค่าไอโอดีนและปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันวัวเริ่มต้น และจุดหลอมเหลวต่ำกว่า และไม่พบความแตกต่างของจุดหลอมเหลวของ LF ที่เวลา 4-12 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนของ LF อยู่ระหว่าง 46.21 ± 0.05 ถึง 49.57 ± 0.84 กรัม/ไขมัน 100 กรัม จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 30.33 ± 0.52 ถึง 30.67 ± 0.26°C และปริมาณกรดไขมันอิสระใน LF มีค่าสูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระใน SF ในส่วน SF พบว่าพารามิเตอร์ทั้งสามของ SF มีความแตกต่างจากน้ำมันวัวเริ่มต้น โดย SF มีค่าไอโอดีนและปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าน้ำมันวัวเริ่มต้น แต่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า และไม่พบความแตกต่างของจุดหลอมเหลวของ SF ที่เวลา 4-12 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนของ SF อยู่ระหว่าง 37.28 ± 0.14 ถึง 40.86 ± 0.19 กรัม/ไขมัน 100 กรัม และจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 35.00 ± 0.00 ถึง 35.67 ± 0.52°C

4.4.2 ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และจุดหลอมเหลวของน้ำมันวัวเริ่มต้นและไขมันวัวแยกส่วน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าไอโอดีน และปริมาณกรดไขมันอิสระและคุณสมบัติทางกายภาพ คือ จุดหลอมเหลวของน้ำมันแยกส่วน (LF) และไขมันแยกส่วน (SF) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) และพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (BR) ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C เวลาตกผลึก 0-9 ชั่วโมง (สำหรับการตกผลึกในขั้นแรก) และที่อุณหภูมิตกผลึก 30 ± 1°C เวลาตกผลึก 0-12 ชั่วโมง (สำหรับการตกผลึกในขั้นที่สอง)

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพของไขมันที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำแบบสองขั้น

แหล่งที่มาของไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	Iodine Value* (IV)	FFA (as %oleic)
ไขมันที่ได้จากการตัดแต่งซากวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH)			
Tallow	40.33±3.33[b]	41.67±2.52[b]	0.62±0.01[b]
LF35	32.83±2.48[c]	45.96±1.18[a]	0.69±0.00[a]
SF35	48.22±1.64[a]	36.53±2.01[c]	0.53±0.03[d]
LF30	32.50±4.32[c]	46.37±3.45[a]	0.69±0.03[a]
SF30	41.50±4.04[b]	37.65±5.43[c]	0.56±0.02[c]
ไขมันที่ได้จากการตัดแต่งซากวัวพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (BR)			
Tallow	43.83±0.41[b]	42.65±0.79[b]	0.63±0.09[b]
LF35	32.83±1.33[d]	46.06±2.22[b]	0.71±0.01[a]
SF35	47.05±0.42[a]	37.38±3.73[c]	0.53±0.05[c]
LF30	32.17±0.41[d]	50.87±2.23[a]	0.72±0.01[a]
SF30	41.58±0.49[c]	42.64±3.81[b]	0.59±0.02[b]

หมายเหตุ

* หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยไขมัน 100 กรัม

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากตัวอย่างการแยกส่วนไขมันจำนวน 2 ซ้ำ

Tallow คือน้ำมันวัวเริ่มต้น, LF = น้ำมันแยกส่วน, SF = ไขมันแยกส่วน

การแยกส่วนไขมันจากไขมันวัวสองสายพันธุ์ พบว่า จุดหลอมเหลวของ LF ลดลง ในขณะที่จุดหลอมเหลวของ SF เพิ่มขึ้น เนื่องจากการแยกส่วนโดยใช้อุณหภูมิต่ำ เป็นการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิจุดหลอมเหลว กรดไขมันอิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวสูง จึงถูกแยกไปอยู่ในส่วนของ SF ทำให้ SF มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า LF และเนื่องจากเป็นการตกผลึกน้ำมันซ้ำ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนของ SF ขั้นแรก (SF35) ทำให้ SF ที่ได้จากการตกผลึกในขั้นที่ 2 (SF30) เป็นกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าใน SF ขั้นแรก จุดหลอมเหลวสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มของไขมันได้ โดยพบว่า SF ที่อุณหภูมิตกผลึกที่ 35 ± 1 °C และ 30 ± 1°C (SF35 และ SF30) เป็นกลุ่มไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (High Melting Fraction; HMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวมากกว่า 40°C SF ที่อุณหภูมิตกผลึกที่ 30 ± 1 °C (SF30) และ LF ที่อุณหภูมิตกผลึกที่ 35 ± 1 °C และ 30°C (LF35 และ LF30) เป็นกลุ่มของกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวปานกลาง

(Middle Melting Fraction; MMF) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 30-40°C (Kaylegian and Lindsay, 1994) Fatouh *et al.* (2003) รายงานว่ากรดไขมันชนิดหลักที่พบในกลุ่ม HMF เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสายโซ่ยาว ได้แก่ กรดไขมันC16:0 และC18:0 และมีกรดไขมันอิ่มตัวชนิดสายโซ่สั้น ได้แก่ C4:0 และC8:0 กรดไขมันชนิดสายโซ่ปานกลาง ได้แก่ C10:0, C14:0 และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายโซ่ยาว ได้แก่ C18:1, C18:2 และC18:3

LF มีค่าไอโอดีนสูงกว่า SF เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกระจายอยู่ใน LF มากกว่า SF (Grall and Hartel, 1992) และการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ค่าไอโอดีนของ LF มีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเป็นการนำ LF ที่ผ่านการตกผลึกที่อุณหภูมิสูงมาตกผลึกซ้ำที่อุณหภูมิต่ำลง และเป็นการแยกกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกมาอีกครั้งหนึ่ง ไขมันที่ถูกนำมาตกผลึกซ้ำจึงมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ทำให้ LF ที่ถูกแยกต่อมาจึงมีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น

ปริมาณกรดไขมันอิสระใน LF เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันวัวเริ่มต้น ในขณะที่ SF มีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่น้อยกว่า Ghotra *et al.* (2002) กล่าวว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีนในไขมันและน้ำมัน โดยในส่วนของ LF ที่มีปริมาณความไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชันสูงกว่า SF จึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระใน LF สูงกว่า SF จากการศึกษาของ วรรณา (2549) พบว่ามีความแตกต่างกันของปริมาณกรดไขมันอิสระใน SF และ LF โดยใน SF กรดไขมันอิสระมีค่าลดลง แต่ใน LF มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิตกผลึกลดลง

คุณภาพทางเคมี กายภาพของไขมันวัวแยกส่วนมีความสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำของ วรรณา (2549) พบว่ากระบวนการแยกส่วนมีผลทำให้ระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน และน้ำมัน เพิ่มขึ้นค่าไอโอดีนของ LF และ SF เพิ่มขึ้น โดย LF มีค่าไอโอดีนสูงกว่า SF จุดหลอมเหลวของ LF มีค่าลดลง เมื่อผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิที่ต่ำลง ศลินา (2547) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไขมันไก่ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ พบว่าอัตราการกวนมีผลต่อลักษณะของผลึก และปริมาณผลึกที่แยกได้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพของไขมันไก่

4.4.3 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันวัวแยกส่วน

วิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันแยกส่วน ของไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) และพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (BR) ที่อุณหภูมิตกผลึก $35 \pm 1^{\circ}C$ เวลาตกผลึก 9 ชั่วโมง และ $30 \pm 1^{\circ}C$ เวลาตกผลึก 10 ชั่วโมงตามลำดับ

เนื่องจากในการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของ LF จากไขมัน CH พบว่าค่าไอโอดีนของ LF ที่อุณหภูมิ $35 \pm 1^{\circ}C$ (LF35) ไม่แตกต่างจากค่าไอโอดีนของ LF ที่อุณหภูมิ $30 \pm 1^{\circ}C$ (LF30) และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแยกส่วนไขมัน จึงทำการแยกส่วนน้ำมันจากไขมันCH ที่อุณหภูมิ $35 \pm 1^{\circ}C$ เพียงขั้นตอนเดียว

ตารางที่ 4.6 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันวัวเริ่มต้น น้ำมันและไขมันแยกส่วนแบบสองขั้น ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C

	% Fatty acid composition							
	CHO	CHL35^{A}	CHS35^{A}	BRO	BRL35^{A}	BRS35^{A}	BRL30^{A}	BRS30^{A}
C10	0.14±0.01^{ab}	0.16±0.01^{bc}	0.13±0.01^{a}	0.17±0.01^{cd}	0.37±0.02^{g}	0.16±0.01^{abc}	0.33±0.01^{f}	0.19±0.01^{de}
C12	0.28±0.01^{c}	0.32±0.01^{d}	0.26±0.01^{c}	0.46±0.01^{f}	0.86±0.01^{h}	0.41±0.01^{e}	0.53±0.21^{g}	0.48±0.01^{f}
C14	5.34±0.01^{f}	5.06±0.01^{d}	5.24±0.03^{e}	6.72±0.01^{h}	8.48±0.28^{k}	6.77±0.01^{i}	6.73±0.01^{h}	7.32±0.03^{j}
C14:1	3.21±0.02^{h}	3.25±0.01^{h}	2.47±0.02^{f}	1.92±0.01^{d}	3.76±0.01^{j}	2.22±0.03^{e}	2.91±0.03^{g}	2.44±0.04^{f}
C15	0.97±0.01^{abc}	0.89±0.04^{a}	1.05±0.03^{cde}	1.02±0.03^{bcd}	1.10±0.01^{def}	1.08±0.06^{de}	1.02±0.02^{bcd}	1.11±0.01^{ef}
C16	22.08±0.10^{g}	21.33±0.02^{e}	24.08±0.02^{i}	20.47±0.05^{d}	19.75±0.03^{c}	21.70±0.13^{f}	19.27±0.06^{b}	20.36±0.07^{d}
C16:1	11.53±0.01^{j}	11.97±0.05^{k}	9.20±0.14^{i}	7.48±0.19^{g}	8.15±0.18^{h}	6.41±0.06^{e}	8.33±0.02^{h}	7.12±0.02^{f}
C17	2.79±0.08^{c}	2.62±0.02^{b}	3.45±0.05^{e}	3.51±0.03^{e}	2.79±0.05^{c}	3.51±0.07^{e}	2.48±0.03^{a}	3.15±0.05^{d}
C18	19.78±0.03^{b}	18.59±0.47^{a}	25.47±0.30^{e}	30.00±0.06^{g}	23.16±0.21^{d}	30.50±0.20^{g}	21.77±0.18^{c}	26.46±0.68^{f}
C18:1c	23.18±0.11^{i}	24.13±0.05^{j}	19.20±0.23^{f}	17.76±0.26^{e}	21.32±0.05^{gh}	16.90±0.08^{d}	22.00±0.42^{h}	19.48±0.03^{f}
C18:1t	6.75±0.06^{e}	7.03±0.03^{f}	6.18±0.03^{d}	6.60±0.15^{e}	6.81±0.19^{e}	6.19±0.08^{d}	7.25±0.05^{g}	7.13±0.03^{fg}
C18:2c	1.91±0.09^{e}	2.22±0.02^{f}	1.59±0.05^{c}	3.02±0.02^{g}	3.10±0.07^{g}	2.36±0.07^{f}	3.44±0.02^{h}	3.05±0.01^{g}
C18:2t	0.75±0.01^{c}	0.08±0.01^{c}	0.63±0.01^{b}	1.03±0.01^{e}	1.04±0.01^{e}	0.77±0.03^{c}	1.08±0.02^{f}	1.00±0.01^{e}
C18:3	0.51±0.01^{d}	0.64±0.03^{e}	0.44±0.02^{abcd}	0.40±0.01^{ab}	0.46±0.07^{abcd}	0.37±0.02^{a}	0.73±0.06^{f}	0.41±0.01^{abc}
C20:1	0.63±0.01^{e}	0.72±0.03^{f}	0.52±0.03^{d}	0.45±0.01^{c}	0.51±0.03^{d}	0.40±0.01^{b}	0.63±0.02^{e}	0.50±0.01^{d}
ω6/ω3	5.22±0.01^{ab}	4.65±0.20^{a}	5.00±0.16^{ab}	10.14±0.27^{f}	9.09±1.21^{cde}	8.36±0.51^{c}	6.19±0.59^{b}	9.77±0.22^{de}
Σ_{USFA}	48.48±0.09^{j}	50.75±0.15^{k}	40.25±0.06^{f}	38.67±0.25^{e}	45.17±0.18^{h}	35.63±0.14^{d}	46.40±0.06^{i}	41.15±0.08^{g}
Σ_{SFA}	51.51±0.09^{b}	49.24±0.15^{a}	59.75±0.06^{f}	61.32±0.25^{g}	54.82±0.18^{d}	64.37±0.14^{h}	53.60±0.06^{c}	58.84±0.08^{e}
Σ_{PUFA}	3.17±0.09^{e}	3.64±0.07^{f}	2.67±0.06^{c}	4.45±0.05^{g}	4.60±0.15^{g}	3.50±0.01^{f}	5.26±0.02^{i}	4.47±0.01^{g}
Σ_{MUFA}	45.31±0.00^{j}	47.11±0.08^{k}	37.58±0.00^{h}	34.22±0.30^{e}	40.57±0.02^{i}	32.12±0.15^{d}	41.13±0.03^{i}	36.68±0.06^{g}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการแยกส่วนไขมันวัวจำนวน 2 ซ้ำ

CH = ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป, BR = ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน, อักษรตัวที่สาม หมายถึง ส่วนของไขมัน โดย O = ไขมันวัวเริ่มต้น, L = น้ำมันแยกส่วน, S = ไขมันแยกส่วน โดยมี ^{A} เป็นอุณหภูมิในการแยกส่วน ที่ 35 และ 30°C

ผลจากการวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty acid composition) ของน้ำมันและไขมันวัวแยกส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ($p \leq 0.05$) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันวัวทั้งสองสายพันธุ์ คือ ไมริสติก (C14:0), ไมริสโตเลอิก (C14:1), ปาล์มมิติก (C16:0), พามิโตเลอิค

(C16:1), เฮปตะเดคาโนอิก(C17:0), สเตียริก (C18:0),โอเลอิค (C18:1c), อิไลดิก(C18:1t) และลิโนเลอิค (C18:2)

กรดไขมันที่เด่นชัดของน้ำมัน CH คือ พามิโตโอเลอิค (C16:1) และ โอเลอิค (C18:0) ในปริมาณที่สูง คือ 11.53±0.01% และ 23.18±0.11% ตามลำดับ และมีปริมาณของกรดไขมันสเตียริก (C18:0) ต่ำที่สุด คือ 19.78±0.03% ในขณะที่น้ำมัน BR มีกรดไขมันไมริสติก (C14:0) และลิโนเลอิค (C18:2) ในปริมาณที่สูงที่สุด คือ 6.72±0.01% และ 3.02±0.02% ตามลำดับ

การแยกส่วนไขมันที่อุณหภูมิตกผลึกต่ำ มีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง พบว่า LF จากไขมัน CH (CHL35) มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงประมาณ 2.27% นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวของน้ำมันเพิ่มขึ้น 1.8% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนเพิ่มขึ้น 0.47% ขณะที่ SF (CHS35) ให้ผลตรงกันข้าม คือ ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น 8.24% และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวลดลง 7.73% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนลดลง 0.5% ส่วน LF ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C จากไขมัน BR (BRL35 และ BRL30) พบว่าปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว ลดลง 6.50% และ 7.72% ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว ยังเพิ่มขึ้น 6.35% และ 6.91% ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนเพิ่มขึ้น 0.15% และ 0.81%ตามลำดับ ขณะที่ SF (BRS35 และ BRS30) ให้ผลตรงกันข้าม คือ ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น 3.05 % และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวลดลง 2.10 % กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนลดลง 0.95 % กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันจากไขมันวัวสองสายพันธุ์แตกต่างกันเนื่องจากสายพันธุ์และชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยงดู Estévez *et al*, 2006 ระบุว่าแหล่งของวัตถุดิบ สายพันธุ์ และฤดูกาลมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีคุณภาพที่แตกต่างกัน

4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วนเป็นส่วนผสม

เลือกใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CH) ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C มาใช้ทดแทนมันแข็งในการผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ เนื่องจากน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปจากการแยกส่วนเพียงขั้นตอนเดียว มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่สุด คือ 50.75 ± 0.15% (ตารางที่ 4.6) ทำการผลิตจำนวน 5 สูตร โดย ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (CHL35), ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (CHL35) ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก), ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิตกผลึก 35 ± 1°C (CHS35) ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก), ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมู และ ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสม

เลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการเจียว โดยในสูตร ML4 และ ML5 ได้มีการปรับอัตราส่วนเพื่อให้มีปริมาณไขมันเท่ากับ 25 ± 1%

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันในผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ที่แตกต่างกัน จำนวน 5 สูตร ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์จำนวน 5 สูตร

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
Moisture	58.40±0.31^{b}	58.45±0.36^{b}	58.32±0.51^{b}	59.27±0.16^{a}	58.67±0.25^{b}
Protein^{ns}	14.41±0.14	14.65±0.39	14.47±0.08	14.07±0.20	14.13±0.29
Fat^{ns}	24.66±0.27	24.42±0.27	24.70±0.33	24.12±0.45	24.61±0.16
Ash^{ns}	2.53±0.01	2.48±0.16	2.51±0.17	2.54±0.01	2.59±0.03
pH^{ns}	6.01±0.01	6.00±0.01	5.98±0.01	6.02±0.04	5.99±0.07

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ พบว่า ML4 มีความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (ML5) และไขมันวัวแยกส่วนเล็กน้อย (ML1-ML3) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมันหมูที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นมันแข็งซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 16.3 ± 0.1% สูงกว่าของไขมันวัว (14.3 ± 0.1%) ไม่พบความแตกต่างของปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และpH ของผลิตภัณฑ์ ทั้ง 5 สูตร เนื่องจากมีการปรับอัตราส่วนของส่วนผสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมัน 25% จากการลดปริมาณเนื้อวัวลง ซึ่งมีผลให้ปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า ไม่แตกต่างกันระหว่างสูตรทดลอง ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน 14.07-14.65 % ไขมัน 24.12-24.70 % เถ้า 2.48-2.59 % และ pH หลังการอบ 5.98-6.02 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันในผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร

	% Fatty acid composition				
	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
C10	0.15±0.01^{a}	0.09±0.01^{b}	0.07±0.01^{b}	-	0.13±0.01^{a}
C12	0.34±0.03^{a}	0.17±0.01^{c}	0.14±0.01^{c}	-	0.27±0.01^{b}
C14	5.08±0.03^{b}	2.64±0.06^{d}	2.75±0.02^{c}	2.33±0.02^{e}	5.33±0.01^{a}
C14:1	3.24±0.01^{a}	1.61±0.01^{b}	1.25±0.03^{b}	-	3.21±0.01^{a}
C15	0.86±0.04^{b}	0.43±0.02^{d}	0.53±0.01^{c}	-	0.95±0.02^{a}
C16	21.31±0.02^{c}	21.04±0.04^{d}	22.34±0.06^{a}	14.63±0.01^{e}	22.09±0.10^{b}
C16:1	11.94±0.03^{a}	6.27±0.01^{c}	4.91±0.01^{d}	4.33±0.02^{e}	11.51±0.02^{b}
C17	2.61±0.01^{b}	1.30±0.01^{d}	1.72±0.00^{c}	0.42±0.01^{e}	2.80±0.01^{a}
C18	18.56±0.03^{b}	10.47±0.02^{e}	13.94±0.02^{d}	14.84±0.03^{c}	19.76±0.03^{a}
C18:1c	24.12±0.01^{d}	34.12±0.01^{a}	31.64±0.01^{b}	30.24±0.01^{c}	23.15±0.04^{e}
C18:1t	7.01±0.02^{a}	3.49±0.02^{c}	3.12±0.05^{d}	-	6.73±0.03^{b}
C18:2c	2.23±0.01^{d}	15.20±0.01^{b}	7.43±0.01^{c}	29.38±0.06^{a}	1.94±0.05^{e}
C18:2t	0.08±0.01^{d}	0.04±0.01^{e}	0.32±0.01^{c}	0.38±0.00^{b}	0.76±0.01^{a}
C18:3	0.63±0.01^{d}	1.13±0.01^{b}	1.01±0.01^{c}	2.78±0.01^{a}	0.49±0.02^{e}
C20:1	0.73±0.01^{c}	1.02±0.01^{a}	0.89±0.02^{b}	0.67±0.03^{d}	0.62±0.01^{d}
ω6/ω3	4.20±0.63^{e}	13.49±0.16^{a}	7.63±0.08^{c}	10.66±0.13^{b}	5.47±0.36^{d}
ΣUSFA	50.35±0.56^{c}	62.38±0.72^{b}	50.15±0.54^{c}	67.60±0.34^{a}	48.44±0.06^{d}
ΣSFA	49.64±0.57^{b}	37.62±0.72^{c}	49.85±0.54^{b}	32.40±0.34^{d}	51.55±0.06^{a}
ΣPUFA	3.29±0.49^{d}	15.86±0.70^{b}	8.32±0.60^{c}	32.67±0.13^{a}	3.20±0.04^{d}
ΣMUFA	47.05±0.08^{a}	46.51±0.02^{a}	41.82±0.06^{c}	34.93±0.47^{d}	45.24±0.09^{b}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

ผลการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์มีทโลฟ พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร คือ ปาล์มมิติก (C16:0) สเตียริก (C18:0) ไมริสติก (C14:0) เฮปตะเดคาโนอิก(C17:0) พามิโตเลอิค (C16:1) โอเลอิค (C18:1c) อิไลดิก(C18:1t) ลิโนเลอิค (C18:2) และไมริสโตเลอิก (C14:1) โดยผลิตภัณฑ์มีกรดไขมันปาล์มมิติก (C16:0) สเตียริก (C18:0) และ โอเลอิค (C18:1c) ในปริมาณที่สูง ML1 และ ML5 มี กรดไขมันไมริสติก (C14:0) ไมริสโตเลอิก (C14:1) พามิโตโอเลอิค (C16:1) และอิไลดิก(C18:1t) ในปริมาณที่สูง แต่มีกรดไขมัน โอเลอิค (C18:1c) และลิโนเลอิค (C18:2) ในปริมาณที่ต่ำ ML4 มีกรดไขมันลิโนเลอิค (C18:2) ในปริมาณที่สูงที่สุด และกรดไขมันปาล์มมิติก (C16:0) ในปริมาณที่ต่ำที่สุด แต่ไม่พบกรดไขมันบางชนิด คือ อิไลดิก(C18:1t) และ ไมริสโตเลอิค (C14:1) ML2 มีกรดไขมันโอเลอิค (C18:1c) ในปริมาณที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรอื่นๆ และมีปริมาณของกรดไขมันสเตียริก (C18:0) ต่ำที่สุด ML3 มีปริมาณกรดไขมันสเตียริก (C16:0) สูง และปริมาณของอิไลดิก(C18:1t) ต่ำที่สุด การทดแทนมันหมูแข็งด้วยไขมันวัวแยกส่วน สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับ ผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และการใช้น้ำมันรำข้าวร่วมกับน้ำมันแยกส่วน (ML2) มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นถึง 23.89% และยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วน (ML3) มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันแยกส่วน (ML1) นอกจากนี้การใช้ไขมันแยกส่วนร่วมกับการใช้น้ำมันรำข้าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ ลิโนเลอิค (C18:2) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รวมทั้งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวซึ่งมีผลช่วยในการลดระดับ LDL คอเลสเตอรอล (Chang et al., 2005) ในปริมาณที่มากกว่า ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันหมูแข็ง (ML4) ประมาณ 1.81% นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วน (ML1 และ ML2) มีกรดไขมันสายกลาง (C10-C14) ที่ช่วยส่งเสริมให้ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดเพิ่มสูงขึ้น เช่น ไมริสติก (C14:0) (Temme *et al.*, 1997) ในปริมาณที่ต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวที่ไม่ผ่านการแยกส่วน (ML5) จึงชี้ให้เห็นว่าการใช้ไขมันวัว แยกส่วนสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ การใช้ไขมันวัวแยกส่วนมีผลให้อัตราส่วนของ ω6 / ω3 มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ ML1 ที่ใช้น้ำมันแยกส่วน มีอัตราส่วนของ ω6 /ω3 เท่ากับ 4.20±0.63% ในขณะที่ ML5 ที่ใช้ไขมันที่ไม่ได้ผ่านการแยกส่วน มีอัตราส่วนของ ω6 /ω3 เท่ากับ 5.47±0.36% การใช้ไขมันวัวแยกส่วนร่วมกับน้ำมันรำข้าว (ML2) มีผลให้อัตราส่วนของ ω6 /ω3 เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราส่วนของ ω6 /ω3 ที่ดีควรมีค่าไม่เกิน 4 (Ayo *et al.*, 2007) ML1 ซึ่งมีอัตราส่วน ω6 /ω3 เท่ากับ 4.20±0.63% เมื่อมีการเติมน้ำมันรำข้าว (ML2) อัตราส่วนของ ω6 /ω3 เพิ่มขึ้นเป็น 13.49 ± 0.16% เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีปริมาณของกรดไขมันที่เป็น ω6 เช่น ลิโนเลอิค (C18:2c) ในปริมาณที่สูง คือ 28.1% (Chatimakorn *et al.*, 2008) ทำให้อัตราส่วน ω6 /ω3 มีค่าเพิ่มขึ้น

4.5.2 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ด้าน สี ความคงตัวของอิมัลชัน และค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต มีทโลฟ โดยใช้ ไขมันต่างๆกัน ทั้ง 5 สูตร ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จำนวน 5 สูตร

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
Color					
L* (lightness)	73.58±0.38^{c}	73.42±0.29^{c}	73.44±0.33^{c}	76.43±0.29^{b}	80.38±0.27^{a}
a* (redness)	7.82±0.15^{b}	7.69±0.14^{b}	7.68±0.23^{b}	8.05±0.06^{a}	6.32±0.08^{c}
b* (yellowness)	14.40±0.17^{a}	14.51±0.20^{a}	12.11±0.07^{d}	13.61±0.04^{b}	13.15±0.07^{c}
Cooking loss^{ns}	2.11±0.24	2.07±0.11	2.11±0.14	1.93±0.05	2.09±0.27
Emulsion stability^{ns}	1.47±0.21	1.51±0.25	1.49±0.32	1.49±0.23	1.45±0.32

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ชนิดของไขมันที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดย ML4 และ ML5 มีค่าความสว่าง (L*) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน เนื่องจาก ในการผลิต ML4 และ ML5 มีการลดเนื้อวัวลง และเพิ่มส่วนของเนื้อเยื่อไขมัน เพื่อให้ได้ปริมาณไขมัน 25% จึงทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ใช้มีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ ML5 จะมีค่าสีแดง (a*) ต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน เนื่องจากส่วนของไขมันวัวที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นส่วนของไขมันที่ได้จากการตัดแต่งซากซึ่งมีสีขาว และมีการลดอัตราส่วนของเนื้อวัว เพื่อปรับอัตราส่วนของไขมันให้เท่ากัน คือ 25% โดยน้ำหนัก จึงมีผลให้ค่าสีแดงของ ML5 มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน และมันหมูแข็ง ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร ด้านค่าการสูญเสียขณะหุงต้ม และความคงตัวของอิมัลชัน แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนชนิดของไขมันไม่มีผลต่อการเกิดอิมัลชัน

4.5.3 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ ที่ผลิตโดยใช้ไขมันต่างๆกันทั้ง 5 สูตร โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
Hardness (N)	75.54±2.51^{b}	70.97±0.22^{c}	97.65±3.07^{a}	52.41±3.36^{d}	51.78±3.27^{d}
Adhesiveness (J) ^{ns}	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.01	0.06±0.00
Cohesiveness ^{ns}	0.51±0.01	0.51±0.01	0.51±0.02	0.51±0.00	0.51±0.01
Springiness (mm) ^{ns}	0.84±0.05	0.87±0.02	0.84±0.04	0.86±0.01	0.89±0.08
Gumminess (N)	40.02±0.68^{b}	36.19±0.64^{c}	49.83±2.82^{a}	26.57±1.95^{d}	26.27±2.29^{d}
Chewiness (N x mm)	28.63±2.49^{c}	31.43±1.38^{b}	41.77±0.90^{a}	22.94±1.64^{c}	25.15±2.35^{d}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิตมีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

ผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตรมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้าน hardness, gumminess และchewiness ที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดย ML3 มีค่า hardness, gumminess และ chewiness สูงกว่า ML1 เนื่องจากไขมันแยกส่วน (SF) มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวอยู่มาก และมีจุดหลอมเหลวสูง เมื่อนำมาผลิตผลิตภัณฑ์มีทโลฟ อุณหภูมิในการผลิตที่ต่ำ (ไม่เกิน 12°C) ทำให้ไขมันแยกส่วนยังคงเป็นของแข็งอยู่ จึงเกิดอิมัลชันกับโปรตีนได้ไม่ดีเท่าใน ML1 และ ML2 ที่ใช้น้ำมันแยกส่วน (LF) ทำให้เมื่อนำมาทดสอบไขมันแยกส่วนใน ML3 ยังคงเป็นของแข็งอยู่ จึงทำให้เนื้อสัมผัสหยาบ และมีค่าความแข็งสูง ซึ่งเป็นผลมาจากจุดหลอมเหลวของไขมันแยกส่วนที่เป็นองค์ประกอบใน ML3 มีจุดหลอมเหลวสูง (48.22 ± 1.64°C จากตารางที่ 4.5) ML4 และ ML5 มีค่า hardness, gumminess และ chewiness ต่ำกว่าของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ไขมันแยกส่วน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร มีการลดปริมาณของเนื้อวัว จึงทำให้มีปริมาณของ ไมโอฟิบริลาโปรตีนที่สามารถเกิดอิมัลชันกับไขมันในปริมาณที่

น้อยกว่า ทำให้ความแข็งและความแน่นของเนื้อลดลง Bloukas และคณะ (1997) พบว่าการใช้น้ำมันพืช เช่นน้ำมันมะกอก จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมัก โดยไส้กรอกจะมีความนุ่มมากว่าการใช้ มันแข็ง

4.5.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ ที่ผลิตโดยใช้ไขมันต่างๆกัน ทั้ง 5 สูตร ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 สูตร

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
สี	5.63±1.27^{a}	5.38±0.90^{ab}	3.15±1.53^{c}	4.93±1.16^{b}	3.20±1.34^{c}
ลักษณะปรากฏ	5.80±1.32^{a}	5.00±1.47^{b}	3.65±1.72^{c}	4.78±1.29^{b}	3.55±1.38^{c}
เนื้อสัมผัส	5.40±1.01^{a}	4.98±1.49^{a}	2.98±2.91^{b}	5.10±1.28^{a}	3.25±1.72^{b}
ความชุ่มฉ่ำ	5.05±1.36^{a}	4.95±1.04^{a}	2.68±1.33^{c}	5.20±1.32^{a}	4.08±1.61^{b}
กลิ่นรส	5.63±0.98^{a}	5.10±1.19^{ab}	3.93±1.72^{c}	4.65±1.49^{b}	3.38±1.51^{c}
การยอมรับโดยรวม	5.63±1.27^{a}	5.38±0.90^{ab}	3.15±1.53^{c}	4.93±1.16^{b}	3.20±1.34^{c}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร ด้วยการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ด้วย 7-point Hedonic scale คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองพบว่า ผู้ทดสอบชอบ ML1 มากที่สุด โดยผู้ทดสอบชอบสีของผลิตภัณฑ์ ML1 และ ML2 มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ML1 และ ML2 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด แต่ผู้ทดสอบไม่ชอบคุณลักษณะด้าน สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ความชุ่มฉ่ำ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ของ ML3 และ ML5 เนื่องจากใน ML3 มีการใช้ไขมันแยกส่วน (SF) ทดแทนมันแข็ง ไขมันแยกส่วนมีลักษณะเป็น

ของแข็ง มีจุดหลอมเหลวสูง จึงทำให้เมื่อนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ ผู้ทดสอบสามารถมองเห็นเม็ดไขมันได้อย่างชัดเจน และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสหยาบ ไม่ชุ่มฉ่ำ สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีสีไม่สม่ำเสมอ บริเวณเม็ดไขมันจะมีสีขาวต่างจากบริเวณโดยรอบ ผู้ทดสอบจึงไม่ค่อยชอบผลิตภัณฑ์ในสูตรนี้ ML5 มีการใช้มันวัวในการผลิต แต่เพื่อปรับอัตราไขมันให้เท่ากัน คือ 25% จึงต้องทำการลดเนื้อวัวลง เพิ่มส่วนของเนื้อเยื่อไขมัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่นิ่มเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และเนื่องจากมีการใช้เนื้อเยื่อไขมันในปริมาณสูงจึงทำให้มีกลิ่นของไขมันซึ่งผู้ทดสอบไม่ชอบ ทำให้คะแนนความชอบที่ผู้ทดสอบให้ใน ML5 มีค่าต่ำ

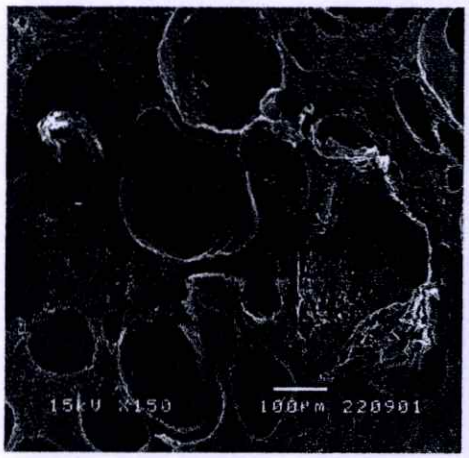
4.5.5 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายในแบบ 3 มิติ จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) มีการกำจัดไขมันออกจากตัวอย่างด้วยอะซิโตน โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จึงเห็นเป็นโพรง โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ หรือ รวงผึ้ง ประกอบด้วยเม็ดไขมันกระจายและฝังตัวอยู่ในระบบอิมัลชัน เม็ดไขมันมีลักษณะเป็นทรงกลมขอบผิวเรียบ เม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วน(ML1 (รูป A และ B) และ ML2 (รูป C และ D)) มีขนาดเล็ก และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแมทริกซ์โปรตีน (protein matrix) มากกว่าใน ML5 (รูป I และ J) ที่ใช้ไขมันที่ไม่ผ่านการแยกส่วน และ ML3 (รูป E และ F) ที่ใช้ไขมันแยกส่วน เนื่องจากขั้นตอนการสับผสมการใช้น้ำมันแยกส่วนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำทำให้เม็ดไขมันสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในระบบอิมัลชันได้ดีกว่าการใช้มันแข็งที่มีความสามารถในการแทรกตัว และกระจายตัวของเม็ดไขมันไม่ดีเท่าการใช้น้ำมันแยกส่วน จากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเม็ดไขมันใน ML1 และ ML2 ทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้ถึงเนื้อสัมผัสที่นิ่ม ชุ่มฉ่ำ แต่ใน ML3 ซึ่งใช้ไขมันแยกส่วนมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงมีผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากกว่าของ ML1 และ ML2 เม็ดไขมันใน ML4 มีขนาดที่เล็ก และกระจายตัวได้ดี จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของ ML4 (รูป G และ H) มีความนิ่ม และชุ่มฉ่ำ มากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรอื่น

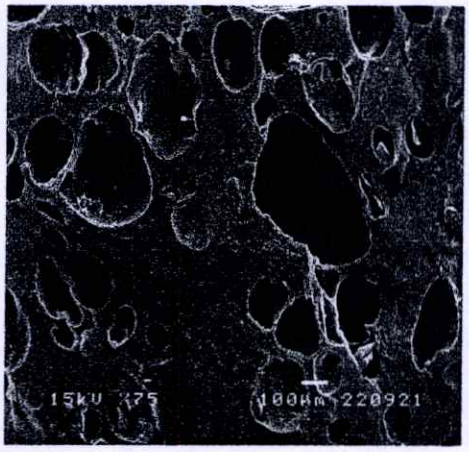
บริเวณผิวรอบนอกของเม็ดไขมันจะมีชั้นฟิล์มบางๆ เคลือบเม็ดไขมันอยู่ ชั้นฟิล์มที่เคลือบคือไมโอฟิบริลาโปรตีนจากเนื้อสัตว์ซึ่งละลายได้ใน สารละลายเกลือ ชั้นฟิล์มเกิดจากขั้นตอนการสับผสม และชั้นฟิล์มช่วยป้องกันการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน (Pearson and Gillett, 1996; Babut, 1995) ซึ่งลักษณะ และระดับการเกิดอิมัลชันของไขมันขึ้นกับคุณภาพ และคุณสมบัติของโปรตีน องค์ประกอบ และชนิดของไขมัน อุณหภูมิระหว่างการเกิดอิมัลชัน และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ส่วนของโปรตีนมีลักษณะเชื่อมกันเป็นโครงร่างที่ไม่แน่นอน เม็ดไขมัน และโมเลกุลของน้ำจะจับตัวกับโครงร่างโปรตีนของอิมัลชัน (Morin *et al.*, 2004) โครงร่างโปรตีนของ ML5 มีความแข็งแรง

น้อยกว่าผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องจาก ML5 มีโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจากเนื้อสัตว์ในปริมาณที่น้อยกว่า ขนาดของเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัว (ML1, ML2, ML3 และ ML5) มีขนาดที่ใหญ่กว่าเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมู (ML4) และโครงสร้างจุลภาคของ ML4 (รูป K) แสดงให้เห็นผลึกของเกลือ เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนผ่านการสกัดไขมันและน้ำออกจากตัวอย่างซึ่งเป็นเหตุผลที่เกลือสูญเสียการละลาย และมองเห็นเป็นผลึกของเกลือในโครงสร้างอิมัลชันได้ชัดเจน ซึ่งผลึกของเกลือแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเกลือ (Larrea *et al.*, 2007)

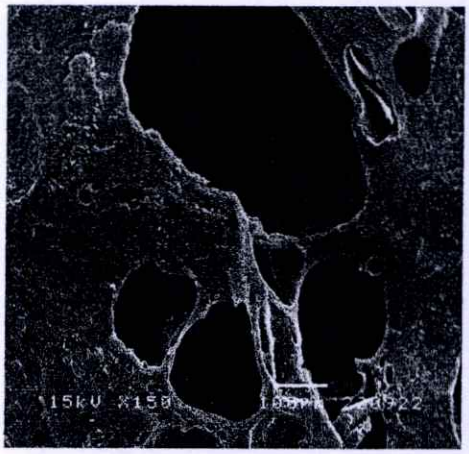
A.



B.



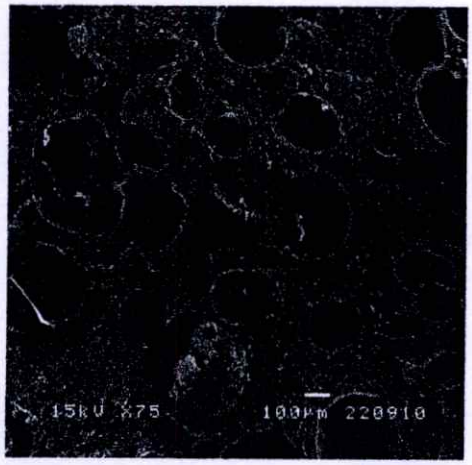
C.



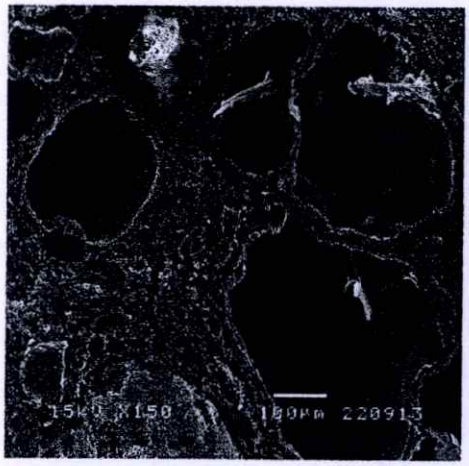
D.

รูปที่ 4.7 Scanning Electron Micrographs (15 kV) ของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

A. ML1 (x 75), B. ML1 (x 150), C. ML2 (x 75), D. ML2 (x 150)

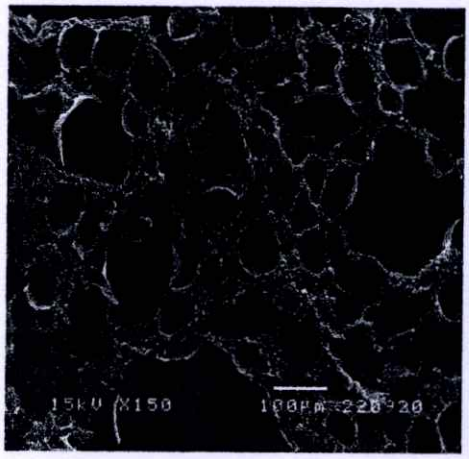


E.

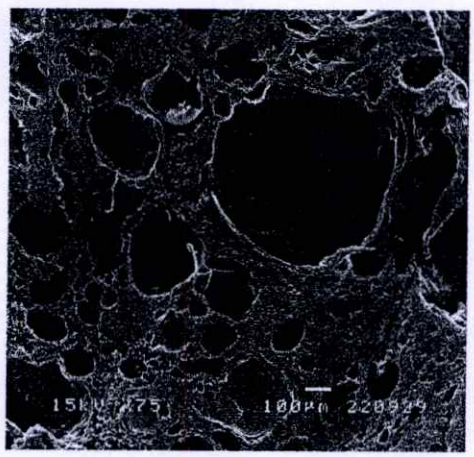


F.

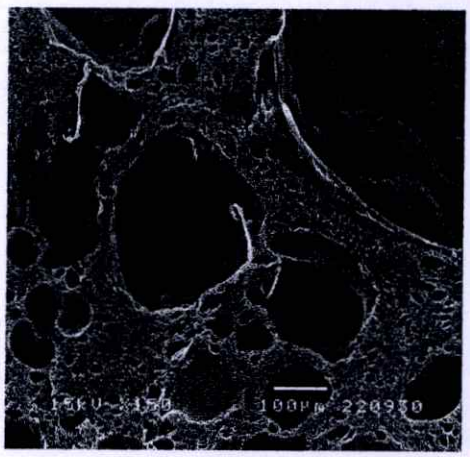
G.



H.



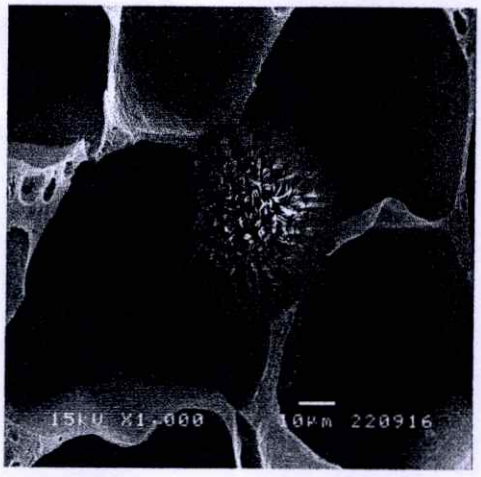
I.



J.

รูปที่ 4.7 (ต่อ) Scanning Electron Micrographs (15 kV) ของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

E. ML3 (x 75), F. ML3 (x 150), G. ML4 (x 75), H. ML4 (x 150), I. ML5 (x 75), J. ML5 (x 150),



K.

รูปที่ 4.7 (ต่อ) Scanning Electron Micrographs(15 kV) ของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ

K. ML4 (x 1000)

4.5.6 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1°C นาน 28 วัน

วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1 °C ผลการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ Aerobic Plate count และ Psychrotrophic count ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 2 ± 1 °C เป็นระยะเวลา 0-28 วัน แสดงในตารางที่ 4.12 – 4.14

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์(Aerobic Plate count, Psychrotrophic count)ของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1°C เป็นระยะเวลา 0 - 28 วัน

	Log CFU/g				
	0 Days	7 Days	14 Days	21 Days	28 Days
Aerobic Plate counts (APC)					
ML1	2.55±0.54^{a}	5.05±0.17^{b}	7.51±0.25^{c}	8.13±0.18^{d}	8.40±0.04^{d}
ML2	2.47±0.03^{a}	4.83±0.29^{b}	7.22±0.16^{c}	8.20±0.25^{d}	8.46±0.04^{d}
ML3	2.53±0.08^{a}	4.70±0.32^{b}	7.19±0.21^{c}	8.66±0.23^{d}	9.16±0.28^{e}
ML4	2.48±0.07^{a}	4.41±0.38^{b}	7.16±0.22^{c}	8.04±0.24^{d}	8.66±0.20^{e}
ML5	2.14±0.12^{a}	3.73±0.32^{b}	6.78±0.35^{c}	7.74±0.07^{d}	8.53±0.16^{e}
Psychrotrophic counts (PC)					
ML1	< 10	1.94±0.04^{a}	2.63±0.01^{b}	3.68±0.08^{c}	4.79±0.17^{d}
ML2	< 10	2.27±0.04^{a}	3.22±0.05^{b}	3.35±0.11^{b}	5.65±0.10^{c}
ML3	< 10	2.23±0.07^{a}	3.68±0.06^{b}	4.45±0.13^{c}	6.25±0.11^{d}
ML4	< 10	2.38±0.07^{a}	3.25±0.18^{b}	4.27±0.07^{c}	6.52±0.13^{d}
ML5	< 10	1.93±0.04^{a}	2.43±0.05^{b}	3.51±0.10^{c}	4.67±0.06^{d}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

< 10 คือ ไม่พบจุลินทรีย์เจริญในจานเพาะเชื้อ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 2 ± 1°C ยังสามารถอำนวยการเจริญของเชื้อ Aerobic plate count (APC) และ Psychrotrophic count (PC) ทั้งนี้จำนวน APC และ PC เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น วิธีการประเมิน Aerobic plate count (APC) เป็นวิธีวิเคราะห์ปริมาณ จุลินทรีย์ที่ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต ในช่วง 0-14 วัน จำนวนจุลินทรีย์ APC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจเนื่องจากอยู่ใน Exponential Phase ซึ่งจุลินทรีย์เกิดการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากวันที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์จะ

ค่อนข้างคงที่ ในช่วง Stationary Phase เนื่องจากมีอัตราการเกิดและอัตราการตายที่สมดุลกัน จำนวนจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร ไม่แตกต่างกันที่ช่วงเวลาเดียวกัน ในขณะที่วิธีการประเมิน Psychrotrophic count (PC) เป็นวิธีวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิต่ำ (-5 ถึง 5°C) เจริญเติบโตได้ช้ากว่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ML1 และ ML5 มีจำนวนจุลินทรีย์ PC ที่ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น Davatkal และคณะ (2004) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ เนื้อควาย ที่อายุการเก็บนาน 0-20 วัน พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ APC และ PC เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บและการเพิ่มตับและ แครอทไม่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ APC และ PC ในผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาน่าจะมาจากหลังการอบ (Post Contamination)

ตารางที่ 4.13 ปัจจัยของเวลาต่อค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์

	TBARS (mg malonaldehyde/ 1 kg sample)				
	0 Days	7 Days	14 Days	21 Days	28 Days
ML1	0.17±0.01^{e}	0.26±0.00^{d}	0.61±0.03^{c}	1.21±0.00^{b}	1.61±0.03^{a}
ML2	0.05±0.00^{e}	0.10±0.01^{d}	0.26±0.01^{c}	0.56±0.01^{b}	0.97±0.00^{a}
ML3	0.03±0.00^{e}	0.07±0.02^{d}	0.19±0.02^{c}	0.51±0.03^{b}	0.87±0.01^{a}
ML4	0.19±0.00^{e}	0.29±0.01^{d}	0.60±0.03^{c}	1.25±0.02^{b}	1.65±0.01^{a}
ML5	0.14±0.02^{e}	0.27±0.01^{d}	0.57±0.01^{c}	1.19±0.01^{b}	1.59±0.02^{a}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) เพื่อประเมินการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการตรวจวัดปริมาณ 2°- oxidation product คือ malonaldehyde ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สารประกอบ malonaldehyde ทำปฏิกิริยากับ Thiobarbituric acid ได้สารประกอบเชิงซ้อนได้สีชมพูแดง (Fennema *et al.*, 2008) วัดความเข้มของสีซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ malonaldehyde ในอาหารได้โดยวิธี Spectrophotometry กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและเร็วกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว ซึ่งจากการทดลองจะพบว่า

ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับสองปัจจัย คือ ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อพิจารณาปัจจัยของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า TBARS พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ค่า TBARS ของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่แทรกซึมผ่านผิวของภาชนะบรรจุได้มากขึ้น ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้น และในวันที่ 7 ซึ่งเป็นวันที่ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคไม่รู้สึกถึงกลิ่นหืนของไขมัน แสดงให้เห็นว่าที่ค่า TBARS น้อยกว่า 0.29 ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกถึงการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4.16 ปัจจัยของสูตรต่อค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์

	TBARS (mg malonaldehyde/ 1 kg sample)				
	0 Days	7 Days	14 Days	21 Days	28 Days
ML1	0.17 ± 0.01^{b}	0.26 ± 0.00^{c}	0.61 ± 0.03^{a}	1.21 ± 0.00^{b}	1.61 ± 0.03^{b}
ML2	0.05 ± 0.00^{d}	0.10 ± 0.01^{d}	0.26 ± 0.01^{b}	0.56 ± 0.01^{c}	0.97 ± 0.00^{c}
ML3	0.03 ± 0.00^{e}	0.07 ± 0.02^{e}	0.19 ± 0.02^{c}	0.51 ± 0.03^{d}	0.87 ± 0.01^{d}
ML4	0.19 ± 0.00^{a}	0.29 ± 0.01^{a}	0.60 ± 0.03^{a}	1.25 ± 0.02^{a}	1.65 ± 0.01^{a}
ML5	0.14 ± 0.02^{c}	0.27 ± 0.01^{b}	0.57 ± 0.01^{a}	1.19 ± 0.01^{b}	1.59 ± 0.02^{b}

หมายเหตุ

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

± standard deviation จากการผลิต มีทโลฟ แต่ละสูตร สูตรละ 3 ซ้ำ

ML1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C

ML2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมัน CH ที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML3 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมัน CHที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว(1:1 โดยน้ำหนัก)

ML4 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันแข็งหมูเป็นส่วนผสม

ML5 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันเปลว CH เป็นส่วนผสม

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ พบว่า สูตรที่ไม่มีน้ำมันรำข้าวในส่วนผสม ML4 มีค่า TBARS สูงกว่า ML1 และ ML5 เนื่องจากไขมันที่ใช้ใน ML4 เป็นมันหมูแข็งที่มีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันแยกส่วนใน ML1 และ ไขมัน CH ที่ไม่ผ่านการแยกส่วนใน ML5 จึงสามารถเกิดการออกซิเดชันได้ดีกว่า ML1 และ ML5 แต่ในสูตรที่มีน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนผสม พบว่า ค่า TBARS ของ ML3 ต่ำกว่า ML2 เนื่องจากไขมันแยกส่วนที่เป็นองค์ประกอบใน ML3 มีปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณที่สูงกว่าใน ML2 จึงสามารถเกิดการออกซิเดชันได้ช้ากว่าใน ML2 และเมื่อพิจารณาผลของน้ำมันรำข้าวในผลิตภัณฑ์ พบว่า ค่า TBARS ของ ML2 ต่ำกว่า ML1 แสดงว่าน้ำมันรำข้าวที่เติมในผลิตภัณฑ์ ML2 มีส่วนช่วย

ให้น้ำมันแยกส่วนใน ML2 เกิดการออกซิเดชันได้ช้าลง เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ ได้แก่ วิตามินอีในกลุ่มโทโคฟีรอล และ โอริซานอล ที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี จึงทำให้ค่า TBARS ของ ML2 มีค่าต่ำกว่า ML1 ดังนั้นการเติมน้ำมันรำข้าวสามารถช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในด้านการหืนได้ Rajendran และคณะ (2006) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ นัตเก็ต (nugget) เนื้อควาย นาน 0-30 วันพบว่า นัตเก็ตที่มีการเติมน้ำมันพืชและไขมันควาย มีค่า TBARS สูงกว่า นัตเก็ตที่ไม่มีการเติมน้ำมันพืชและไขมันควาย เนื่องจาก นักเก็ตที่มีการเติมน้ำมันพืชและไขมันควาย มีปริมาณไขมันที่มากกว่าในนัตเก็ตที่ไม่มีการเติมน้ำมันพืชและไขมันควาย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปและพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน ให้ปริมาณน้ำมันจากการเจียว ค่าไอโอดีน และปริมาณกรดไขมันอิสระที่ไม่แตกต่างกัน แต่จุดหลอมเหลวของพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปต่ำกว่าพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันวัวทั้งสองสายพันธุ์ คือ ไมริสติก (C14:0), ไมริสโตเลอิก (C14:1), ปาล์มมิติก (C16:0), พามิโตโอเลอิค (C16:1), เฮปตะเดคาโนอิก(C17:0), สเตียริก (C18:0),โอเลอิค (C18:1c), อิไลดิก(C18:1t) และลิโนเลอิค (C18:2) ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปมีปริมาณของกรดไขมันปาล์มมิติก (C16:0) และโอเลอิค (C18:1) ในปริมาณที่สูง คือ 22.08±0.10% และ 23.18±0.11% ตามลำดับ ไขมันวัวพันธ์ลูกผสมบราห์มันมีกรดไขมันสเตียริก (C18:0) ในปริมาณที่สูงที่สุด คือ 30.00±0.06% แยกส่วนไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปและพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน ที่ 2 ระดับอุณหภูมิ คือ 35 ± 1°C และ 30 ± 1°C ปริมาณไขมันแข็งแยกส่วนของพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป คือ 23.02 ± 8.02% และ 21.70 ± 1.75% ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน ปริมาณไขมันแยกส่วน เท่ากับ 54.37 ± 7.18% และ 3.88 ± 0.52% ตามลำดับ การแยกส่วนมีผลให้จุดหลอมเหลวของน้ำมันแยกส่วนลดลง ในขณะที่จุดหลอมเหลวของไขมันแยกส่วนเพิ่มขึ้น และเนื่องจากเป็นการตกผลึกน้ำมันซ้ำ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกแยกออกมาอยู่ในส่วนของไขมันแยกส่วนขั้นแรก ทำให้ไขมันแยกส่วนที่ได้จากการตกผลึกในขั้นที่ 2 เป็นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าในไขมันแยกส่วนขั้นแรก การแยกส่วนยังมีผลต่อค่าไอโอดีน โดยค่าไอโอดีนของน้ำมันแยกส่วนมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าไอโอดีนของไขมันแยกส่วนมีค่าลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันแยกส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันวัวเริ่มต้น ในขณะที่ไขมันแยกส่วนมีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่น้อยกว่า การแยกส่วนไขมันที่อุณหภูมิตกผลึกต่ำ มีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันแยกส่วน ขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง ส่วนไขมันแยกส่วนจะมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น 2.27% ในขณะที่น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมบราห์มันมี ปริมาณกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น 7.73%

การทดแทนมันแข็งหมูด้วยไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ทั้งไขมันแยกส่วน และน้ำมันแยกส่วน และ/หรือใช้ร่วมกับน้ำมันรำข้าว ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพ ด้านการสูญเสียน้ำหนัก และความคงตัวของอิมัลชัน แต่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สีลักษณะเนื้อสัมผัส และองค์ประกอบของกรดไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วน โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

กว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วน การใช้ไขมันแยกส่วนส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปและผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก) มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ชุ่มฉ่ำ และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบชอบเล็กน้อย นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังชอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ด้านลักษณะปรากฏ และมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วน การใช้ไขมันแยกส่วนยังมีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก) เกิดการออกซิเดชันของไขมันได้ช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนเพียงอย่างเดียว จึงทำให้มีอายุการเก็บ (ในทางเคมี) ที่ยาวนานกว่าในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใช้น้ำมันรำข้าว แต่การใช้ไขมันแยกส่วนกลับไม่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในแง่ของจุลินทรีย์เลย เนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่พบเกิดจากการจัดการตัวอย่างหลังการผลิต เช่น การตัด และการบรรจุตัวอย่าง

บรรณานุกรม

กลุ่มวิจัยและพัฒนาพันธุ์โคเนื้อ กองบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. 2552. โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman). [Online]. Available: http://www.dld.go.th/breeding/b/Ready/Br_breed.html. เข้าถึงเมื่อ 9 เม.ย. 2552.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. **เคมีอาหาร.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 340 น.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 128 น.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2532. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 135 น.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2547. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์.** โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 237 น.

วรรณา ตั้งเจริญชัย. 2549. **คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำมันหมูที่ผ่านการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ.** รายงานวิจัยงบประมาณ 2548. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วินิดา บัณฑิต. 2545. **วิทยาฮิสโต 1: เซลล์และเนื้อเยื่อพื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 272 น.

วัวเนื้อพันธุ์อเมริกันบราห์มัน. 2552. [Online] www.ansi.okstate.edu/breeds/cattle/brahman/ เข้าถึงเมื่อ 26 ตุลาคม 2552

วัวเนื้อพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป. 2552. [Online] http://gotoknow.org/blog/tpthaicowboy/29452 เข้าถึงเมื่อ 26 ตุลาคม 2552

ศลินา แสงทอง. 2547. "ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไขมันไก่ที่ได้จากการแยกส่วนด้วยอุณหภูมิต่ำ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศวรรญา ปั่นคลสุข. 2550. "การแยกส่วนไขมันเปลว และคุณลักษณะของไส้กรอกหมูแฟรงเฟอเตอร์ที่ใช้ไขมันแยกส่วน"วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, สมนึก อาษา และสุภัทรา มั่นสกุล. 2532. **การพัฒนาเทคโนโลยีการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม**. วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. ปีที่ 4 ฉบับ 2. พฤษภาคม-สิงหาคม.

สุรัสสา สะมิตะ โยธิน, ชิดชนก นวลฉิมพลี และ ปิตุนาถ หนูแสน. 2552. สื่อการสอนวิชา การผลิตโค สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. [Online]. Available: http://www.sut.ac.th/e-texts/Agri/My%20Webs/page%201.htm. เข้าถึงเมื่อ 9 เม.ย. 2552.

อิ่มเอิบ พันสด. 2552. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. [Online]. Available: http://www.nsru.ac.th/e-learning/meattech/index.htm. เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ย. 2551.

Abiola., S.S. and S.W. Adegbaju. 2001. Effect of substituting pork back fat with rind on quality characteristics of pork sausage. **Meat Science.** 58(4): 409-412.

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry. Washington DC.

AOCS (American Oil Chemistry Society). 1999. Official Methods and Recommended Practices. 5th ed. Illinois: Champaign

Ayo, J., J. Carballo, J. Serrano, B. Olmedilla-Alonso, C. Ruiz-Capillas and F. Jiménez-Colmenero. 2007. Effect of total replacement profile of frankfurters. **Meat Science.** 77: 173-181.

Babut, S. 1995. Importance of fat emulsifation and protein matrix characteristics in meat batter stability. **Journal of Muscel Foods**. 6: 161-177.

Black, R.G. 1975. Partial Crystallization of milk fat and separation of fraction by vacuum filtration. **Australian Journal Dairy Technology.** 30: 153-156.

Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry Physiology**. 37: 911-917.

Bloukas, J.G., E.D. Paneras and G.C. Fournitzis. 1997. Sodium lactate and protective culture effect on quality characteristics and shelf-life of low-fat frankfurters produced with oil. **Meat Science,** 45 (2): 223-238.

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 cocrystallization and polymorphism in Milk Fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 75(8): 897-904.

Bussey, D.M., T.C. Ryan, J.I. Gray and M.E. Zabik. 1981. Fractionation and characterization of edible tallow. **Journal of Food Science**. 46: 526-530.

Campos, R., S.S. Narine and A.G. Marangoni. 2002. Effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of milk fat and lard. **Food Research International**. 35: 971-981.

Chang, N.W., C.T. Wu, F.N. Chen and P.C. Huang. 2005. Effect of dietary ratios of fatty acids on cholesterol metabolism in rats and on low-density lipoprotein uptake in hepatocytes. **Nutrition Research.** 25: 781-790

Chatimakorn, C., and N. Silalai. 2007. Addition of rice bran oil to soybean oil during frying increase the oxidative stability of the fried dough from rice flour during storage. **Food Research International.** 41: 308-317

Chiu, C.M., A.G. Luizand and S.S. Victor. 2002. **Characterization fractionation and utilization of the abdominal chicken fat.** [Online]. Available: http//www.teses.usp.br /teses/disponiveis/9/9133/tde-16042002-160222.

Cofrades, S., J. Carballo and F. Jimenez-Chlmenero. 1997. Heating rate effects on high-fat and low-fat frankfurters with a high content of added water. **Meat Science**. 47(1-2): 105-114.

Compendium of Methods 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.

Crehan, C.M., D.J. Troy and D.J. Buckley. 2000. Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. **Meat Science**. 55(1): 123-130.

Davatkal, S. S.K. Mendiratta, N. Kondaiah. 2004. Quality Characteristics of loaves from buffalo meat, liver and vegetables. **Meat Science**. 67: 377-383

Deffense, E. 1985. Fractionation of Palm Oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 62(2): 376-385.

Deffense, E. 1993. Milk fat fractionation today: A review. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 70(12): 1193-1201.

Defouw, C.L., M.E. Zabik and J.I. Gray. 1981. Fractionated edible beef tallow as a deep fat frying medium for french fries. **Journal of Food Science.** 46: 452-456.

Dimick, P.S., Y.S. Reddy and G.R. Ziegler. 1996. Chemical and thermal characteristics of milk-fat fractions isolated by a melt crystallization. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 73(12): 1647-4652.

Estévez, M., S. Ventanas and R. Cava. 2006. Oxidation of lipids and proteins in frankfurters with different fatty acid compositions and tocopherol and phenolic contents. **Food Chemistry.** 100(1): 55-63.

Fatouh, A.E., R.K. Singh, P.E. Koehler and G.A. Mahran. 2003. Chemical and thermal characteristics of buffalo butter oil fractionation 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 American Oil Chemists'Society.** 43(3): 785-790.

Fennema, O.R., S. Damodaran and K. Parkin. 2008. Lipid. **Fennema's food chemistry**. (4th ed.) CRC Press/Taylor & Francis. Boca Raton.

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 triaglycerols. **U.S. Patent**. No.6.344,574.

Ghotra, B.S., S.D. Dyal, and S.S. 2002. Lipids shortenings: a review. **Food Research International**. 35. pp: 1015-1048.

Glassner, D.A. and E.A. Grulke. 1986. The effects of surfactant concentration and crystal size on the olein yield from the detergent fractionation of tallow. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 63(8): 1066-1071.

Grall, D.S. and R.W. Hartel. 1992. Kinetics of butterfat crystallization. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 69(8). pp: 741-747.

Hamm, W. 1995. Trends in Edible Oil Fractionation. **Trends in Food Science and Technology**. 6(4): 121-126

Hashimoto, S., T. Nezu, H. Arakawa, T. Ito and S. Maruzeni. 2001. Preparation of sharp-melting hard palm midfraction and its use as hard butter in chocolate. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 78(5): 455-450.

Hohne, G.W.H., H. J. Flammersheim and W. F. Hemminger. 2004. Types of Differential Scanning Calorimeters and Modes of Operation. **Differential Scanning Calorimetry.** Springer-Verlag New York, LLC

Hsu, S.Y. and S.H. Yu. 1999. Effects of phosphate, water, fat and salt on qualities of low-fat emulsified meatball. **Meat Science**. 39: 123-130.

Hughe, E.S. Cofrades and D.J. Troy. 1997. Effects of fat level, oat fiber and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. . **Meat Science**. 45(3): 273-281.

Humphrey, K.L. and Narine, S.S. 2004. A comparison of lipid shortening functionality as a function of molecular ensemble and shear: Crystallization and melting. **Food Research International.** 37: 11-27.

Iwasaki, T., K. Noshiroya, N. Saitoh, K. Okano and K. Yamamoto. 2006. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. **Food Chemistry**. 95(3): 474–483.

Jeyarani, T. and S. Y. Reddy. 2001. Cocoa butter extender from *Simarouba glauca* fat. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 78(3): 271-276.

Kayaardi, S. and V. GÖk. 2003. Effect of replacing beef fat with olive oil on quality characteristics of Turkish soudjouk (sucuk). **Meat Science**. 66(1): 249-257.

Kaylegian, K.E. and R.C. Lindsay. 1994. **Handbook of Milk fat Fractionation Technology and Application**. Illinois : AOCS press. pp : 662.

Kreulen, H.P. 1976. Fractionation and winterization of edible fats and oils. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 53: 393-396.

Larrea, V., I.P. Munuera, I. Hernando, A. Quiles, E. Llorca, and M.A. Lluch. 2007. Microstructural changes in Teruel dry-cured ham during processing. **Meat Science.** 76: 574-582

Morin, L.A., F. Temelli and L. McMullen. 2004. Interactions between meat proteins and barley (Hordeum spp.) β-glucan within a reduced-fat breakfast sausage system. **Meat Science.** 68: 419-430.

Muguerza, E., E. Fista, D. Ansorena, I. Astiasaran and J.G. Bloukas. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. **Meat Science.** 61(4): 397-404.

O'Shea, M., D. Rosaleen, L. Fergal and K. Kieran. 2000. Enrichment of the conjugated linoleic acid content of bovine milk fat by dry fractionation. **International Dairy Journal.** 10: 289-294.

O' Sullivan, A., K. O' Sullivan, K Galvin, A.P. Moloney, D.J. Troy and J.P. Kerry. 2004. Influence of concentrate composition and forage type on retail packaged beef quality. **Journal of Animal Science**. 82: 2384-2391.

Pal, P.K., D.K. Bhattacharyya and S. Ghosh. 2000. Isopropanol fractionation of butter oil and characteristics of fractions. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 77(11): 1215-1218.

Pappa, I.C., J.G. Bloukas and I.S. Arvanitoyannis. 2000. Optimization of salt, olive oil and pectin level for low-fat frankfurters produced by replacing pork backfat with olive oil. **Meat Science**. 56(1): 81-88.

Pearson, A.M. and T.A. Gillett. 1996. Sausages in pearson, A.M. and Gillett, T.A. Editors 1996. Processed meats (3rd ed). Champman & Hall. New York.

Rajah, K.K. and D.P.J. Moran. 1994. Fat products using fractionation and hydrogenation. In: **Fats in Food Products**. Glasgow: Blackie Academic and Professional. pp: 277-313.

Rajendran, T., Anjaneyulu, A.S.R. and Kondaiah, N. 2006. Quality and shelf life evaluation of emulsion and restructured buffalo meat nuggets at cold storage (4 ±1°C). **Meat Science.**72: 373-379

Rolland, J.R. and R.R. Riel. 1996. Separation of milk fat fraction by centrifugation. **Journal of Dairy Science**. 49(6): 608-616.

Sorensen, G., and S.S. Jorgensen. 1995. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung**, 202, 205–210.

Tasioula-Margari, M., G. Márquez-Ruíz and M.C. Dobarganes. 1996. Fractionation of oligomeric triacylglycerides and the relation to rejection limits for used frying oils. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 73(11): 1579-1584.

Temme, E.H.M., R.P. Mensink and G. Hornstra. 1997. Effects of medium chain fatty acids (MCFA), myristic acid, and oleic acid on serum lipoproteins in healthy subjects. **Journal of Lipid Research**. 38 : 1746-1754.

Theno, D.M., D.G. Siegel and G.R. Schmidt. 1978. Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle. **Journal of Food Science**. 43 : 488-492.

Triebold, H.O. and L.W. Aurand. 1967. **Food Compositions and Analysis**. 2nd. Van Nostrand New York. 497 p.

Yang, M.H., S.C. Chang and R.H. Chen. 1992. Effect of solvent polarity and fractionation tempurature on the physicochemical properties of squid viscera stearin. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 69(12): 1192-1197.

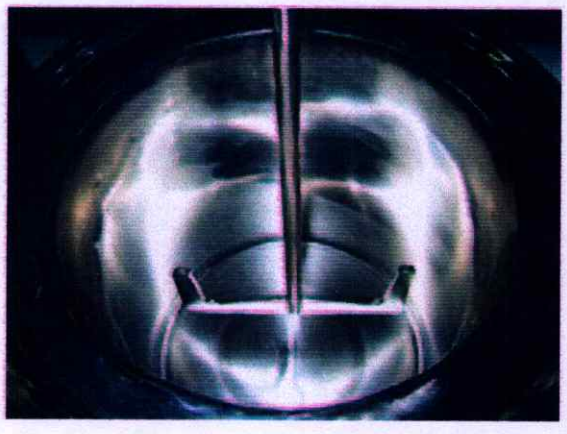
Yang, T., X. Xu, C. He and L. Li. 2003. Lipase-catalyzed modification of lard to produce human milk fat substitutes. **Food Chemistry**. 80(4): 473-481.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องแยกส่วนไขมัน

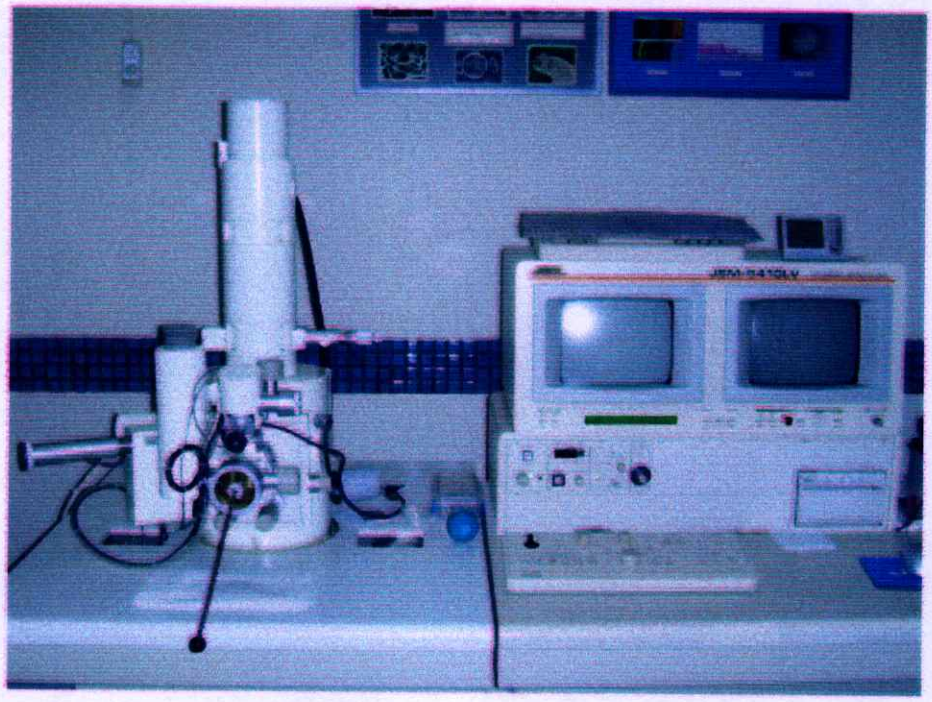
รูป ก1 ชุดเครื่องแยกส่วนไขมัน



รูป ก2 ถังสแตนเลส 2 ชั้น สำหรับตกผลึกความจุ 6.5 ลิตร และใบกวนสแตนเลสรูปตัวยู (เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร และสูง 30.5 เซนติเมตร)

ภาคผนวก ข

Scanning Electron Microscopy (SEM)

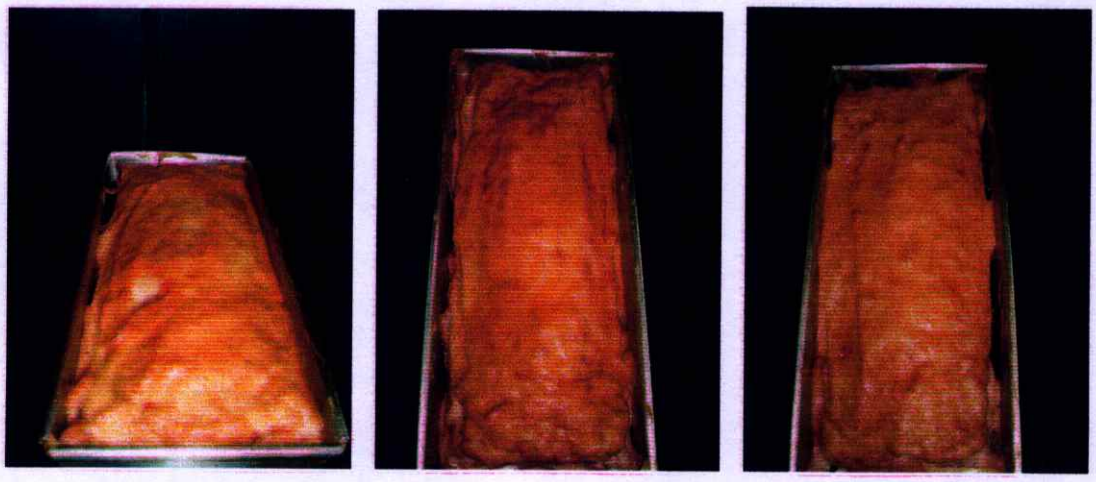


รูป ข1 Scanning Electron Microscope (Jeol, model JSM-5410LV, Japan)

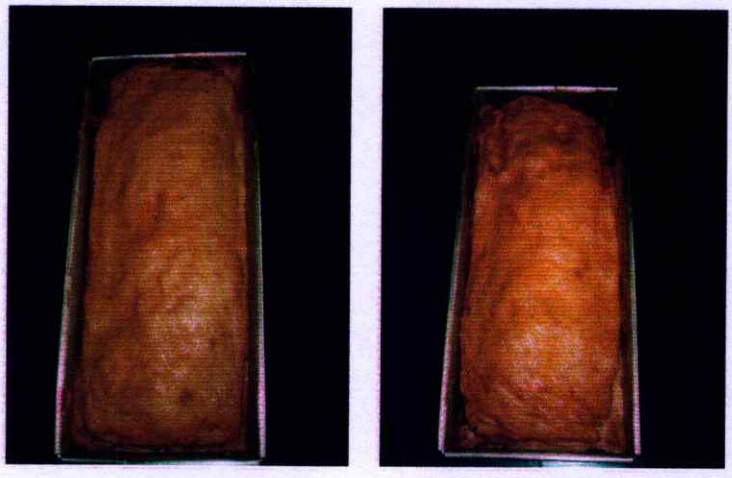
รูป ข2 SEM Specimen n

ภาคผนวก ค

ผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ



A. B. C.



D. E.

รูป ค1 ผลิตภัณฑ์ มีทโลฟ หลังการอบ

A:สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35± 1°C

B:สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยน้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก)

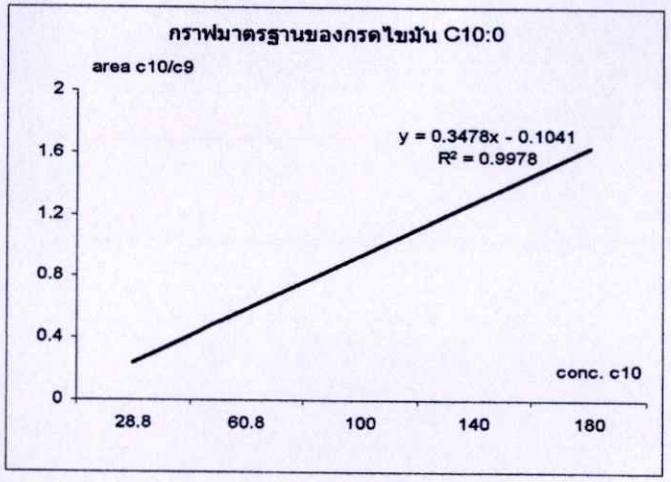
C:สูตรทดแทนมันหมูแข็งด้วยไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิ 35± 1°C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว (1:1 โดยน้ำหนัก)

D: สูตรที่ใช้มันหมูแข็ง

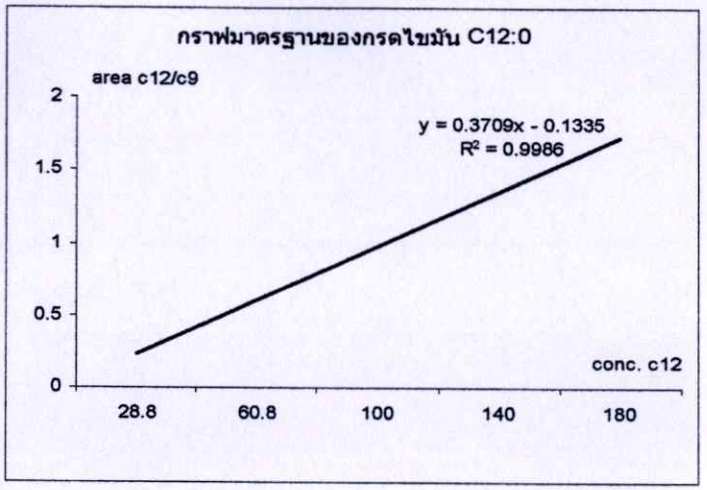
E: สูตรที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป

ภาคผนวก ง

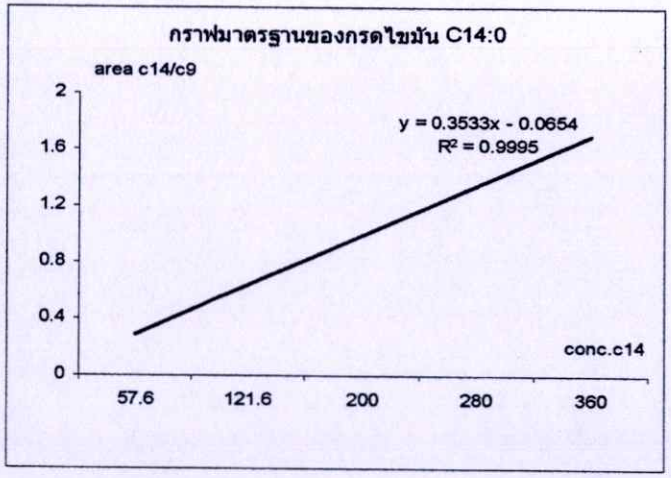
กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน



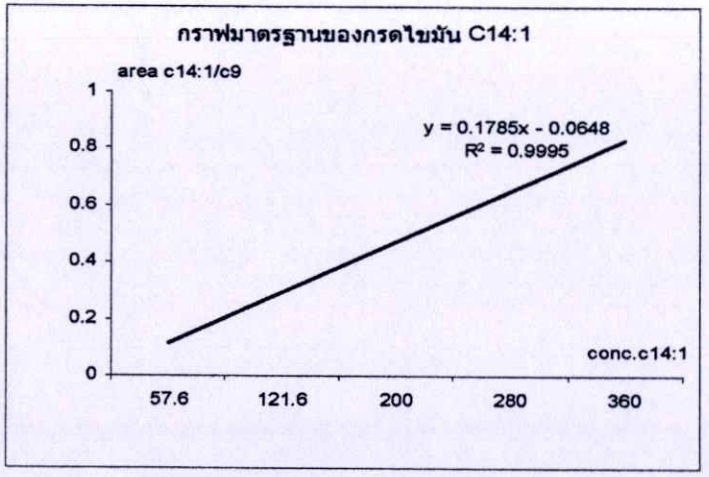
a.



b.

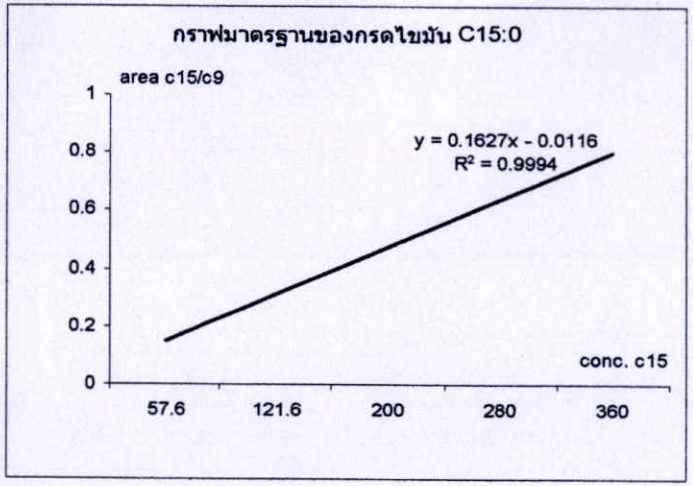


c.

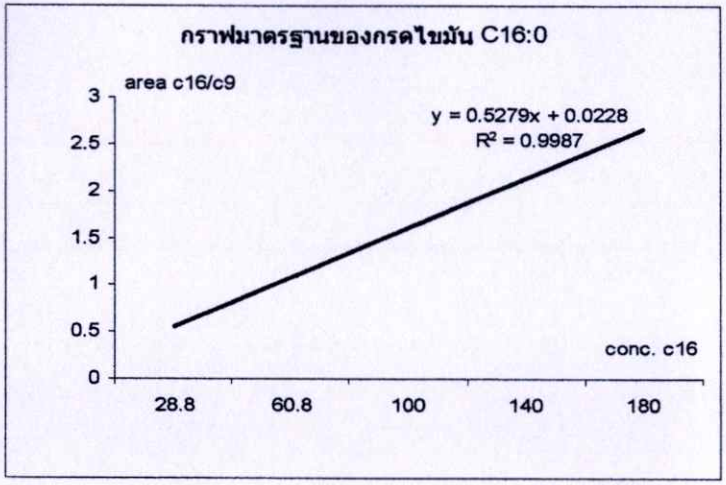


d.

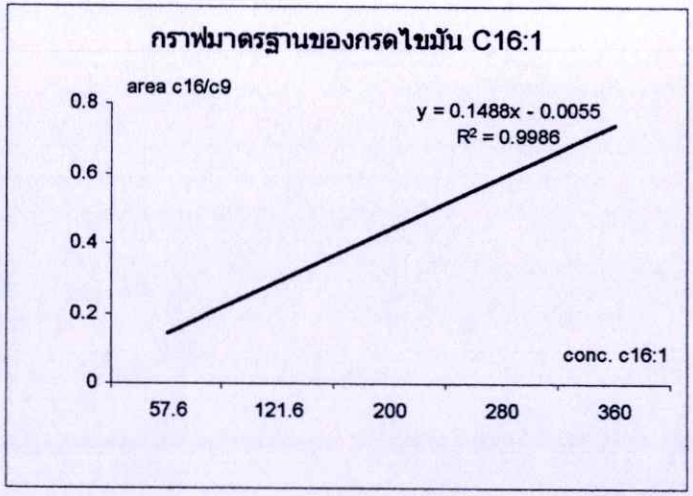
รูป ง1 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันต่อพื้นที่ใต้กราฟของ internal standard (C9) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันมาตรฐาน (ppm) a. กรดไขมัน C10:0, b. กรดไขมัน C12:0, c. กรดไขมัน C14:0 และ d. กรดไขมัน C14:1



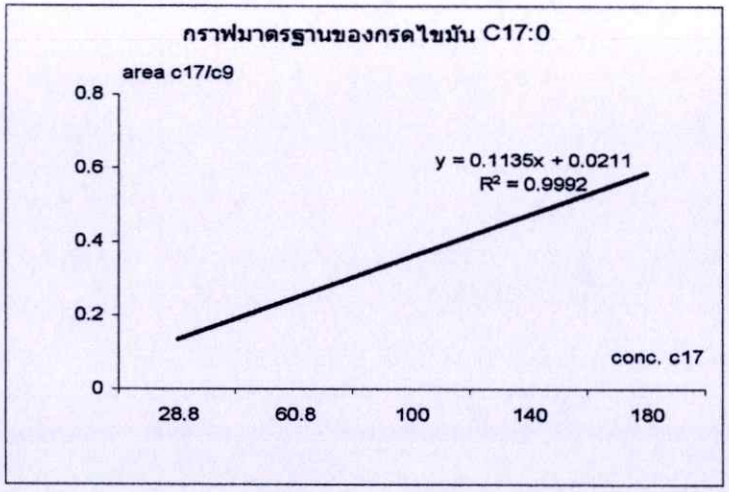
a.



b.

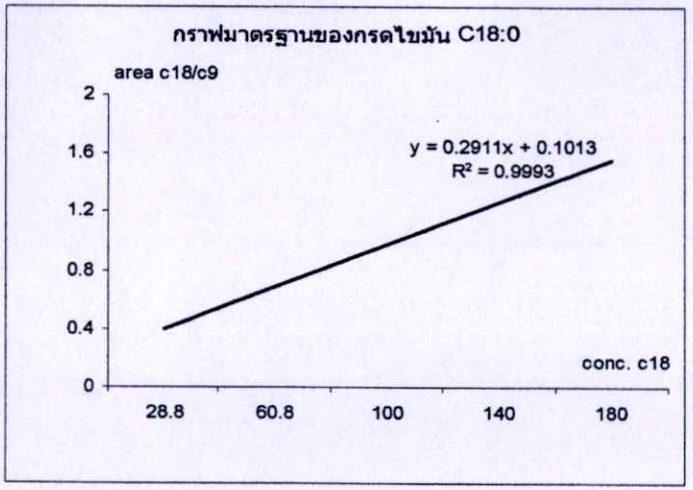


c.

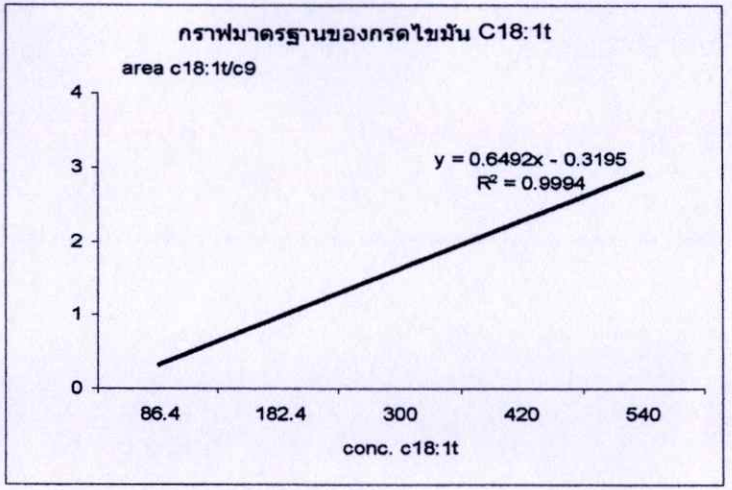


d.

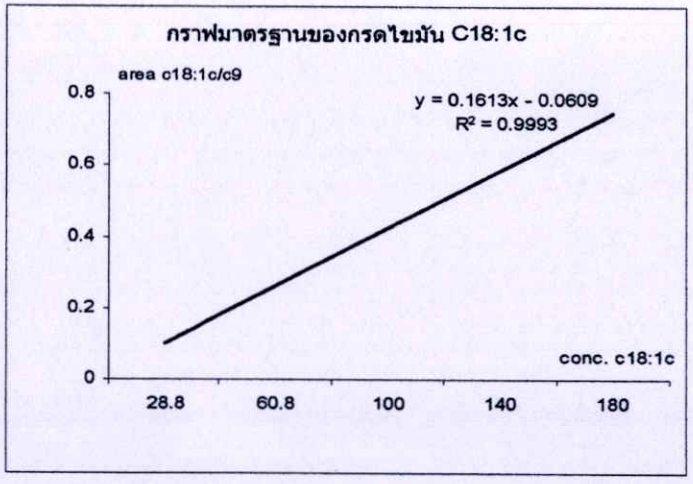
รูป ง2 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันต่อพื้นที่ใต้กราฟของ internal standard (C9) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันมาตรฐาน (ppm) a. กรดไขมัน C15:0, b. กรดไขมัน C16:0, c. กรดไขมัน C16:1 และ d. กรดไขมัน C17:0



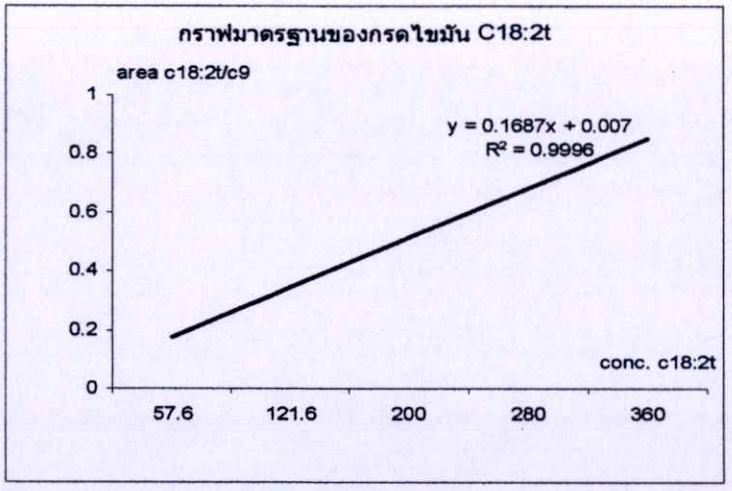
a.



b.

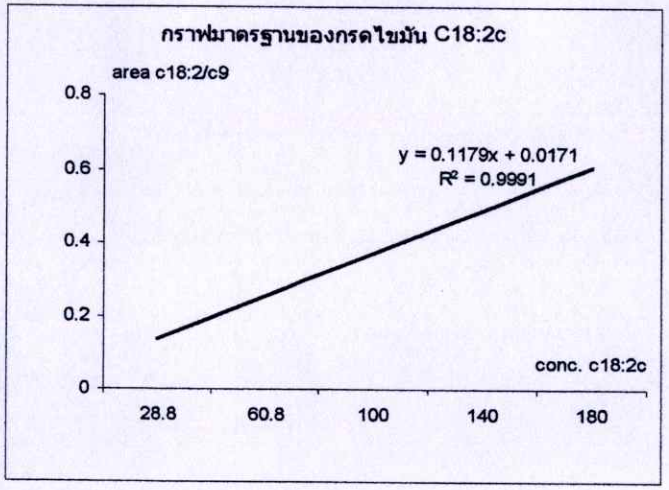


c.

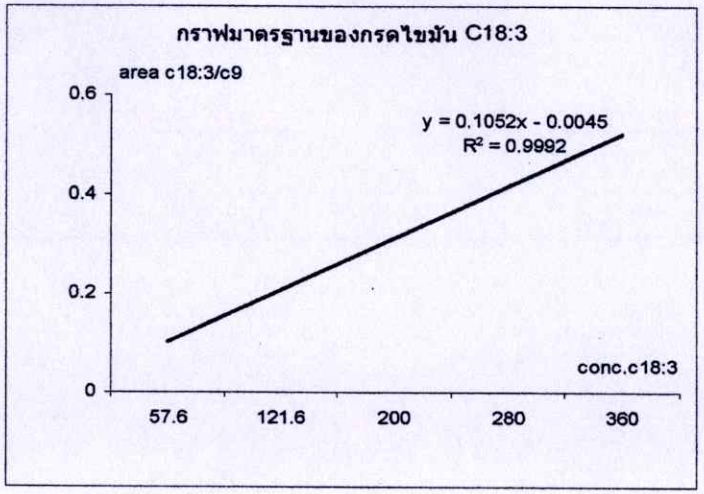


d.

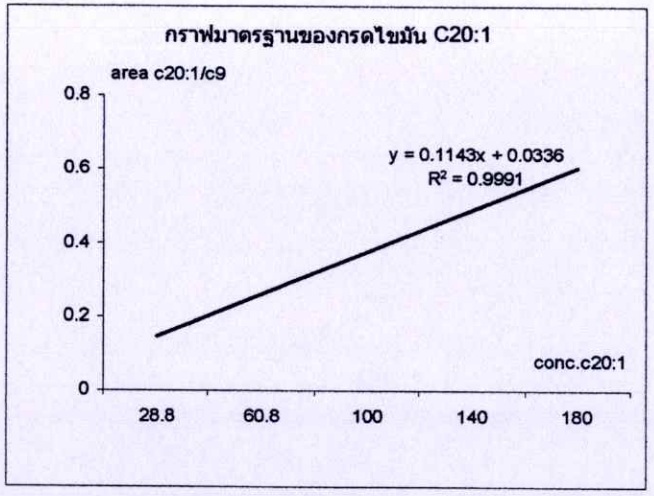
รูป ง3 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันต่อพื้นที่ใต้กราฟของ internal standard (C9) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันมาตรฐาน (ppm) a. กรดไขมัน C18:0, b. กรดไขมัน C18:1t, c. กรดไขมัน C18:1c และ d. กรดไขมัน C18:2t



a.



b.

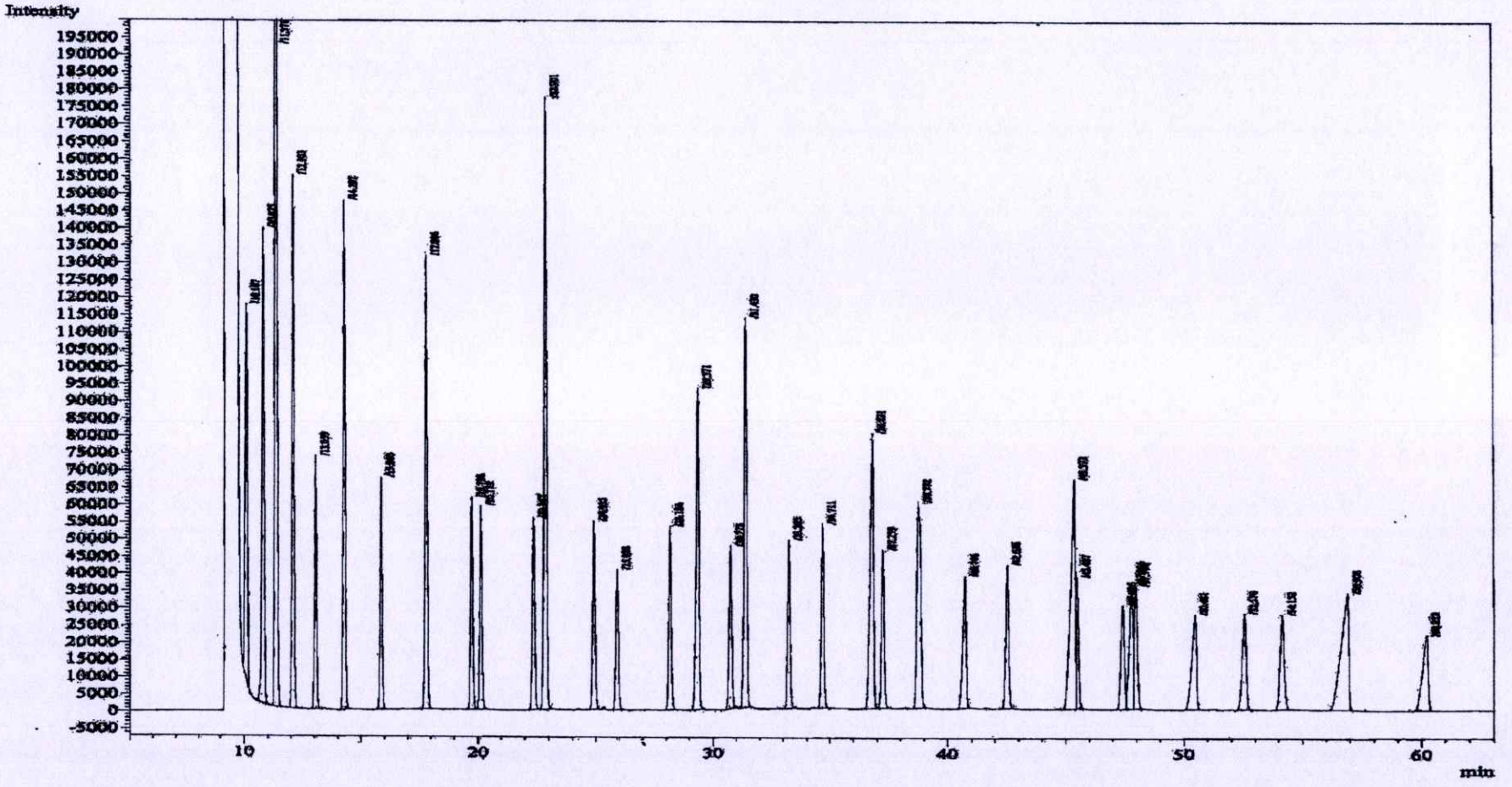


c.

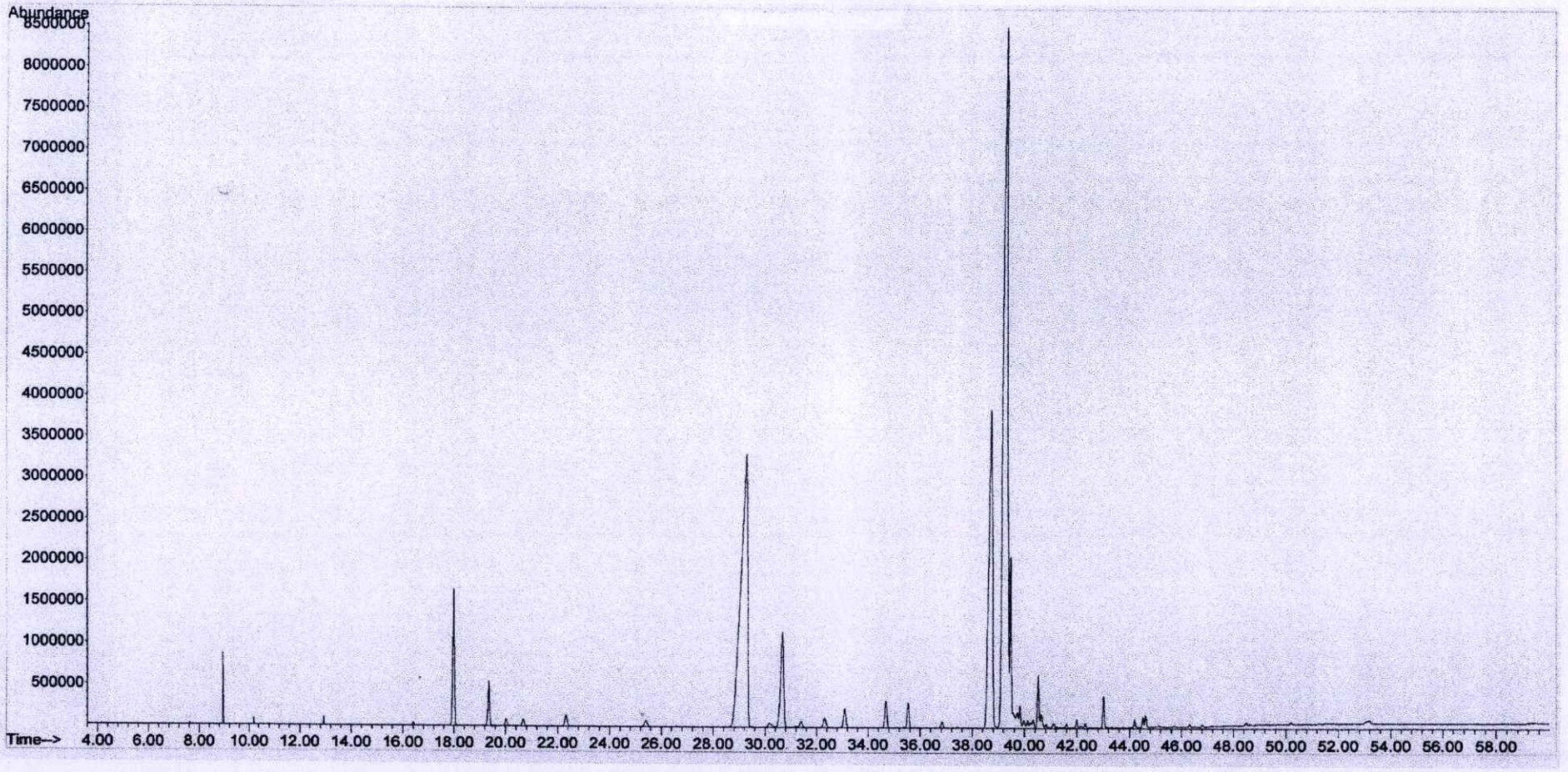
รูป ง4 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันต่อพื้นที่ใต้กราฟของ internal standard (C9) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันมาตรฐาน (ppm) a. กรดไขมัน C18:2c, b. กรดไขมัน C18:3 และ c. กรดไขมัน C20:1

ภาคผนวก จ

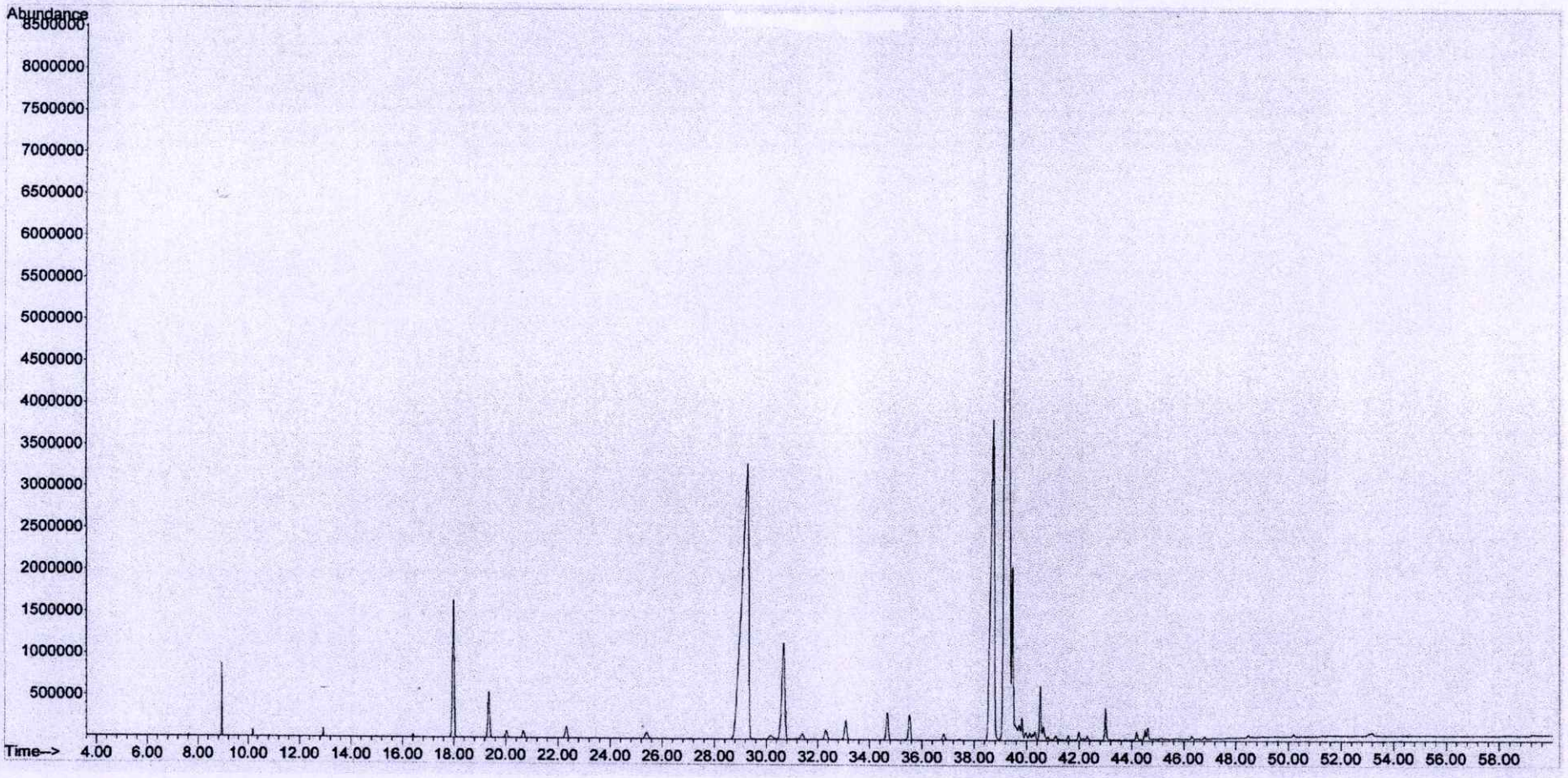
โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมัน ไขมันแยกส่วน และผลิตภัณฑ์มีทโลฟ



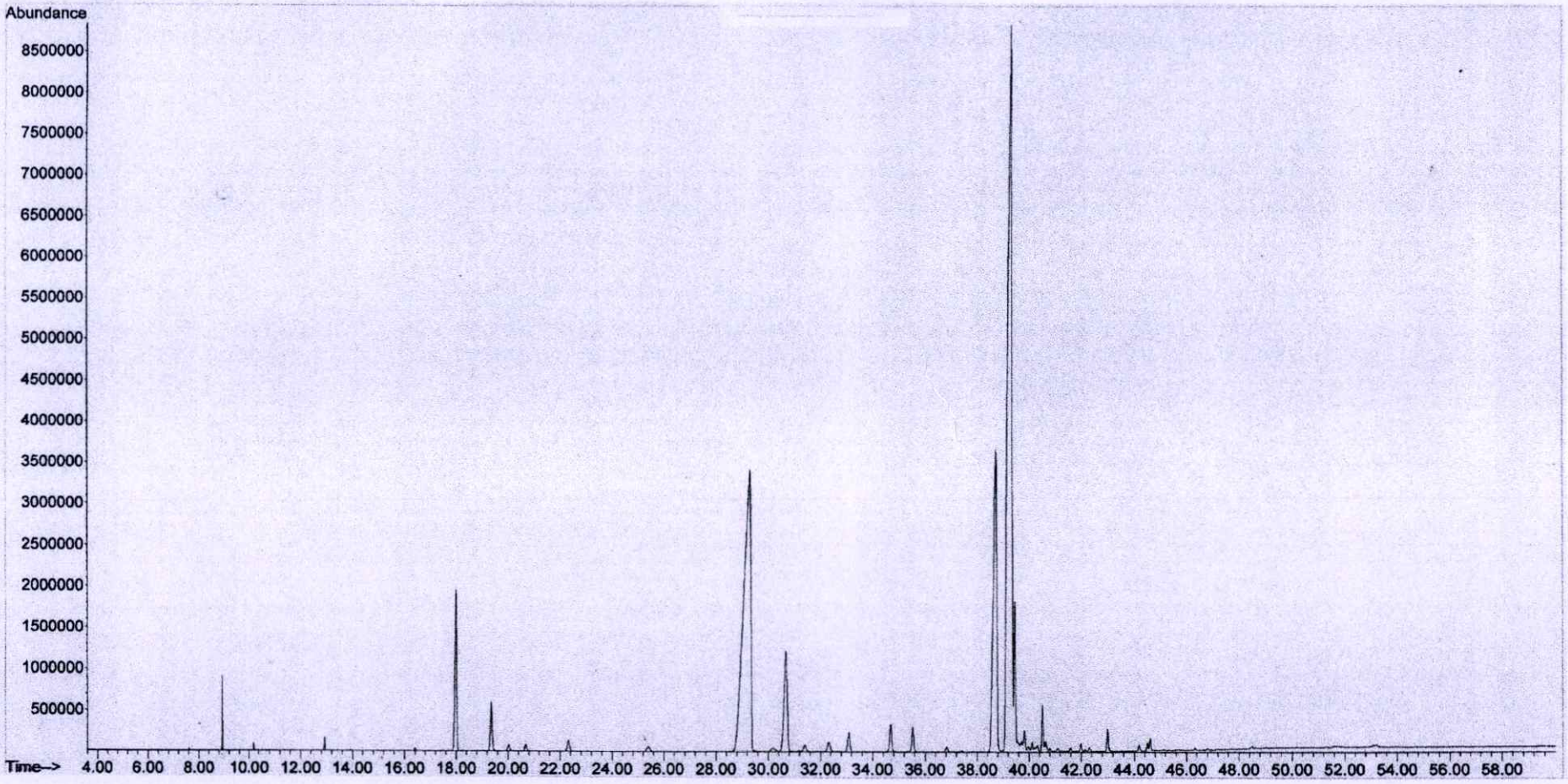
รูป จ1 โครมาโตแกรมองค์ประกอบกรดไขมันของกรดไขมันมาตรฐาน (FAMES Mix C4-C24, Supelco) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



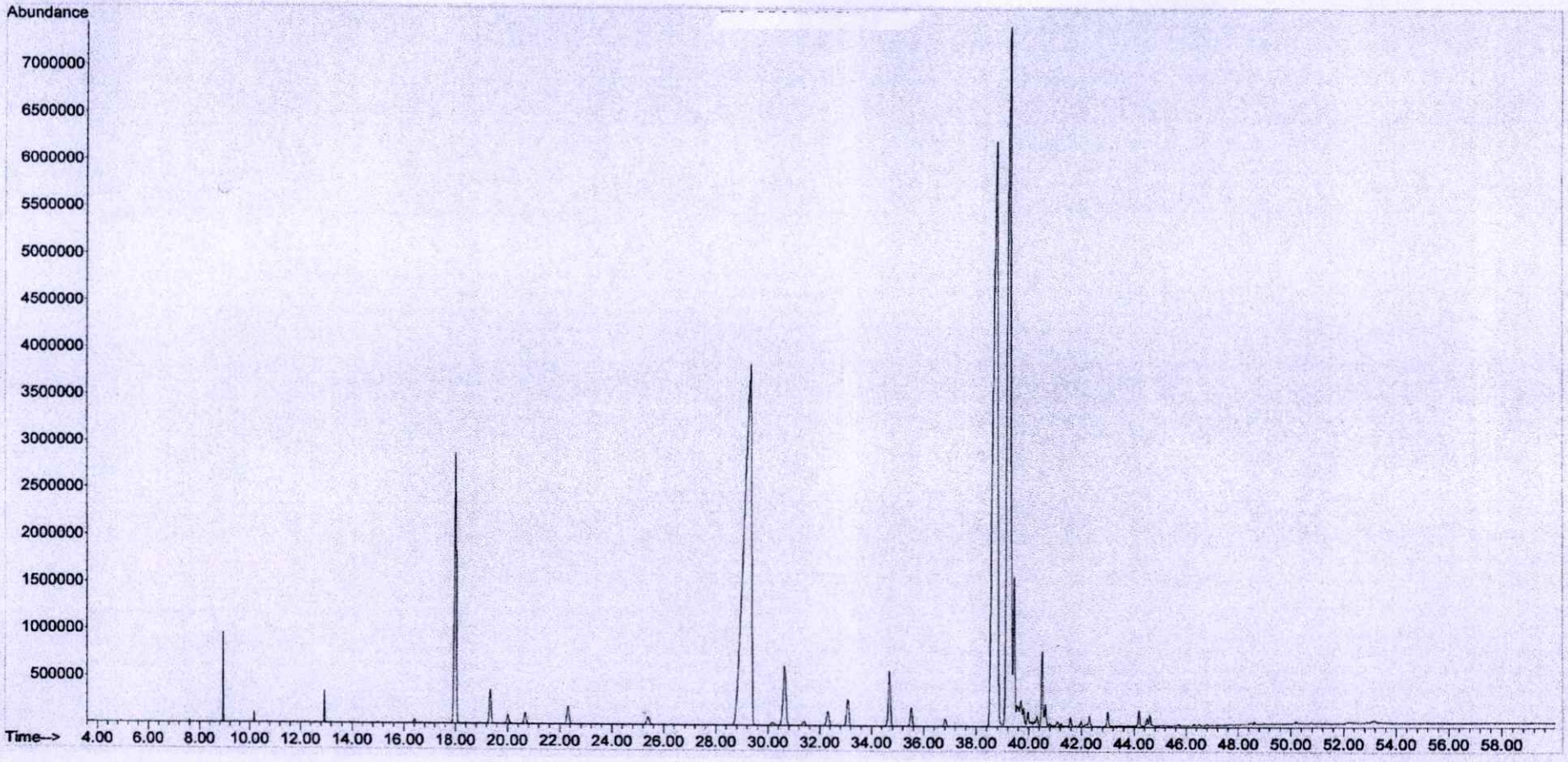
รูป จ2 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป (CHO) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



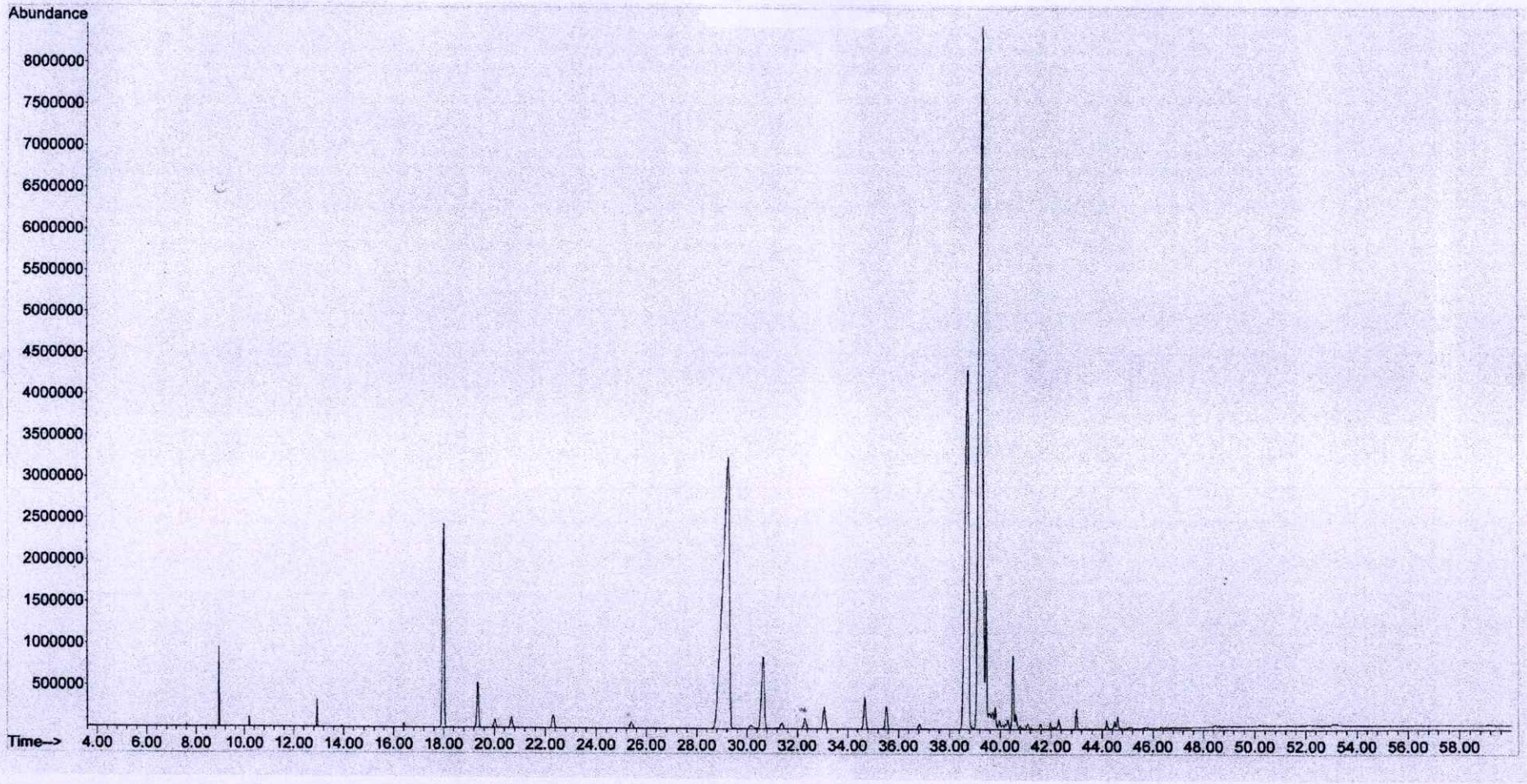
รูป จ3 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1°C (CHL35) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



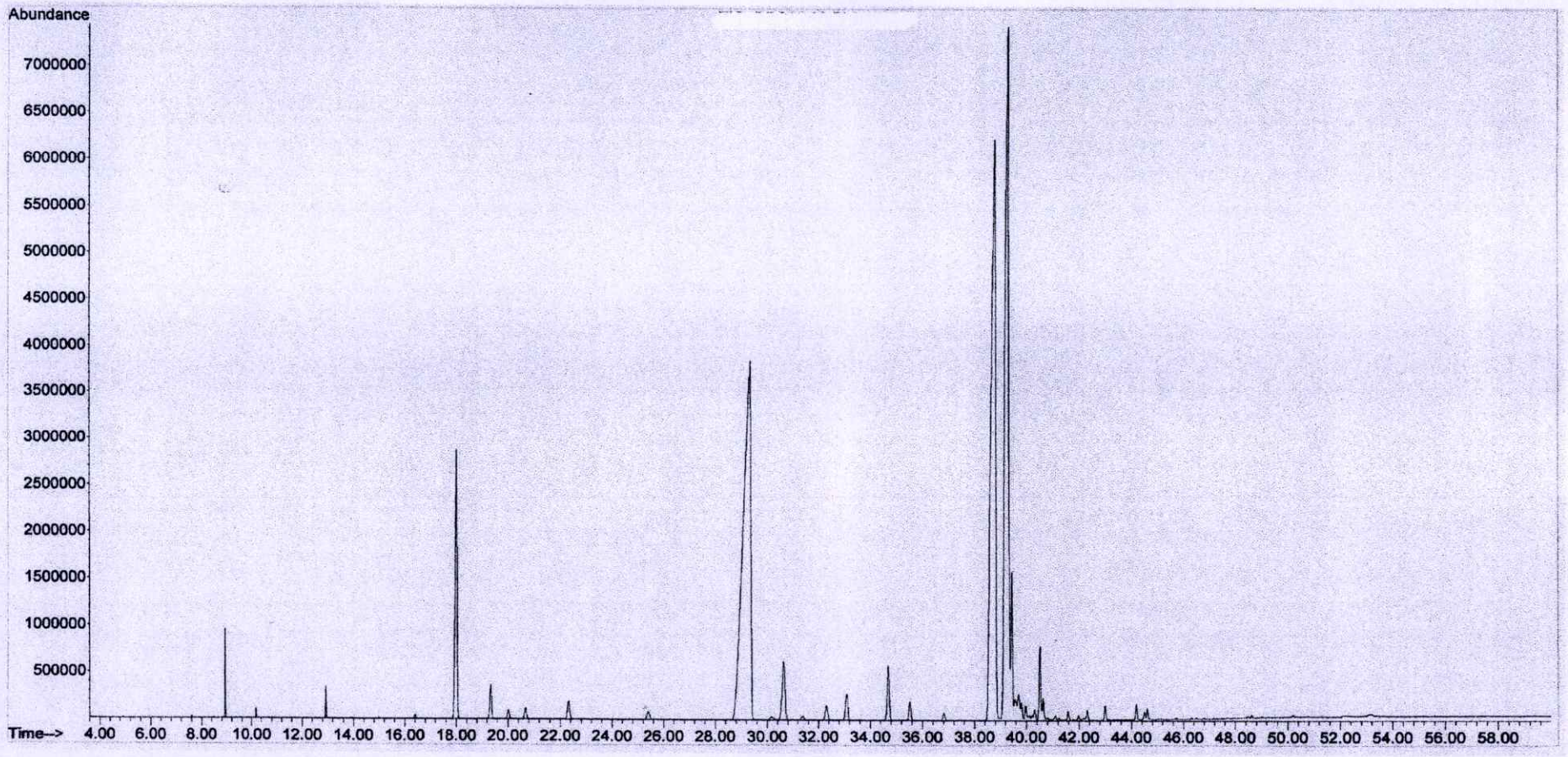
รูป จ4 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1°C (CHS35) จากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



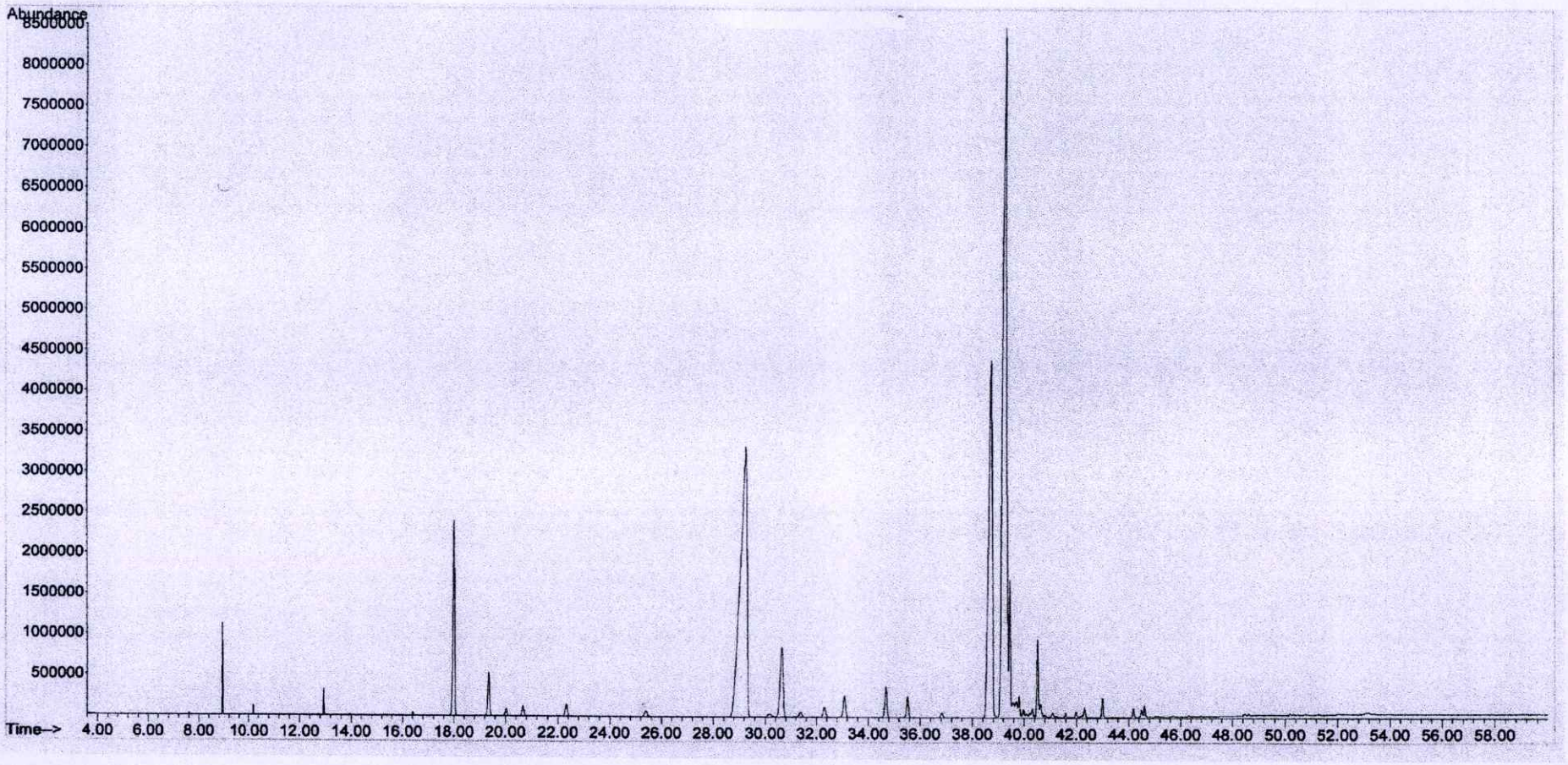
รูป จ5 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน (BRO) โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



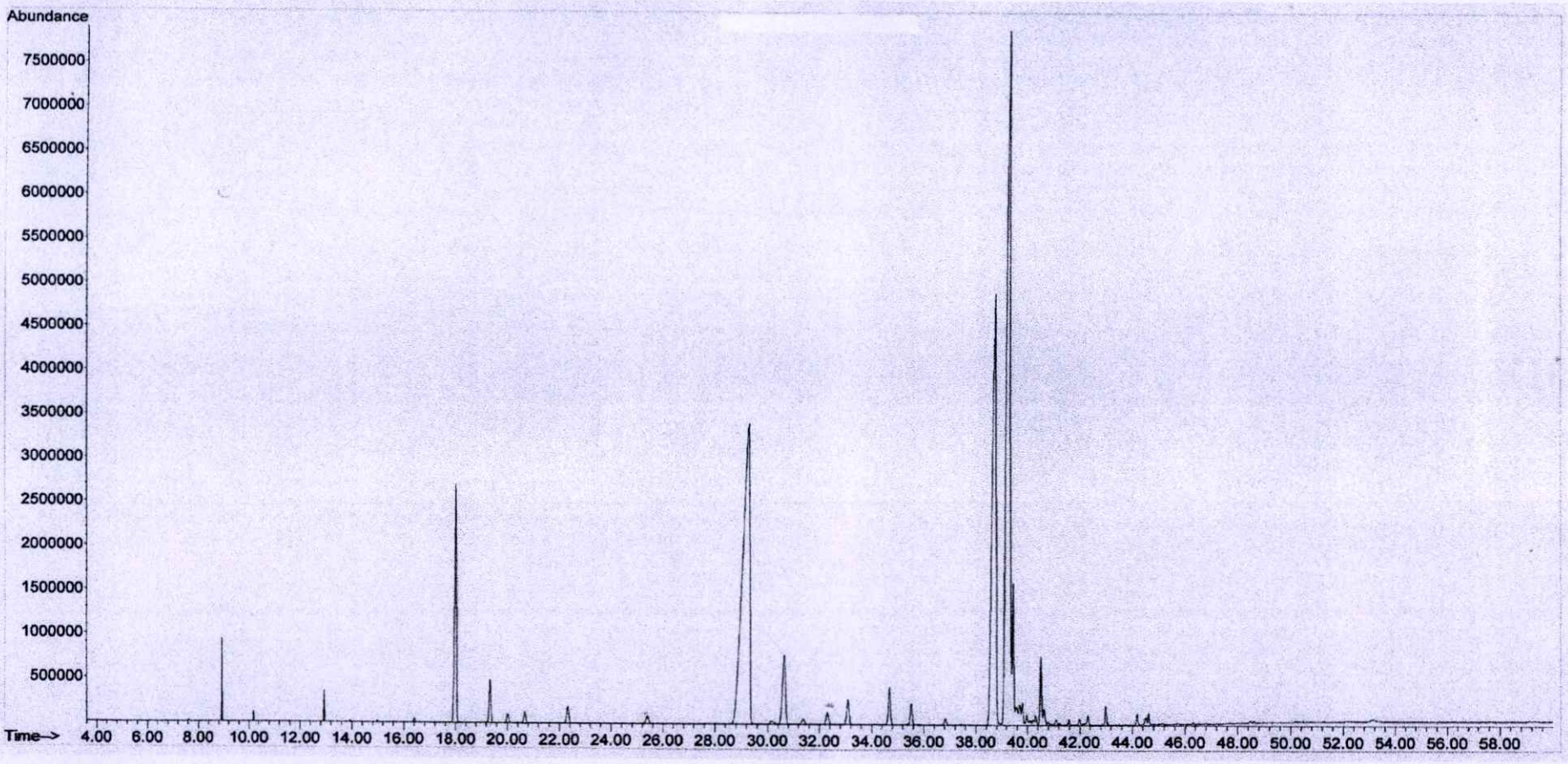
รูป จ6 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วน ที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1°C (BRL35) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



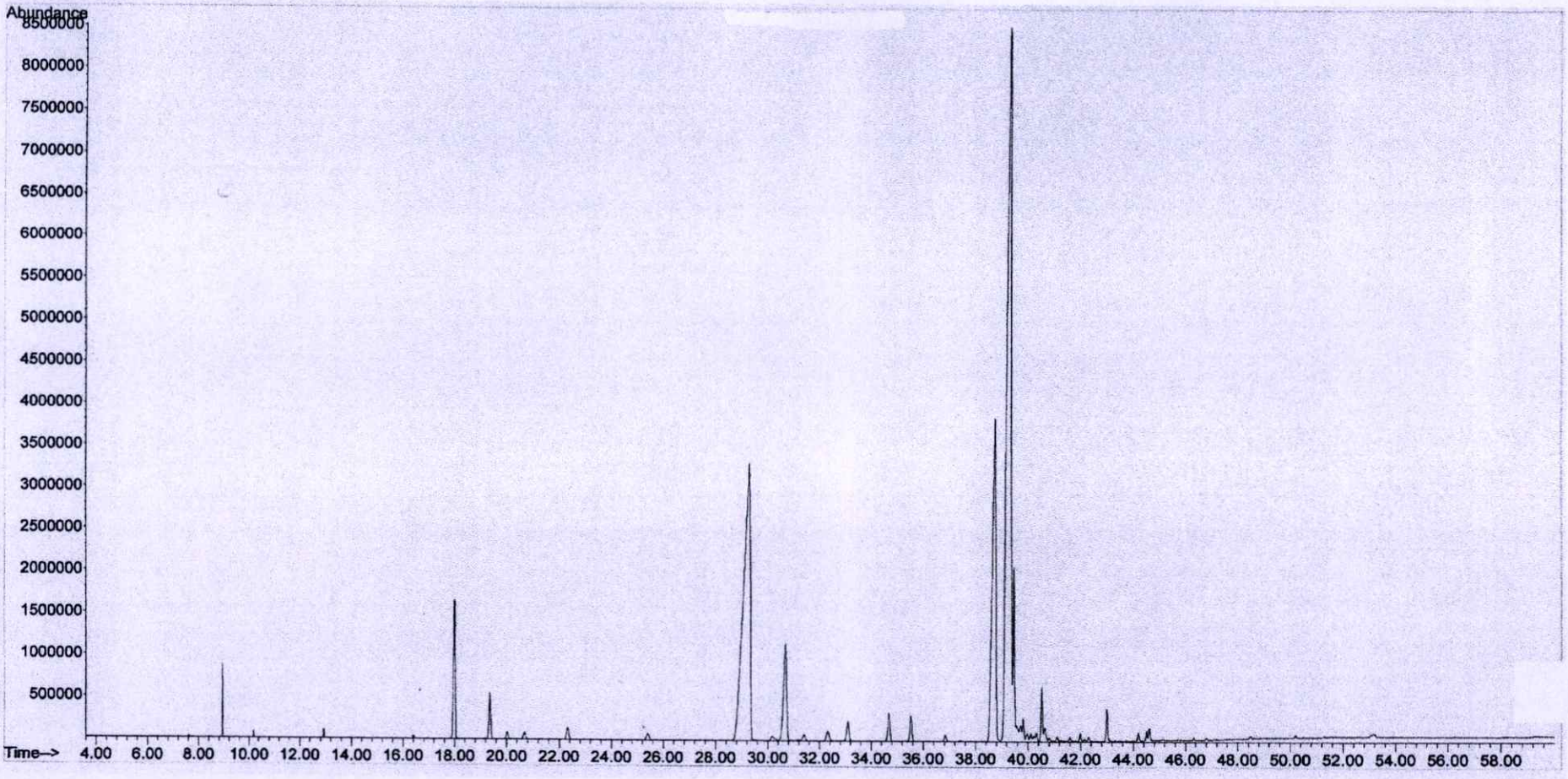
รูป จ7 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1°C (BRS35) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



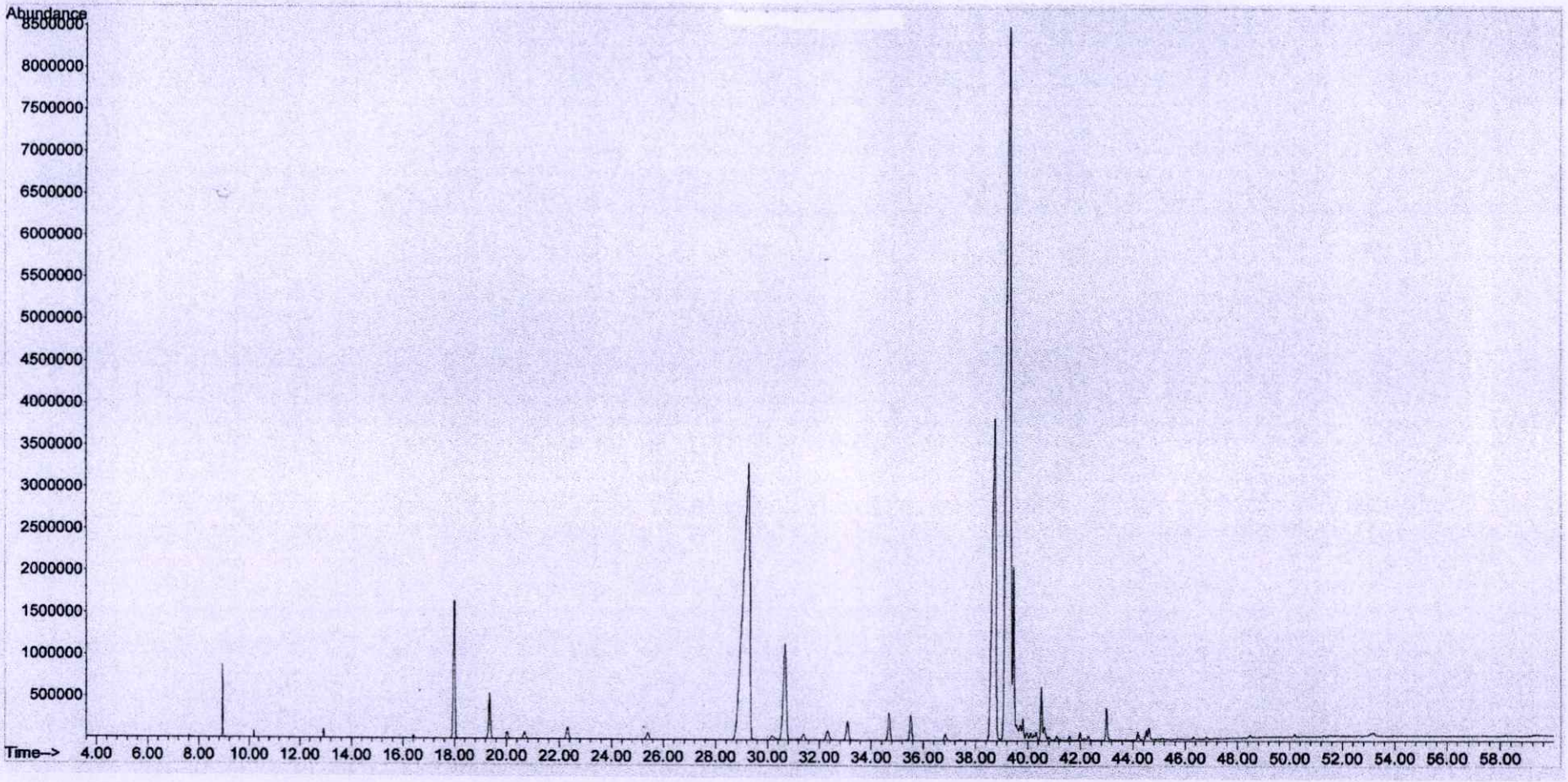
รูป จ8 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30± 1°C (BRL30) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



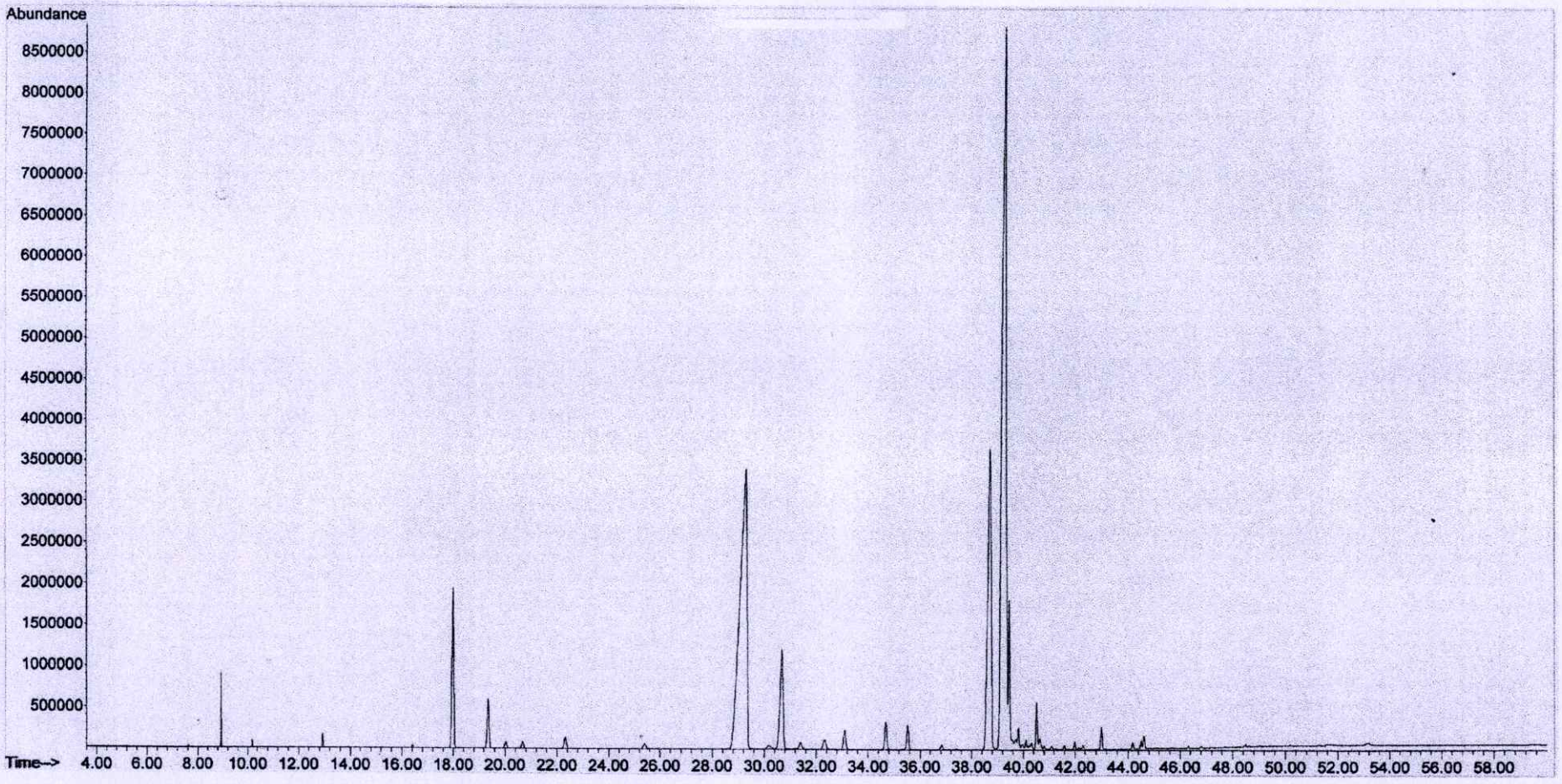
รูป จ9 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันแยกส่วนที่อุณหภูมิตกผลึก 30± 1°C (BRS30) จากไขมันวัวพันธุ์บราห์มัน โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิ เป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



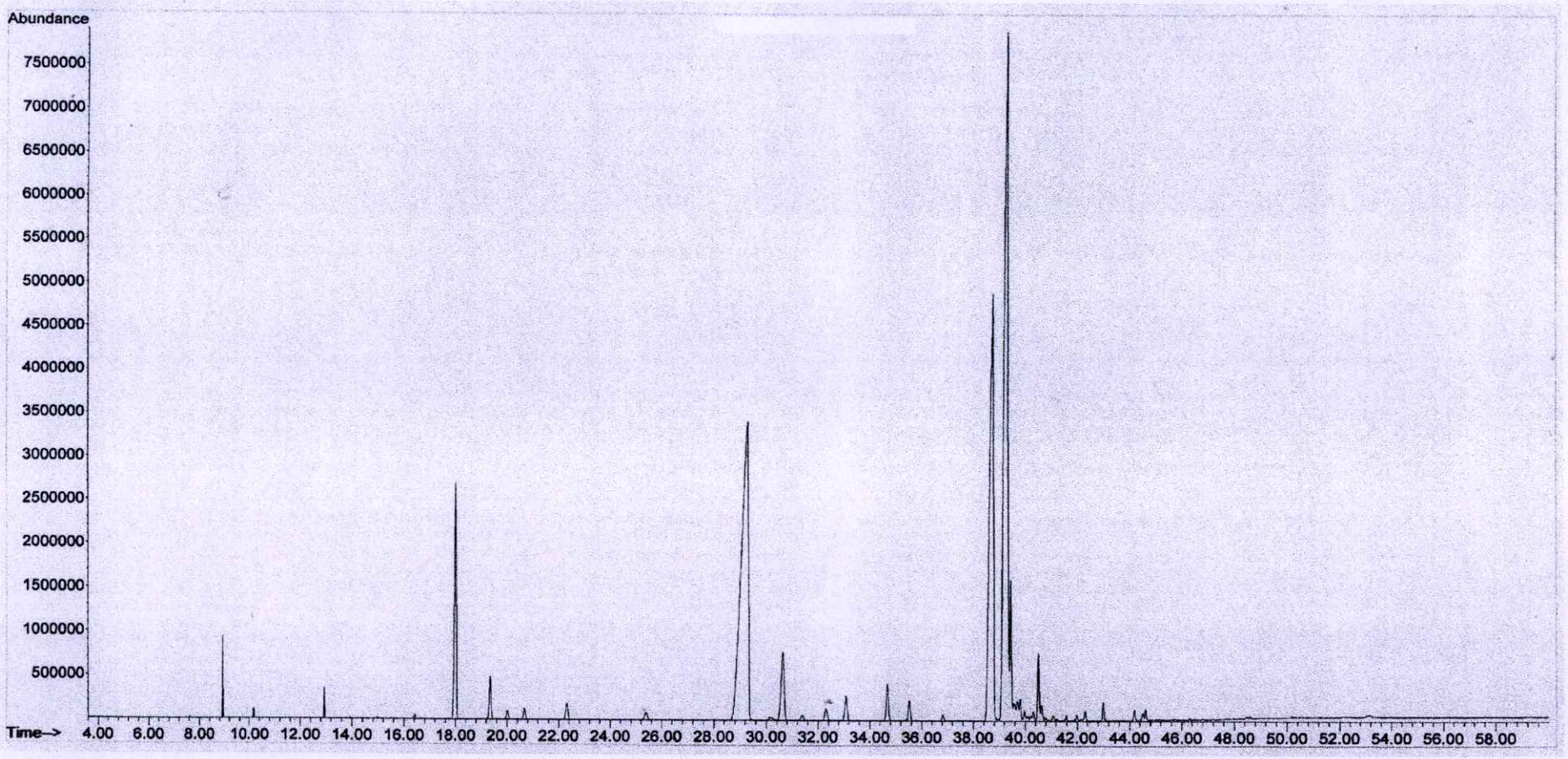
รูป จ10 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของมีทโลฟ ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรป ที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1 °C โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210°C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150°C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ด้วยอัตรา 1.3°C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250°C)



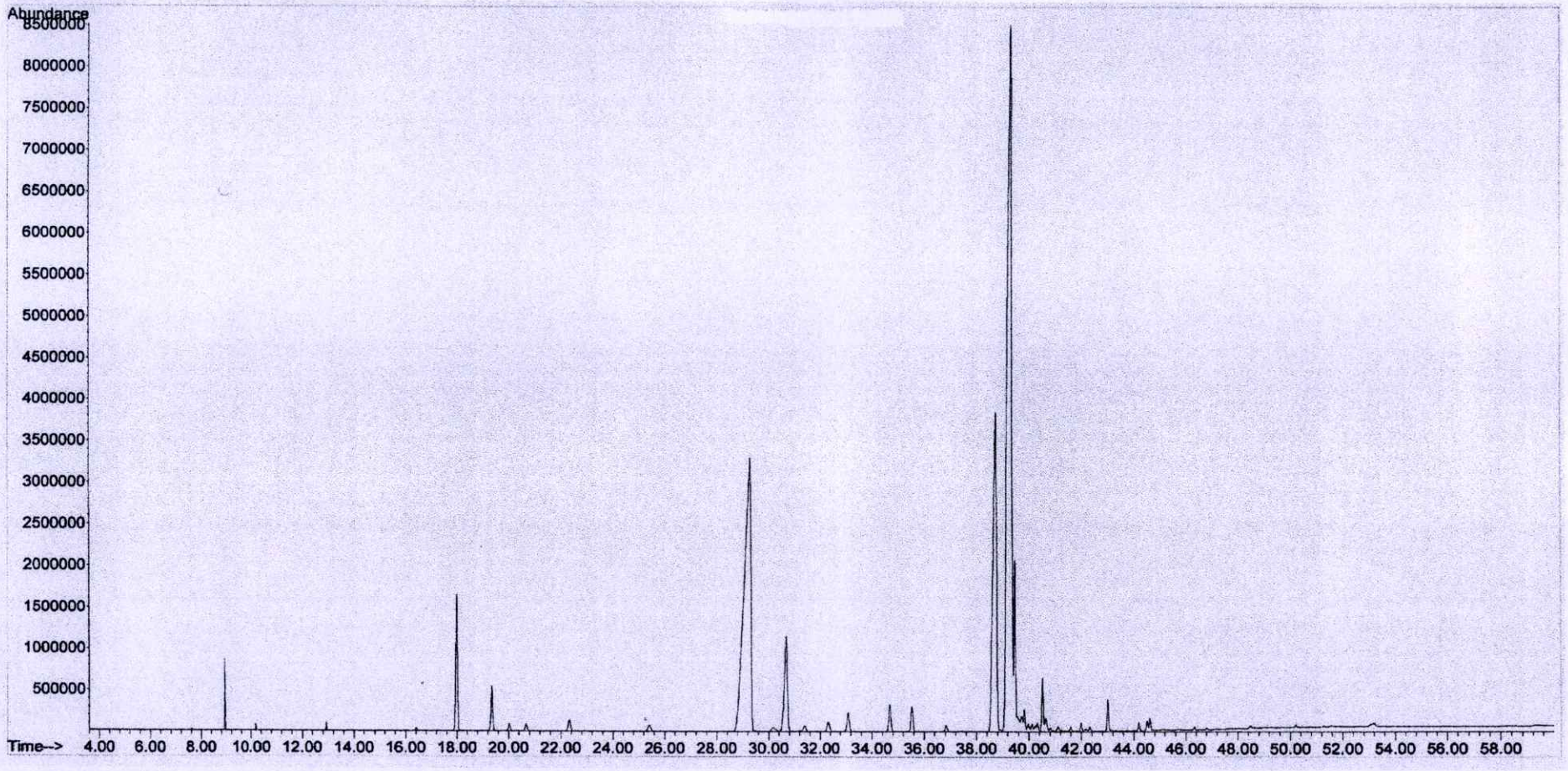
รูป จ11 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของมีทโลฟ ที่ใช้น้ำมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1 °C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



รูป จ12 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของมีทโลฟ ที่ใช้ไขมันแยกส่วนจากไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่อุณหภูมิตกผลึก 35± 1 °C ร่วมกับน้ำมันรำข้าว ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก โดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



รูป จ13 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของมีทโลฟ ที่ใช้มันหมูแข็งโดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)



รูป จ14 โครมาโตแกรมแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของมีทโลฟ ที่ใช้ไขมันวัวพันธุ์ลูกผสมเลือดยุโรปที่ไม่ผ่านการแยกส่วนโดยมี Nonanoic acid methyl ester (C9: 0) เป็น internal standard (Injection temperature 210^{0}C, flow rate 0.4 ml/min, column temperature: 150^{0}C เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200^{0}C ด้วยอัตรา 1.3^{0}C/min คงอุณหภูมิไว้ 25 นาที, Detector temperature 250^{0}C)

ภาคผนวก ฉ

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

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

หลอมตัวอย่างน้ำมันโดยใช้อุณหภูมิ 80°C และกรองผ่านกระดาษกรองเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปน ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.200 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติม Cyclohexane-Acetic acid solution (1:1) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้ละลาย หลังจากนั้นเติม Wijs solution 25 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต เขย่าให้เข้ากัน และเก็บในที่มืด นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม 10% KI 20 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เขย่า ไทเทรตด้วย 0.1 N $Na_2S_2O_3$ จนมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหมดไป อ่านปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไทเทรต

การคำนวณค่า iodine value

$$\text{Iodine value} = \frac{(B-S) \times N \times 12.69}{\text{wt of sample}}$$

หมายเหตุ B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไทเทรต blank

S = ปริมาตร (มิลลิลิตร)$Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของ $Na_2S_2O_3$ (normal)

1.2 Free Fatty Acid (AOCS Method Ca 5a-40,1999)

หลอมเหลวตัวอย่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 80°C ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 7.05 g ใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติม neutralized alcohol 50 มิลลิลิตร และเติม phenolphthalein 2 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนปรากฏสีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของด่างที่ใช้ไทเทรต

การคำนวณ

คำนวณในรูป oleic acid

$$\%\text{FFA as oleic} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{wt of sample}}$$

หมายเหตุ N = ความเข้มข้นของด่าง

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน

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

หลอมเหลวตัวอย่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 80°C และกรองเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปน และตัวย่างต้องปราศจากน้ำ บรรจุตัวอย่างที่หลอมเหลวแล้วลงในหลอดคาปิลารี โดยจุ่มปลายหลอด ในน้ำมันที่หลอมแล้ว จนระดับน้ำมันมีความสูง 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปลนไฟเพื่อปิดปลายหลอดทั้ง 2 ด้าน และนำ ไปผูกติดกับเทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งตัวอย่างอยู่ติดกับกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ และแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ข้ามคืน นำเทอร์โมมิเตอร์ที่ผูกติดกับหลอดคาปิลารีใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่ใส่น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร โดยให้จุ่มเทอร์โมมิเตอร์จนระดับตัวอย่างทั้งหมดจมอยู่ในน้ำกลั่น และให้ความร้อน โดยค่อยๆเพิ่ม ความร้อนด้วยอัตรา 0.5°C / นาที พร้อมกวนด้วยความเร็วต่ำ อ่านอุณหภูมิที่ตัวอย่างหลอมเหลวจนในทั้งหมด

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

3.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างMeat Loaf ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงใน aluminium can ที่ผ่านการอบ และทราบน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105°C และนำตัวอย่างออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนัก แล้วนำไปอบซ้ำจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างเริ่มคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.005 g) นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้น

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

3.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างมีทโลฟ ประมาณ 2 กรัม (±0.10 กรัม) เติมคะตะลิสต์ ($CuSO_4$ / K_2SO_4 อัตราส่วน1:8) 7-10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15-25 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วกันกระแทก 2 ลูกในหลอดย่อยโปรตีน นำไปย่อยโปรตีนจนกระทั่งได้สารละลายสีฟ้าใส ปล่อยให้เครื่องดูดควันจนหมด และทิ้งไว้ให้เย็น นำหลอดตัวอย่างที่ได้มากลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% จำนวน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ตวงกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวจับแอมโมเนียหยด mixed indicator (0.1% Bromocresol green 10 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1% Methyl red 1 มิลลิลิตร) 2-3 หยด จะได้สารสีส้มแดง รอจนกระทั่งกลั่นเสร็จ นำตัวอย่างที่กลั่นเสร็จมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตไตรท คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N\ HCl \times 14 \times 100}{Wt.\ Sample \times 1000}$$

เปอร์เซ็นต์โปรตีน = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน x 6.25

เมื่อ A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

3.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแน่ง) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 1-2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 60-80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 140-180 มิลลิลิตรใส่ลงบีกเกอร์ไขมัน ต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหย ปิโตรเลียมอีเทอร์ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{นน.บีกเกอร์หลังสกัดไขมัน - นน.บีกเกอร์ก่อนสกัดไขมัน}}{\text{นน.ตัวอย่าง}} \times 100$$

3.4 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก และบันทึก นำตัวอย่างที่บดแล้ว 3.0000-5.0000 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาว หรือสีเทา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{นน.ถ้วยกระเบื้องหลังเผา – นน.ถ้วยกระเบื้องก่อนเผา}}{\text{นน.ตัวอย่าง}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

4.1 การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการทำสุก (Cooking loss) (Crehan et al., 2000)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมีทโลฟ รวมกับน้ำหนักพิมพ์ แล้วนำมาเข้าอบ นาน 90 นาที นำมาทำให้เย็น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างภายหลังการทำสุก คำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการทำสุก ดังนี้

$$\text{ค่าการสูญเสีย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำสุก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังทำสุก}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำสุก}} \times 100$$

4.2 ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) (Crehan et al., 2000)

นำตัวอย่างแบทเทอร์ดิบจำนวน 25 กรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยง บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) หมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 3,600 g, 25 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที แยกของเหลวออก และนำตัวอย่างที่เหลือในหลอดนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เหวี่ยงแยกต่อที่ 3,600 g, 25 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แยกส่วนของเหลวออก นำส่วนของแข็งกับหลอดเหวี่ยงไปชั่งน้ำหนัก

ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ (TEF) = W_1-W_2

ร้อยละของปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ (%TEF) = $\frac{\text{TEF}}{\text{Sample weight}} \times 100$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก และตัวอย่างเริ่มต้น (g)

W_2 = น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก และตัวอย่างหลังจากแยกของเหลว (g)

5. การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

5.1 Scanning Electron Microscopy (ดัดแปลงจาก Iwasaki *et al.*, 2006)

นำตัวอย่างมาแช่ในสารละลาย 2.5% glutaraldehyde ใน 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2) ที่อุณหภูมิ 4°C นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาล้างด้วย phosphate buffer (pH 7.2)ที่อุณหภูมิ 4°C 2 ครั้ง นานครั้งละ 30 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง อีก 1 ครั้ง นาน 30 นาที นำตัวอย่างมากำจัดน้ำและไขมันออกด้วยเอทธานอลที่มีความเข้มข้น 30%, 50%, 70%, 95% ตามลำดับ นาน 1 ชั่วโมง ในแต่ละความเข้มข้น ที่ความเข้มข้น 100% จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง และอะซีโตนที่ความเข้มข้น 100% นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำนำตัวอย่างมาทำให้แข็งอย่างรวดเร็วโดยใช้ ไนโตรเจนเหลว นำตัวอย่างมาหักเพื่อให้เกิดพื้นผิวธรรมชาติ (cryo-fracture) ให้มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 x 1 ตารางมิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร จากนั้นทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้ง ณ จุดวิกฤต (critical control point dryer, Balzers model CPD 020) ที่อุณหภูมิ 31.5 องศาเซลเซียส ความดัน1,072 ปอนด์/ตารางนิ้ว นำตัวอย่างที่ได้มาติดลงบนฐานที่ทำจากอลูมิเนียมด้วยเทปกาว 2 หน้าชนิดนำไฟฟ้า และฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร) โดยใช้เครื่อง sputter-coater (Blazers model SCD40) นาน 5 นาที ที่กำลังไฟฟ้า 15 mA นำตัวอย่างที่ฉาบด้วยทองแล้วมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนนิง (Jeol; model JSM-5410LV, Japan) ที่ความต่างศักย์ 15 kV

6. การวิเคราะห์อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ของผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

6.1 ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) (Sorensen et al., 1995)

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม นำมาโฮโมจีไนซ์กับสารละลายของ 7.5% trichloroacetic acid 15 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 13,500 rpm นาน 45 วินาที กรองแยกเฉพาะส่วนของเหลว นำของเหลวที่ได้มา 5 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.020 M thiobarbituric acid 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ในอ่างน้ำร้อนนาน 40 นาที นำออกมาทำให้เย็นในน้ำเย็น 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร รายงานผลเป็นค่า TBARS ในหน่วย มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อตัวอย่างหนึ่งกิโลกรัม

6.2 Aerobic Plate Count และ Psychrotrophic Count (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำมาโฮโมจีไนซ์กับ 0.1% peptone 90 มิลลิลิตร ที่ปลอดเชื้อ ปิเปตของผสมมา 1 มิลลิลิตร ทำการ pore plate นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C นาน 48 ชั่วโมง สำหรับ Aerobic Plate Count และที่ อุณหภูมิ 4 ± 1°C นาน 14 วัน สำหรับ Psychrotrophic Count นับจำนวนโคโลนีให้อยู่ในช่วง 30 - 300 โคโลนีต่อ plate แล้วรายงานเป็น log CFU/g

ชื่อ-นามสกุล : _____ วันที่ : _____

แบบทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

กรุณาประเมินตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนความชอบลงในช่องว่างให้ตรงกับรหัสตัวอย่างตามความรู้สึกของท่าน แนะนำให้ดื่มน้ำก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป โดยกำหนดคะแนนความชอบดังนี้

1 = ไม่ชอบมาก

2 = ไม่ชอบปานกลาง

3 = ไม่ชอบเล็กน้อย

4 = คือบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

5 = ชอบเล็กน้อย

6 = ชอบปานกลาง

7 = ชอบมาก

รหัสตัวอย่าง					
สี					
กลิ่นรส					
ลักษณะปรากฏ					
เนื้อสัมผัส					
ความชุ่มฉ่ำ					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ :

.....

.....

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

รูป ฉ1 แบบฟอร์มการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มีทโลฟ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว พัชรา โกสิยานันท์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2525 จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ที่อยู่	77/79 หมู่บ้านพัชรวิลล์ ซอย 9 ถนน บางกรวย-ไทรน้อย ตำบลบางเลน อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140
ประวัติการศึกษา	2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2549 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี 2552