การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

โดย

นายจักรกฤษณ์ จังโส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว

โดย

นายจักรกฤษณ์ จังโส

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

STUDY OF EXTRACTION PROCESS, CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF MANGO SEED ALMOND FAT CV. KAEW

By

Chakkrit Changso

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

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

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SLPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษากระบวนการสกัดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว” เสนอโดย นายจักรกฤษณ์ จังโส เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภาค สอนไว
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)

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

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษราภรณ์ งามปัญญา)

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

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์)

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

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภาค สอนไว)

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

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ)

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

49403201: สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ: น้ำมันเมล็ดมะม่วง/มะม่วงพันธุ์แก้ว/การสกัด

จักรกฤษณ์ จังโส : การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.โสภาค สอนไว, ผศ.ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร และ ผศ.ดร.บัณฑิต อินณวงศ์. 75 หน้า.

น้ำมันจากเมล็ดมะม่วงเป็นหนึ่งในน้ำมันจากพืชไม่กี่ชนิด ที่สามารถทดแทนหรือใช้ร่วมกับเนยโกโก้ ในผลิตภัณฑ์ของช็อกโกแลตได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์แก้ว โดยเริ่มจากการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งระหว่าง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ เหล่านี้ จนกระทั่งมีความปริมาณความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคือ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมะม่วงอบแห้งที่ได้ มาบดให้ละเอียดและทำการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 2 วิธีคือวิธี soxhlet extraction กับ วิธี three phase partitioning แล้วผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พบว่าการสกัดแบบวิธี soxhlet extraction จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดแบบวิธี three phase partitioning จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดมะม่วงบางส่วนมาทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่มีอยู่ด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID) พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ด้วยวิธีการสกัดทั้ง 2 วิธีมีกรดไขมันจำนวน 9 ชนิดเหมือนกันคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid, Linolenic acid, Arachidic acid, Behenic acid และ Lignocrelic acid โดยมีอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้น การสกัดแบบวิธี soxhlet extraction จะให้อัตราส่วนของ Stearic acid มากกว่าเล็กน้อย แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำการเก็บรักษาที่ 2 สภาวะคือที่อุณหภูมิห้องปกติและที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 เดือน โดยทำการตรวจวิเคราะห์เดือนที่ 0, 1, 2, 4 และ 6 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง และเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่นานขึ้น พบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเนื่องจากปฏิกิริยา oxidative rancidity โดยมีออกซิเจนในอากาศที่มีอยู่ในบริเวณ head space ของขวดเก็บรักษาน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. ..... 3. .....

49403201: MAJOR: FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD: MANGO ALMOND FAT/MANGO CV. KAEW/EXTRACTION

CHAKKRIT CHANGSO: STUDY OF EXTRACTION PROCESS CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF MANGO SEED ALMOND FAT CV. KAEW. THESIS ADVISORS: ASST.PROF.SOPARK SONWAI, Ph.D., ASST.PROF.ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN, Ph.D., AND ASST. PROF. BHUNDIT INNAWONG, Ph.D. 75 pp.

Mango seed almond fat is one of the fat that can be used a substitute or together with cocoa butter in chocolate products. In this study, extraction processes, physical and chemical properties of mango seed almond fat from mango cv. Kaew were investigated. First, an appropriate drying temperature was determined. Mango seed almonds were dried at 50°C, 60°C and 70°C using a vacuum dryer until the water content was less than 10%. It was found that drying at 60°C for 6 hours was an optimal drying condition. After drying, mango seed almonds was milled into powder and the extraction was performed with soxhlet and three phase partitioning methods followed by the purification of the extracted oil. It was found that the amount of fat obtained from soxhlet extraction method was higher than that from the three phase partitioning method. The type and proportion of fatty acids in the fat was determined by using Gas Chromatography–Flame Ionization Detector (GC-FID). Nine fatty acids (palmitic acid, palmitoleic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidic acid, behenic acid and lignocrelic acid) were found in this fat. The proportion of all of fatty acids from both extraction methods was similar except that the soxhlet extraction method gave a slightly higher amount of stearic acid than the three phase partitioning method. Then, the fat from both extraction methods was stored at a room temperature and 6-7°C for 6 months and the samples were analyzed at 0, 1, 2, 4 and 6 months. Overall, physical and chemical properties of the fat from both extraction methods were similar except the saponification number, which was higher in the fat obtained through the soxhlet extraction method. In addition, the physical and chemical properties of the fat obtained from both extraction methods changed with storage time. Storing the samples at a higher temperature appeared to accelerate the changes. It was likely that the deterioration of the fat's characteristics was due to the oxidative rancidity.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008

Student's signature .....

Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. ..... 3. .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น ณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งความสำเร็จในครั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. โสภาค สอนไว อย่างยิ่งที่กรุณาให้คำแนะนำ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา และคอยดูแลในการวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. บัณฑิต อินณวงศ์ ผศ.ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร ผศ.ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษราภรณ์ งามปัญญา ที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นรวมถึงคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้พื้นฐานและคำแนะนำต่างๆ เพื่อสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่สำนักงาน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านและเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ เทคโนโลยีอาหารทุกๆคน ที่คอยให้ทั้งกำลังใจและกำลังกายและความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนหมู เพื่อนปู น้องปูที่ช่วยดูแลตลอดการเรียนที่ผ่านมาและที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณพ่อและแม่ที่ช่วยส่งเสริม และคอยช่วยเหลือทางด้านการศึกษา ทั้งกำลังใจ กำลังทรัพย์และทุกๆ สิ่งทุกๆ อย่างตลอดมา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญรูป		ฎ
บทที่		
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	สมมติฐานการศึกษา	3
	ขอบเขตการศึกษา	3
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	มะม่วง	4
	เนยโกโก้เลียนแบบ (cocoa butter alternatives; CBA)	9
	Cocoa Butter Equivalents (CBE)	9
	Cocoa Butter Substitutes (CBS)	11
	Cocoa Butter Replacers (CBR)	11
	สกัดน้ำมันด้วยวิธี three phase partitioning	11
	น้ำมันหรือไขมัน (oils and fats)	12
	การแบ่งประเภทของไขมัน	13
	กรดไขมัน (fatty acids)	13
	คุณสมบัติและคุณภาพของไขมัน	14
3	วิธีดำเนินงานวิจัย	17
	วัตถุดิบ	17
	สารเคมี	17
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	18
	วิธีการทดลอง	19
	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	19

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่เหมาะสม..... 20
การศึกษาการสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Soxhlet Extraction
และวิธี Three phase partitioning 20
การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วง..... 21
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วง..... 21
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 23
องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงสดก่อนการอบแห้ง 23
อุณหภูมิในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่เหมาะสม..... 24
การสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Soxhlet Extraction
และวิธี Three phase partitioning..... 26
การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วง 30
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเมล็ด
มะม่วงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้องและที่
อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส..... 35
ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) 35
ค่าสี (colour) 38
ค่าความหนืด (Viscosity) 42
ดัชนีจุดหลอมเหลว (Slip melting point) 45
ค่าไอโอดีน (Iodine Number) 46
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number)..... 49
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)..... 51
ค่าความเป็นกรด (Acid value)..... 54
5 สรุปผลการศึกษา..... 57
บรรณานุกรม 58
ภาคผนวก..... 61
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี..... 62
ภาคผนวก ข กระบวนการสกัดและการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ 71
ภาคผนวก ค อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ 73
ประวัติผู้วิจัย..... 75

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณ Natural fats ที่ใช้ใน CBE manufacture (H = high; M = medium; L = low)	6
2	ผลผลิตของมะม่วงในประเทศไทยในปี 2545	7
3	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว (หลังจากการอบแห้งให้มีความชื้นเหลือร้อยละ 9.55)	23
4	ผลของเวลาต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10	24
5	ค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness index หรือWI ของผงเมล็ดมะม่วงที่ได้จากเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ	25
6	ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วง (crude fat) ที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดทั้งสองวิธี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	27
7	ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีของ Solis-Fuentes และ Duran-de-bazua (2004) ซึ่งใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลายและการเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น t-butanol(ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้น)	28
8	ลำดับความมีขั้วของตัวทำละลายกลุ่มต่างๆ	29
9	ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน	30
10	อัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน เทียบกับกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกและเนยโกโก้ที่จำหน่ายในทางการค้า	34
11	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส	36
12	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ	36
13	การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness Index (WI) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส	39
14	การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness Index (WI) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ	40

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

15 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 43
16 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ 44
17 การเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลว (Slip melting point) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 45
18 การเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลว (Slip melting point) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิปกติ 46
19 การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน (Iodine Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 47
20 การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน (Iodine Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 ปกติ 48
21 การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 49
22 การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิปกติ 50
23 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 52
24 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิปกติ 53
25 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส 55
26 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิปกติ 55

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แผนภาพแสดงกระบวนการผลิต Cocoa Butter Equivalents	10
2	การทำปฏิกิริยาของไอโอดีนกับกรดไขมัน	15
3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของไขมันกับด่าง.....	15
4	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นเทียบกับเวลาระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน	24
5	โครมาโตแกรมของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี Soxhlet extraction และผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย	31
6	โครมาโตแกรมของของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี วิธี three phase Partitionและผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย	32
7	โครมาโตแกรมของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partition และผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ t-butanol เป็นตัวทำละลาย	32
8	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสงของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บ .	37
9	การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส	39
10	การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิปกติ.....	40
11	การเปลี่ยนแปลงค่า whiteness index ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา ...	41
12	การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา.....	44
13	การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา.....	48
14	การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่นของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา....	51
15	การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา	53
16	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา.....	56

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) จัดเป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยในประเทศไทยแล้วมีผลผลิตรวมหลายล้านตันต่อปี การผลิตมะม่วงในทางการค้าของประเทศไทยจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือใช้กินผลดิบ ผลสุก และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยมีส่วนของเมล็ดมะม่วงที่เป็นของเหลือทิ้ง (waste) จากการบริโภคและจากการแปรรูปในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนเนื้อในเปลือกแข็งที่เป็นสีขาวของเมล็ดมะม่วงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือนำไปผลิตเป็นแป้งหรือนำไปสกัดน้ำมัน ซึ่งน้ำมันเมล็ดมะม่วงนี้มีความเป็นพิเศษอยู่ตรงที่ว่าเป็นหนึ่งในน้ำมันจากพืชเพียง 6 ชนิดที่ได้รับการยินยอมโดยองค์กรควบคุมคุณภาพช็อกโกแลตของสหภาพยุโรป (EU Chocolate Directive) ให้ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเนยโกโก้เลียนแบบ (cocoa butter alternative) ชนิด cocoa butter equivalent: CBE สำหรับใช้แทนหรือผสมกับเนยโกโก้ในช็อกโกแลต ซึ่งเนยโกโก้นั้นเป็นไขมันจากต้นโกโก้ที่เป็นส่วนผสมหลักของช็อกโกแลต น้ำมันเมล็ดมะม่วงมีองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ชนิด StOSt ในปริมาณสูง โดย StOSt เป็น 1 ใน 3 ของชนิดไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเนยโกโก้ เมื่อนำน้ำมันเมล็ดมะม่วงมาผสมกับน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ได้เนยโกโก้เลียนแบบที่มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเหมือนกันกับของเนยโกโก้ ทำให้เนยโกโก้เลียนแบบที่ผลิตได้ดังกล่าวสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับเนยโกโก้เมื่อทำการผลิตช็อกโกแลต อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีเช่นชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันและของไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงจะผันแปรได้จากหลายๆ ปัจจัย ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำมันจากมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ที่มาจากแหล่งปลูกแตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำเอาน้ำมันจากมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ดังกล่าวไปดัดแปลงเพื่อผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบที่มีองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับของเนยโกโก้ให้มากที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเข้ากันไม่ได้ เมื่อใช้ร่วมกับเนยโกโก้ในช็อกโกแลต

ประเทศไทยในปัจจุบันได้สั่งสินค้าประเภทเนยโกโก้และเนยโกโก้เลียนแบบเข้ามาในปริมาณมากและที่ผ่านมานั้นนั้นยังไม่เคยมีการศึกษาอย่างจริงจังถึงกระบวนการสกัดน้ำมันและ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย ถ้าเรานำเมล็ดมะม่วงที่เป็นของเหลือทิ้งในประเทศมาทำการสกัดน้ำมันแล้วทำการศึกษาถึงองค์ประกอบของน้ำมันและคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำมันที่สกัดได้อย่างละเอียดและเป็นระบบเพื่อให้สามารถนำไปสู่การผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบคุณภาพสูงได้เองในอนาคต จะสามารถลดปริมาณนำเข้าเนยโกโก้เลียนแบบจากต่างประเทศได้ ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาถึงกระบวนการสกัดน้ำมัน องค์ประกอบทางเคมี (เน้นที่ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดต่างๆ) คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่สกัดได้ด้วยวิธีการการสกัดแบบ soxhlet extraction และแบบ three phase partitioning โดยเลือกที่จะทำการศึกษากับเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์แก้วเนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณการปลูกและที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงก่อนการนำไปสกัดน้ำมัน
- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์แก้วและปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยวิธีการสกัดแบบ soxhlet extraction และแบบ three phase partitioning
- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่สกัดได้จากวิธีการสกัดทั้ง 2 วิธี พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดังกล่าวตามเวลาเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและที่ 6-7 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.3 สมมติฐานการศึกษา

- การอบแห้งของเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อสีของเมล็ดแห้งที่นำมาสกัดน้ำมันซึ่งจะส่งผลต่อสีของน้ำมันที่สกัดได้
- การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงด้วยวิธีที่แตกต่างอาจจะมีผลต่อปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้ ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในน้ำมันและคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วง
- อุณหภูมิในการจัดเก็บที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

- ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. เมล็ดมะม่วงที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เฉพาะเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมใน อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี

2. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งนั้นจะทำการอบแห้งของเมล็ดมะม่วงโดยเปรียบเทียบการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ70 องศาเซลเซียสเพื่อลดปริมาณความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบสีที่เหมาะสมต่อการนำมาสกัดน้ำมันโดยจะเลือกอุณหภูมิที่ทำให้เมล็ดมะม่วงแห้งที่มีสีอ่อนแต่ไม่ใช้เวลาในการอบแห้งนานเกินไปมาใช้ในการสกัดน้ำมัน

3. การศึกษาปริมาณของน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงโดยเปรียบเทียบการสกัด 2 วิธีคือ Soxhlet Extraction และ Three phase partitioning แล้วนำน้ำมันที่สกัดได้มาศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะม่วง และเก็บตัวอย่างบางส่วนเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงประกอบไปด้วยการวิเคราะห์สี (Colour) การวิเคราะห์ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) การวิเคราะห์จุดหลอมเหลว (Slip melting point) และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Number) ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value)

4. การติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ทุก 0, 1, 2, 4 และ 6 เดือนตามระยะเวลาสำหรับการเก็บที่อุณหภูมิห้องปกติกับอุณหภูมิที่ 6-7 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วง

มะม่วง *(Mangifera indica* L.) อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae จัดเป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อประเทศในภูมิภาคเขตร้อน สำหรับในประเทศไทยแล้วมีผลผลิตรวมในประเทศประมาณ 1 - 1.4 ล้านตันต่อปี การผลิตมะม่วงในทางการค้าของประเทศไทยจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือใช้กินผลดิบ ผลสุก และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระป๋อง โดยมีส่วนของเมล็ดมะม่วงที่เป็นของเหลือทิ้ง (waste) จากการบริโภคและจากการผลิตมะม่วงกระป๋องในแต่ละปีเป็นปริมาณมหาศาล โดยเฉพาะแค่มะม่วงพันธุ์แก้วพันธุ์เดียวนั้นจะก่อให้เกิดเมล็ดเหลือทิ้งถึง 57,019 ตันต่อปี ทำให้เกิดการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งๆ ที่ส่วนเนื้อในเปลือกแข็งที่เป็นสีขาวของเมล็ดมะม่วงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือนำไปผลิตเป็นแป้งหรือนำไปสกัดน้ำมัน ซึ่งน้ำมันเมล็ดมะม่วงนี้มีความเป็นพิเศษอยู่ตรงที่ว่าเป็นหนึ่งในน้ำมันจากพืชเพียง 6 ชนิดที่ได้รับการยินยอมโดยองค์กรควบคุมคุณภาพช็อกโกแลตของสหภาพยุโรป (EU Chocolate Directive) ให้ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเนยโกโก้เลียนแบบ (cocoa butter alternative) ชนิด cocoa butter equivalent: CBE สำหรับใช้แทนหรือผสมกับเนยโกโก้ในช็อกโกแลต ซึ่งเนยโกโก้นั้นเป็นไขมันจากต้นโกโก้ที่เป็นส่วนผสมหลักของช็อกโกแลต ในปัจจุบันเนยโกโก้มีราคาแพงและมีการผันแปรของปริมาณการผลิตแบบปีต่อปีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศและความไม่มั่นคงด้านสภาวะทางการเมืองของประเทศผู้ปลูกต้นโกโก้ ทำให้ปริมาณความต้องการของเนยโกโก้เลียนแบบพุ่งสูงขึ้น น้ำมันเมล็ดมะม่วงมีองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ชนิด StOSt ในปริมาณสูง โดย StOSt เป็น 1 ใน 3 ของชนิดไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเนยโกโก้ (อีก 2 ชนิดที่เหลือคือ POP และ POSt) เมื่อนำน้ำมันเมล็ดมะม่วงมาผสมกับน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ได้เนยโกโก้เลียนแบบที่มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเหมือนกันกับของเนยโกโก้ ทำให้เนยโกโก้เลียนแบบที่ผลิตได้ดังกล่าวสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับเนยโกโก้เมื่อทำการผลิตช็อกโกแลตโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตและกระบวนการผลิตแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามการผลิตเนยโกโก้เลียนแบบชนิด CBE โดยการผสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

น้ำมันจากพืช 6 ชนิด (คือน้ำมันเมล็ดมะม่วง, น้ำมันปาล์ม, illipé จากเกาะบอร์เนียว มาเลเซีย, sal จากอินเดีย, shea จากอาฟริกา และ kokum gurgi จากอินเดีย) เข้าด้วยกัน องค์ประกอบทางเคมี เช่น ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันและของไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงนั้นจะผันแปรไปตามหลายๆ ปัจจัย เช่นชนิดของสายพันธุ์ ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะภูมิอากาศของแหล่งที่ทำการเพาะปลูกต้นโกโก้ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำมันจากมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ที่มาจากแหล่งปลูกแตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำเอาน้ำมันจากมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ดังกล่าวไปดัดแปลงเพื่อผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบที่มีองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับของเนยโกโก้ให้มากที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเข้ากันไม่ได้หรือ non-compatibility เมื่อใช้ร่วมกับเนยโกโก้ในช็อกโกแลต

ประเทศไทยในปัจจุบันได้สั่งสินค้าประเภทโกโก้เข้ามา เพื่อใช้ในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีม ลูกอม ลูกกวาดและช็อกโกแลต โดยองค์ประกอบที่สำคัญของช็อกโกแลตคือเนยโกโก้ ซึ่งเนยโกโก้เป็นไขมันที่ได้มาจากการบีบอัด cocoa liquor ด้วยแรงดันสูง (สมศักดิ์และคณะ, 2530; สุวรรณา, 2543) เนยโกโก้นี้มีคุณสมบัติพิเศษกว่าไขมันชนิดอื่นคือมีความคงตัวสูง จะแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิห้องปกติ (20 องศาเซลเซียส) เริ่มละลายที่ 30 องศาเซลเซียส และละลายได้หมดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกายเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเนยโกโก้มีราคาที่แพง ทำให้ในปัจจุบันมีการใช้เนยโกโก้เลียนแบบซึ่งผลิตได้จากไขมันและน้ำมันพืชแหล่งอื่นๆ เช่น palm oil, kokum butter และ shea butter เป็นต้น ทดแทนการใช้เนยโกโก้ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้เพื่อลดต้นทุนในการผลิต (Bernard, 1989; Talbot, 1999) โดยเนยโกโก้เทียมจะเป็นไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพเช่น อุณหภูมิในการตกผลึกและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้ (ณัฐยาวรรณ, 2547) จากการศึกษาพบว่าในเมล็ดมะม่วงมีน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์คล้ายกับเนยโกโก้ โดยเมื่อนำเมล็ดมะม่วงมาสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้ได้ไขมันแข็งที่รับประทานได้เป็นไขมันหรือน้ำมันเมล็ดมะม่วง ซึ่งพบว่ามีคุณลักษณะและคุณสมบัติคล้ายกับของเนยโกโก้ (วิจิตร, 2529; Talbot, 1999; Solis-Fuentes และ Duran-de-Bazua, 2004) โดยน้ำมันที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเนยโกโก้โดยเปรียบเทียบแหล่งที่มาของวัตถุดิบ องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันและปริมาณที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติสามารถนำมาใช้ร่วมกับหรือทดแทนเนยโกโก้ได้ ดังตารางที่ 1

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 1 ปริมาณ Natural fats ที่ใช้ใน CBE manufacture (H = high; M = medium; L = low)

Fat	Area of origin	Triglyceride composition			Comments
		POP	POSt	StOSt	
Cocoa butter	**-**	**M**	**H**	**H**	**-**
Palm (*Elaeis guineensis*)	Malaysia	H	M	L	Readily available
Illipe (*Shorea stenoptera*)	Borneo	L	H	H	Intermittent availability
Shea (*Butyrospermmum parkii*)	Wast Afarica	L	M	H	Variable availability
Sal (*Shorea robusta*)	India	L	M	H	Variable quality
Aceituno (*Simarouba glauca*)	El Salvador	L	L	H	Intermittent availability
Mango kernel (*Mangifera indica*)	**Tropics**	**L**	**L**	**H**	**Unexploited, low yields**
Kokum (*Garcinia indica*)	India	L	L	H	Low availability, Variable quality
Chinese vegetable tallow (*Sapium sebiferum*)	China	H	L	L	Unexploited, problems to obtain edible quality

ที่มา: Talbot, 1999

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงซึ่งเป็นหนึ่งในน้ำมันจากพืชที่สามารถใช้แทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลตได้นั้นยังไม่มีการศึกษาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยจากข้อมูลของผลผลิตมะม่วงของประเทศไทยในปี 2545 ดังตารางที่ 2 พบว่ามะม่วงที่มีการปลูกและให้ผลผลิตมากที่สุดคือมะม่วงพันธุ์แก้ว 358,078.37 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545) คิดเป็น 30% ของผลผลิตมะม่วงทั้งหมด โดยมีรายงานในนิตยสารผู้ส่งออกว่ามะม่วงที่ได้ทำการส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทำเป็นน้ำมะม่วงกระป๋องและมะม่วงชิ้นกระป๋องในปี 2542 คือมะม่วงพันธุ์แก้วและพันธุ์สามปี ส่วนที่มีการแปรรูปเป็นมะม่วงอบแห้งและมะม่วงแช่อิ่มสำหรับส่งออกทางประเทศทางตะวันออกคือมะม่วงพันธุ์แก้วและพันธุ์โชคอนันต์

ตารางที่ 2 ผลผลิตของมะม่วงในประเทศไทยในปี 2545

พันธุ์มะม่วง	ผลผลิตรวม (ไร่)	พื้นที่ปลูกรวม (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)
มะม่วงทั้งหมด	1,160,558	1,394,925	1,019.92	1,183,677.41
แก้ว	324,935	381,597	1,102	358,078.37
เขียวเสวย	303,943	365,297	920	279,627.56
น้ำดอกไม้	182,807	229,603	1,088	198,894.71
อกร่อง	90,245	99,445	958	86,454.71
โชคอนันต์	27,959	44,297	1,028	28,741.85

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าหากนำเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่เป็นวัสดุเหลือใช้หรือของทิ้ง (residue/waste) จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมาทำการผลิตเป็นน้ำมันเมล็ดมะม่วงจะสามารถให้ผลผลิตได้เป็นจำนวนมาก โดยเฉลี่ยมะม่วงพันธุ์แก้วหนึ่งผลจะหนักประมาณ 204.10 กรัม และเมล็ด (คิดจากเปลือกแข็งและภายในเมล็ดทั้งหมด) หนัก 32.5 กรัม(ธวัชชัยและคณะ, 2546) หากเรานำเมล็ดในไปทำการสกัดเอาน้ำมันออกมาตามกรรมวิธีที่ Solis-Fuentesc และ Duran-de-Bazua (2004) ได้ทดลองใช้ในการสกัดเมล็ดมะม่วงเม็กซิกัน พันธุ์ Manila ทำให้ได้น้ำมันเมล็ดมะม่วงประมาณร้อยละ 5.28–11.26 (น้ำหนักแห้งของเมล็ดในไม่รวมเปลือกแข็ง) ซึ่งหากคิดจากมะม่วงพันธุ์แก้วที่มีผลผลิตในปี 2545 แล้วพบว่ามีเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่เหลือทิ้งจำนวน 57,018.85 ตัน เมื่อนำมาคิดเป็นปริมาณน้ำมันที่จะสกัดได้ โดยให้น้ำหนักของเมล็ดมะม่วงสดที่มีการแกะเปลือกแข็งทิ้งไปแล้วเป็น 5 กรัมต่อผล ความชื้นของเมล็ดมะม่วงสดร้อยละ 40 และจะสกัดน้ำมันได้ร้อยละ 5.28 ของน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่ผ่านการอบแห้งแล้วให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ตามที่ Solis-Fuentesc และ Duran-de-Bazua (2004) ได้รายงานไว้ จะสามารถผลิตน้ำมันได้ในปริมาณกว่า 278 ตัน ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก โดยจากข้อมูลของเว็ปไซต์ชื่อ From nature with love (2550) พบว่าในปัจจุบันน้ำมันเมล็ดมะม่วงขายกันอยู่ที่ราคา 416.76 บาทต่อ 1 กิโลกรัม การนำเมล็ดมะม่วงทั้งหมดมาผลิตเป็นน้ำมันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงถึง 115.83 ล้านบาท โดยน้ำมันที่ผลิตได้ส่วนใหญ่สามารถนำไปใช้เป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ได้เพื่อลดการนำเข้าเนยโกโก้และเนยโกโก้เลียนแบบจากต่างประเทศได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์โดยการนำไปผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบ ในปริมาณค่อนข้างจำกัด ที่โดดเด่นคืองานของ Solis-Fuentesc และ Duran-de-Bazua (2004) ซึ่งได้ทดลองศึกษามะม่วงสายพันธุ์ Manila ของประเทศ Mexico โดยการนำเนื้อในเมล็ดมะม่วงมาทำการอบด้วย hot air oven ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 10 แล้วนำไปบดให้ละเอียด ทำการสกัดไขมันด้วย Soxhlet โดยใช้ hexane เป็นตัวทำละลายในการสกัด ทำการสกัดนาน 6 ชั่วโมงแล้วทำการระเหย solvent ออกโดยใช้ rotavapour ภายใต้สภาวะสุญญากาศ จะได้ crude fat ออกมาในปริมาณร้อยละ 5.28 – 11.26 ของน้ำหนักเมล็ดแห้งไม่รวมเปลือกแข็ง ซึ่ง Solis-Fuentes และ Duran-de-Bazua (2004) ได้นำวิธีการทำให้บริสุทธิ์ของ Wesson method มาใช้ ได้ purified fat เพื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพบว่ามีค่า refractive index เท่ากับ 1.466 ค่า acidity value เท่ากับร้อยละ 0.60 (as oleic acid) ค่า saponification index เท่ากับ 189.0 และค่า iodine index เท่ากับ 47.7

- การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันโดยเตรียมตัวอย่างเป็น methyl ester ของกรดไขมัน ใช้วิธีของ Boron trifluoride method (AOAC, 2000) ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า ปริมาณกรดไขมัน oleic (O), stearic (St) และ palmitic (P) เท่ากับร้อยละ 40.81, 39.07 และ 9.29 (w/w) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะม่วงอย่างคร่าวๆ เปรียบเทียบกับของเนยโกโก้ด้วยใช้เทคนิค scanning differential calorimetry และเทคนิค x-ray diffraction โดย Solis-Fuentes และ Duran-de-Bazua (2004) และ Solis-Fuentes และคณะ (2005) ซึ่งพบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์ Manila ของประเทศ Mexico เมื่อตกผลึกแล้วจะมีโครงสร้างที่เสถียรที่สุดเป็น β ที่มี x-ray diffraction characteristics (ทั้งจำนวนและตำแหน่งของ diffraction peaks) เหมือนกับของเนยโกโก้ ซึ่งจะแตกต่างจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าวที่เมื่อตกผลึกแล้วจะมีโครงสร้างที่เสถียรที่สุดเป็น β' การศึกษายังพบอีกว่าปริมาณไขมันที่อยู่ในสภาพของของแข็ง (solid fat content หรือ SFC) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ตกผลึกเป็นของแข็งมีค่าต่ำกว่าของเนยโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 33 องศาเซลเซียส ทำให้มีลักษณะอ่อนกว่าเนยโกโก้เล็กน้อย ในทางกลับกันค่า SFC ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 33 องศาเซลเซียสทำให้มีความแข็งมากกว่าของเนยโกโก้หรือมีลักษณะเป็น harder fat เมื่อเทียบกับของเนยโกโก้ ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติเด่นของน้ำมันเมล็ดมะม่วงเพราะสามารถนำไปผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในช็อกโกแลตทนอุณหภูมิสูงได้

2.2 เนยโกโก้เลียนแบบ (cocoa butter alternatives; CBA)

เนยโกโก้เลียนแบบเป็นไขมันที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลต เป็นเนยที่มีลักษณะแข็ง (hard butter) และมีคุณสมบัติทางเคมีได้แก่ องค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์และทางกายภาพใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ส่งผลให้เกิดการหลอมเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายและมีความคงตัวสูง (Lipp และ Anklem, 1998) โดย Talbot (1999) กล่าวว่าการเลือกแหล่งชนิดของไขมันที่เหมาะสมในการผลิตเนยโกโก้เทียมต้องพิจารณาถึงเหตุผลดังต่อไปนี้

- ต้องเป็นไขมันที่มีช่วงของการหลอมเหลวที่คล้ายกับเนยโกโก้
- เป็นไขมันที่ประกอบด้วยชนิดของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ที่คล้ายกับเนยโกโก้
- เป็นไขมันที่เมื่อผสมกับไขมันของเนยโกโก้แล้วสามารถเข้ากันได้
- เป็นไขมันที่เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นช็อกโกแลตต้องมีลักษณะคล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเนยโกโก้มาตรฐาน
- เป็นไขมันที่เมื่อทำการตกผลึกแล้วต้องมีโครงสร้างของผลึกเหมือนเนยโกโก้ในรูป β-form
- ลักษณะปรากฏและอายุในการเก็บรักษาโดยปราศจาก fat bloom ของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตที่ประกอบด้วยเนยโกโก้เทียมต้องเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนยโกโก้เป็นองค์ประกอบไขมันเพียงอย่างเดียว
- เป็นไขมันที่ทำให้เกิดความคงตัวของกลิ่นที่ดีของผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

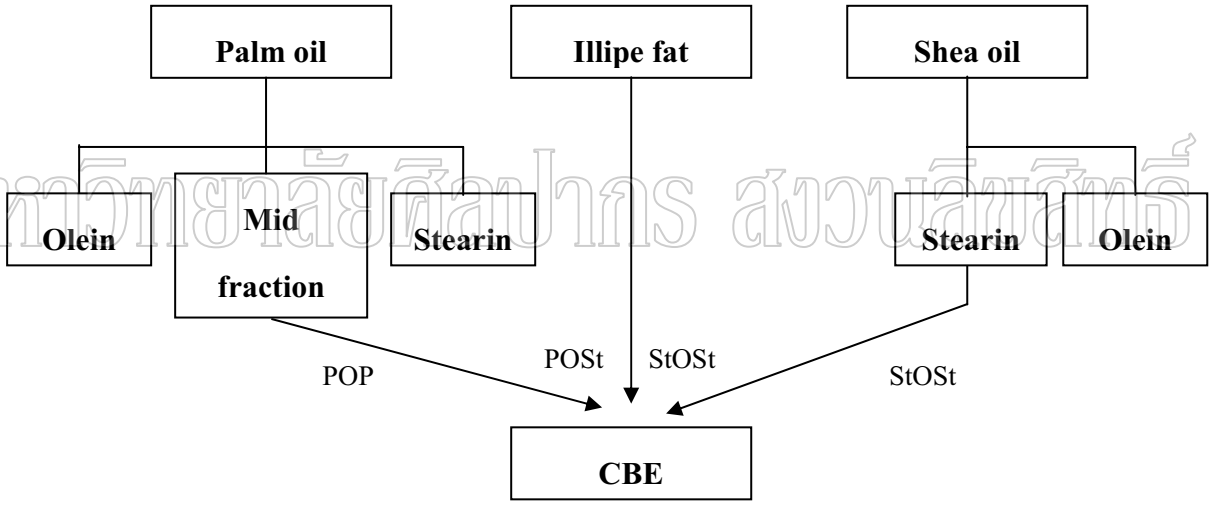
เนยโกโก้เลียนแบบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด (สุวรรณา, 2543 ; Lipp และ Anklem, 1998) ดังนี้

2.2.1 Cocoa Butter Equivalents (CBE)

Cocoa Butter Equivalents เป็นไขมันพืชกลุ่ม non-lauric fat ที่มีคุณสมบัติและสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกับเนยโกโก้และสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ทุกสัดส่วนในการผลิตช็อกโกแลตโดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของช็อกโกแลตได้แก่ การหลอมเหลว คุณลักษณะการไหลเมื่อหลอมละลายและกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง กฎหมายของทวีปยุโรปอนุญาตให้มีการใช้ CBE ที่ผลิตจากไขมันพืชชนิดต่างๆ เพียง 6 ชนิดเท่านั้นคือ palm oil, illipé fat, sal fat, kokum fat, shea oil และ mango kernel (ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1) เป็นส่วนผสมของช็อกโกแลต (Stewart และ Kristott, 2004) ซึ่งโดยทั่วไปการผลิต CBE สามารถทำได้โดยการตกผลึกแยกส่วน (fractional crystallization) น้ำมันเนื้อปาล์มหรือสังเคราะห์โดยตรงจากกลีเซอรอลและกรดไขมันที่

เลือกแล้ว หรือจากการตกผลึกไขมันจาก Borneo tallow (หรือ Illipe fat) ด้วยอะซีโตน แต่จะมีการผลิตด้วยวิธีนี้น้อย เนื่องจากราคาแพงและไม่ค่อยมีผู้ผลิต ในปัจจุบันใช้วิธีการสังเคราะห์เข้ามาช่วย โดยนำมาดัดแปลงทางเอนไซม์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Tranesterification และ Interesterification โดยปกติการใช้ CBE จะใช้ไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อให้สอดคล้องกับกฎหมายด้านอาหารของทวีปยุโรปที่ยอมรับให้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตสามารถมีส่วนผสมที่เป็นไขมันจากพืชชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่เนยโกโก้ได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ถ้าใช้ CBE แทนเนยโกโก้เกินกว่าร้อยละ 5 หรือแทนทั้งหมดจะเรียกผลิตภัณฑ์ว่า supercoating

ตัวอย่างแผนภาพของการผลิต CBE จากน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยแผนภาพจะที่บ่งบอกให้ทราบถึงแหล่งที่มาของไตรกลีเซอไรด์ที่สำคัญทั้ง 3 ชนิดคือ POP, POSt และ StOSt ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเนยโกโก้และ CBE



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิต Cocoa Butter Equivalents

ที่มา Talbot, 1999

2.2.2 Cocoa Butter Substitutes (CBS)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม lauric fat ที่ได้จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว โดยกระบวนการตกผลึกแยกส่วนและเติมไฮโดรเจนแล้วทำให้บริสุทธิ์ ทำให้ไขมันที่ได้มีความแข็ง ความรู้สึกเมื่อนำไปเคี้ยวและการปลดปล่อยกลิ่นคล้ายกับเนยโกโก้ เป็นไขมันที่มีกรดลอริกสูงและมีชนิดของไตรกลีเซอไรด์ต่างจากเนยโกโก้ ถ้านำไปผสมกับเนยโกโก้จะทำให้เกิดผลึกหลายโครงสร้างปนกันและจุดหลอมเหลวของส่วนผสมจะลดลงเนื่องจาก eutectic effect จึงไม่ควรใช้ผสมกับเนยโกโก้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเนยโกโก้ แต่คุณสมบัติทางเคมีจะแตกต่างกันจึงสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ร้อยละ 100

2.2.3 Cocoa Butter Replacers (CBR)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม non-lauric fat ที่ได้มาจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันฝ้าย น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง และเมล็ดปาล์ม แล้วนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชั่น และการตกผลึกแยกส่วน การเติมไฮโดรเจนจะทำภายใต้สภาวะที่เลือกไว้เพื่อให้เกิด trans-acid ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำมัน CBR ที่เตรียมโดยวิธีนี้จะมีกรดปาล์มมิติก สเตียริกและโอเลอิกเช่นเดียวกับเนยโกโก้ แต่การจัดเรียงสาย hydrocarbon chain ของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะไม่เหมือนกับของเนยโกโก้จึงทำให้สมบัติทางกายภาพแตกต่างจากเนยโกโก้ ทำให้เมื่อผสมกันกับเนยโกโก้แล้วเมื่อตกผลึกจะเกิดผลึกหลายโครงสร้างปนกันและมีปรากฏการณ์ eutectics เกิดขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่มีความมันวาวและเกิด Fat bloom มาก ไขมันในกลุ่มนี้จึงใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.3 การสกัดน้ำมันด้วยวิธี three phase partitioning

เป็นวิธีการสกัดที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการแยกแบบ bioseparation process ของโปรตีน/เอนไซม์ และถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นครั้งแรกกับน้ำมันโดย Sharma และคณะ (2002) ซึ่งได้ทำการสกัดน้ำมันจากถั่วเหลืองด้วยวิธีการสกัดดังกล่าว ต่อมา Gaur และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบ three phase partitioning ในการสกัดน้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดมะม่วง การสกัดวิธีนี้มีข้อดีกว่าการสกัดแบบวิธี soxhlet extraction ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือใช้กรรมวิธีที่ง่ายกว่าหรือมีความซับซ้อนน้อยกว่าและใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า แต่ข้อเสียคือวิธีการสกัดแบบ three phase partitioning จะให้ปริมาณน้ำมันที่

สกัดได้ต่อหน่วยของวัตถุดิบตั้งต้นค่อนข้างต่ำ แต่จากการศึกษาของ Gaur และคณะ (2006) พบว่าการใช้เอนไซม์ proteases ทำการย่อยวัตถุดิบสำหรับการสกัดน้ำมันก่อนสักช่วงเวลาหนึ่งแล้วถึงนำไปสกัดน้ำมันด้วยวิธี three phase partitioning ตามปกติ จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ต่อหน่วยของวัตถุดิบตั้งต้นที่ใกล้เคียงกับของวิธีการสกัดแบบ Soxhlet extraction มากขึ้น ขั้นตอนคร่าวๆ ของการสกัดแบบ three phase partitioning ประกอบด้วย (สำหรับการสกัดวัตถุดิบตั้งต้น 5 กรัม) (Sharma และคณะ, 2002):

- นำวัตถุดิบที่ต้องการสกัดน้ำมัน ที่ผ่านการอบแห้งและบดให้เป็นผงแล้วปริมาณ 5 กรัม มาผสมน้ำกลั่นปริมาณ 30 มิลลิลิตร แล้วคนเบาๆ จนได้ส่วนผสมที่เข้ากันดี
- เติม Ammonium sulphate (ร้อยละ30, w/v) แล้วคนต่อ
- เติมตัวทำละลายอินทรีย์ (*t*-butanol หรือ *n*-propanol หรือ isopropanol หรือ ethanol) ปริมาณ 30 มิลลิลิตร
- นำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเกิดแยกชั้นออกมาเป็น 3 ชั้นคือ upper organic phase, lower aqueous phase และ interfacial precipitate layer
- นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 10 นาที ได้ชั้นของ upper organic phase แล้วนำไประเหยเอาตัวทำละลายออก ทำให้ได้ส่วนที่เหลือเป็นน้ำมันที่ต้องการสกัด แล้วจึงนำไปผ่านการทำ refining

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.4 น้ำมันหรือไขมัน (oils and fats)

น้ำมัน (oils) หรือไขมัน (fat) เป็นสารอินทรีย์ (organic matter) ที่มีในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น เบนซีน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และอื่นๆ การเรียกน้ำมันเป็นไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งมีอยู่เพียงชนิดเดียวคือ ไตรเอซิลกรีเซอรอล (triacylglycerol) แต่เราเรียกว่าไขมันหรือน้ำมันเป็นการเรียกไตรกลีเซอรอลตามลักษณะทางกายภาพ โดยเรียกไตรกลีเซอรอลที่เป็นของแข็งเรียกว่า ไขมัน ส่วนไตรกลีเซอรอลที่เป็นของเหลวจะเรียกว่า น้ำมัน และไตรกลีเซอรอลจะพบมากที่สุดในธรรมชาติ การย่อยสลายน้ำมันจะได้สารประกอบที่มีหน่วยเล็กลง เช่น โมโนเอซิลกลีเซอรอล หรือเรียกว่ากรดไขมัน (fatty acid) โดยกรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)

2.4.1 การแบ่งประเภทของไขมัน

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Simple lipid ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.1 Neutral fats หรือ triglycerides เป็น esters ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล

1.2 Waxes เช่น ขี้ผึ้ง (beeswax) เป็น ester ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ เช่น esterify กับ cholesterol, วิตามิน A และวิตามิน D

2. Compound lipids เป็น ester ของกรดไขมันที่มีกลุ่มของสารต่างๆ เกาะอยู่และต่อกับแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น

2.1 Phospholipid ซึ่งเป็นไขมันที่มี phosphoric acid และ Nitrogen เป็นส่วนประกอบเช่น phosphatidic acid, lecithins, cephalins, plasmalogens และ sphingomyelins

2.2 Glycolipids เป็นไขมันที่มี carbohydrate เป็นส่วนประกอบอยู่

2.3 Lipoproteins คือ lipid ที่รวมตัวอยู่กับ protein พบในเนื้อเยื่อต่างๆและเลือด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3. Derived lipids คือ พวกที่เปลี่ยนแปลงมาจาก lipid เช่น แอลกอฮอล์ รวมไปถึง sterol และพวก hydrocarbon

2.4.2 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) หมู่เดียวต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) สายยาวดังนี้คือ R-COOH (R แทน hydrocarbon ที่ต่างกับไป) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันในรูปอิสระ (free fatty acid) น้อยมาก ส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของ ester ในไขมัน กรดไขมันในธรรมชาติมักจะมีจำนวน carbon อะตอมเป็นเลขคู่ ระหว่าง 4-24 อะตอม ที่พบมากจะมีจำนวน carbon 16 และ 18 อะตอม

ประเภทของกรดไขมัน

กรดไขมันแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้ 2 ประเภท ดังนี้คือ

1. กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของ hydrogen เต็มความสามารถของ carbon อะตอมที่จะรับได้ ดังนั้นกรดไขมันชนิดนี้จึงมีเฉพาะพันธะเดี่ยว (single bond) ระหว่างอะตอม carbon เท่านั้น

2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือกรดไขมันที่มีพันธะคู่(double bond) ระหว่างอะตอม carbon อย่างน้อย 1 คู่ ทำให้สามารถรับอะตอมของhydrogen ได้อีก

ข้อแตกต่างของกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

1. ในกรณีที่จำนวน carbon เท่ากัน กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ไขมันจะมีลักษณะนิ่มกว่าหรือมีลักษณะเหลวที่อุณหภูมิห้องในเวลาเดียวกัน ไขมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวประกอบอยู่มากจะแข็งกว่า มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า จุดหลอมเหลวของไขมันจะเป็นตัวบ่งให้ทราบถึงปริมาณ และชนิดของ fatty acid ที่ประกอบอยู่ในไขมันนั้นในทางอ้อม

2. กรดไขมันที่มีจำนวน carbon มากกว่าจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าเสมอ ไม่ว่าจะเป็นชนิดอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ตาม

3. กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในโมเลกุล ประกอบด้วยพันธะคู่ (double bond) จึงถูกoxidized ได้ง่าย ตรงตำแหน่ง double bond ทำให้หืนได้เร็วและง่าย ดังนั้น ไขมันชนิดไหนที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จะเก็บไว้ได้ไม่นานเพราะจะหืนง่าย

4. กรดไขมันที่มีจำนวน carbon น้อยกว่า จะมีจุดเดือดต่ำกว่าพวก carbon มาก

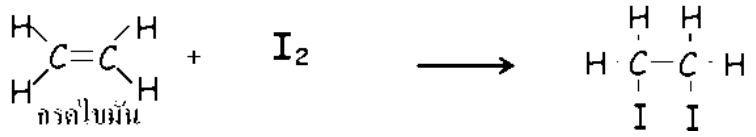
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.4.3 คุณสมบัติและคุณภาพของไขมัน

ไขมันจะต้องมีคุณสมบัติข้างต้นนี้คือ

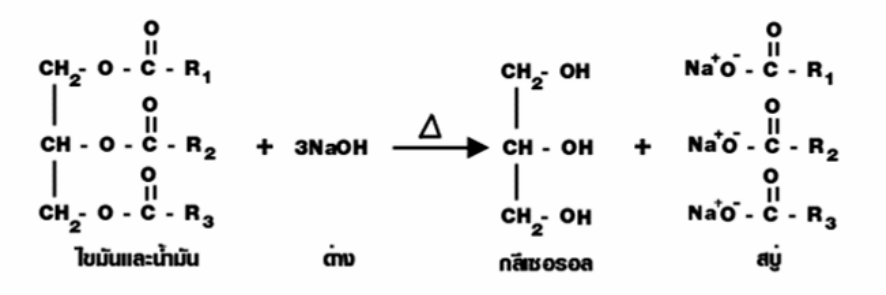
1. จุดหลอมเหลว (Melting point) เนื่องจากไขมันประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดซึ่งกรดไขมันแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงทำให้ไขมันแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ไขมันเริ่มหลอมเหลวจนกระทั่งหลอมเหลวหมด จุดหลอมเหลวของไขมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและจำนวนพันธะคู่ โดยจุดหลอมเหลวจะสูงขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นและจุดหลอมเหลวจะต่ำลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น

2. ค่าไอโอดีน (Iodine number) เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันหรือปริมาณพันธะคู่ของไขมันนั่นเอง ค่าไอโอดีนหมายถึงจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมัน 100 กรัมโดยไอโอดีนจะเข้าไปจับกับคาร์บอนที่ของตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังรูปที่ 2 ซึ่งถ้ามีพันธะคู่มากก็จะจับได้มาก ค่าไอโอดีนจะสูงมากด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วไขมันบริสุทธิ์แต่ละชนิดจะมีค่าไอโอดีนไม่เท่ากันเช่น น้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าไอโอดีนประมาณ 130-137 แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง ตรงกับข้ามกับน้ำมันมะพร้าวซึ่งมีค่าไอโอดีนประมาณ 8-10 เท่านั้นเอง



รูปที่ 2 การทำปฏิกิริยาของไอโอดีนกับกรดไขมัน

3. การ Saponification คือขบวนการที่เกิดจากการนำไขมันไปต้มกับด่าง (KOH หรือ NaOH) ทำให้เกิดสารใหม่ คือ กลีเซอรอล และเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ (soap) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของไขมันกับด่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส น้ำมันที่มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นมากแสดงว่าเหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สบู่ต่อไป

4. การ Hydrogenation เป็นขบวนการที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกลายเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว โดยการเติม hydrogen (H) เข้าไปในพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$CH_2\text{-}(CH_2)_6\text{-}CH{=}CH\text{-}(CH_2)_6COOH + H_2 \longrightarrow CH_2\text{-}(CH_2)_6\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}(CH_2)_6COOH$$

ขบวนการนี้ทำให้ไขมันแข็งตัวขึ้น มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการนำเอาน้ำมันพืชมาผลิตเป็นเนยเทียม (margarine) เพื่อใช้ทดแทนเนยเหลว (butter) ซึ่งมีราคาแพงกว่า นอกจากนี้ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไขมันด้วย

5. การ Oxidation และ การเหม็นหืน (rancidity) เป็นขบวนการที่ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูก oxidize ที่ตำแหน่ง carbon อะตอมที่ติดกับพันธะคู่ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นต้น (initiation)

$RH(fat) + O_2 \longrightarrow ROOH$ (hydroperoxide)

$ROOH + metal^{(n)+} \longrightarrow ROO^{o}$ (peroxide) $+ metal^{(n-1)+} + H^{+}$

2. ขั้นกลาง (propagation)

$ROO^{o} + RH \longrightarrow ROOH + R^{o}$ (free radical)

$R^{o} + O_2 \longrightarrow ROO^{o}$

3. ขั้นสุดท้าย (termination)

$ROO^{o} + ROO^{o} \longrightarrow ROOR + O_2$

$ROO^{o} + R^{o} \longrightarrow ROOR$

$R^{o} + Ro \longrightarrow RR$

ปัจจัยที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้แก่ แสงสว่าง อุณหภูมิ ธาตุโลหะ เช่น ทองแดง (Cu) และ เหล็ก (Fe) เป็นต้น ผลที่ได้จากการเกิด oxidation คือ กรดไขมันที่มีขนาดสั้นลงรวมทั้งพวก free fatty acid และ aldehyde ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน (rancidity) มีผลทำให้อาหารไม่เกิดความน่ากิน มีวิธีป้องกันคือ เติมสารกันหืน (antioxidant) เพื่อชะลอการหืนของไขมัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

เก็บตัวอย่างเมล็ด (seed) มะม่วงพันธุ์แก้วที่มีความสุกปานกลางจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะม่วงอบแห้งในอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ที่ผ่านการปอกเปลือกและฝานเอาเนื้อของมะม่วงออกรอการกำจัดทิ้งมาทำการบรรจุในถุงพลาสติกสีดำแล้วทำการขนส่ง จากโรงงานถึงห้องปฏิบัติการที่จังหวัดนครปฐม ใช้ระยะเวลาโดยประมาณในการขนส่ง 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการแกะเปลือกแข็งด้านนอกของเมล็ดออกเพื่อใช้เนื้อในที่มีสีขาว (kernel) ที่อยู่ด้านในของเมล็ดมะม่วง จากนั้นเก็บในถุงซิปล็อกพลาสติกชนิด PE เป็นถุงที่มีปากถุงล็อคได้ทำมาจากพลาสติกชนิด polyethylene ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งสามารถบรรจุอาหารแช่แข็งได้และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์ เนื่องจากอาจมีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) (นิธิยา, 2549) เกิดขึ้นได้ในช่วงของการจัดเก็บระหว่างรอการอบแห้ง การสกัดน้ำมันและการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (Mallinckrodt)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck)
3. เอททิลแอลกอฮอล์ (Fluka)
4. เมททิลแอลกอฮอล์ (Merck)
5. น้ำกลั่น
6. ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ (Mallinckrodt)
7. คอปเปอร์ซัลเฟต (Merck)
8. โพแทสเซี่ยมไดซัลไฟด์ (Merck)
9. กรดบอริก (Merck)

10. เมททิลเรด (Merck)
11. ไฮโดรคลอริก (Mallinckrodt)
12. โพแทสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (Merck)
13. คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carlo erba)
14. สารละลาย Wijs (Carlo erba)
15. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Merck)
16. โซเดียมไทโอซัลเฟต (Merck)
17. น้ำแป้ง
18. ฟีนอล์ฟทาลีน (Merck)
19. กรดอะซิติก (Merck)
20. คลอโรฟอร์ม (Merck)
21. เฮกเซน (Mallinckrodt)
22. แอมโมเนียมซัลเฟต (Carlo erba)
23. โบรอนไตรฟลูออไรด์ (Merck)
24. โซเดียมซัลเฟต (Ajax)
25. ที-บิวธานอล (Ajax)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer)(Vacuum oven VOS-300SD, Japan)
2. เครื่องปั่นผสม (รุ่น Ultra Turrax T25 Basic บริษัท IKA, Germany)
3. เครื่องวัดสี (colorimeter) (Miniscan รุ่น XE Plus บริษัท Hunter Lab, USA)
4. เครื่องสกัดไขมัน (Soxtec system HT 1043 extraction unit, Sweden)
5. เครื่อง rotary evaporator (Buchi Vac V-500, Switzerland)
6. เครื่อง Hot Plate with Magnatic stirrer (CAT M6, Germany)
7. เตาเผา (muffle furnace) (Carbolite, England)
8. เครื่องกรอง Büchner (B-169 Vacuum system, Switzerland)
9. เครื่องย่อยโปรตีน (Kjeldahl digestion) (Gerhardt scrubber unit, Germany)
10. เครื่องกลั่นโปรตีน (Vapodest33, Germany)
11. เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) (รุ่น Universal 16 บริษัท Hettich, Germany)

12. แก๊สโครมาโทกราฟี-เฟรมไอออไนส์ดีเทคเตอร์ (GC-FID) (Agilent 19091s-113, USA)
13. เครื่องวัดดัชนีหักเหของแสง (Abbe refractometer) (รุ่น 2110-W06 บริษัท Atago Co.Ltd., Japan)
14. เครื่องวัดสี (tintometer) (Lovibond, PFX 190, Germany)
15. เครื่องวัดความหนืด (Brookfields รุ่น DVLVII, USA.)
16. เครื่อง water cooler (Eyela cool ACE CA-1100, Japan)
17. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Radiometer รุ่น PHM 210 บริษัท Metro Lab, France)
18. เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) (BINDER รุ่น ED 53, USA)
19. เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ 2 ตำแหน่ง (บริษัท Sartorius, Germany)
20. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (รุ่น BP 221S, บริษัท Sartorius, Germany)
21. ตู้เย็น Sanden intercool (Eliwall ID974, Thailand)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของเมล็ดมะม่วง ก่อนการอบแห้งโดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

-ปริมาณความชื้น (Moisture content) ใช้วิธี Hot Air Oven (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 2)

-ปริมาณเถ้า (Total ash) ใช้วิธี Direct Method (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 3)

-เส้นใยอาหาร (Crude fiber) ใช้วิธี AOCS-AOAC method (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 4)

-ไขมัน (Crude fat) ใช้วิธี Direct Method (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 5)

-โปรตีน (Protein content) ใช้วิธี Kjeldahl Method (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 6)

-การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก ข้อ 7)

3.4.2 การศึกษาเพื่อหา อุณหภูมิในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่เหมาะสม

ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงโดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

- ทำการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Oven) ภายใต้ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท โดยเปรียบเทียบการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งเหลือปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 เพื่อหาระยะเวลา (เป็นชั่วโมง) ที่ต้องอบจนได้ความชื้นดังกล่าวจากนั้นนำเมล็ดมะม่วงที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสม และทำการวัดสี (ค่า L*, a* และ b*) (โดยที่ในระบบสี L*, a*, และb นี้ ค่า L* แสดงค่าความสว่าง ค่า a* และค่า b* บอกทิศทางของสี เช่น +a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีแดง –a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว , +b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ –b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน) ด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Miniscan XE Plus Hunter Lab, USA แล้วนำมาคำนวณค่า Whiteness index ตามสมการ

$$\text{Whiteness index (WI)} = 100 - [\,(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}\,]^{1/2}$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

เพื่อเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมัน โดยใช้ค่า Whiteness index (WI) และเวลาที่ใช้ในการอบเป็นเกณฑ์ในการเลือก อุณหภูมิที่เลือกไว้ดังกล่าวจะใช้ในการอบแห้งมะม่วงสำหรับการสกัดน้ำมันเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4.3 การศึกษาการสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Soxhlet Extraction และวิธี Three phase partitioning

การศึกษาในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันสองวิธี โดยทำการสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Soxhlet Extraction โดยตามกรรมวิธีของ Solis-Fuentesc และ Duran-de-bazua (2004) โดยทำการสกัดเป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ตามภาคผนวก ข.1 และการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Three phase partitioning จะใช้ตามกรรมวิธีของ Ruchi Gaur และคณะ (2007) ตามภาคผนวก ข.3 แล้ววัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธี จากนั้นนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (purified) โดยใช้วิธีของ Solis-Fuentesc และ Duran-de-bazua (2004) ตามภาคผนวก ข .2 และมีการเปลี่ยนตัวทำละลายในวิธี Three phase partitioning จาก petroleum ether เป็น t-butanal เทียบกับการใช้ petroleum ether ตามปกติ แล้ววัด

ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธี หลังจากนั้นทำการจัดเก็บน้ำมันบางส่วนไว้ในสภาวะที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียสกับอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 6 เดือนและนำตัวอย่างบางส่วนมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.4 การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

นำน้ำมันมาศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID) โดยใช้เครื่อง GC ของ Hewlett – Pachard (HP) รุ่น 6890 Gas chromatography (Agilent Technology Inc.) และตรวจวิเคราะห์ด้วย FID ใช้คอลัมน์ 19091 N - 133 innowax เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร โดยทำการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ก.16

3.4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือนโดยทำการตรวจที่ 0, 1, 2, 4 และ 6 เดือน เพื่อเปรียบเทียบสภาวะการจัดเก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียสกับอุณหภูมิห้องปกติและศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมัน

โดยวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) โดยใช้ Abbe refractometer ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 8)

2. การวิเคราะห์ สี (color) โดยใช้ tintometer, Lovibond, PFX 190 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 9)

3. การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) โดยเครื่อง Brookfields รุ่น DVLVII ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 10)

4. การวิเคราะห์จุดหลอมเหลว (Slip melting point) โดยวิธี PORIM test method (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 11)

5. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Number) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 12)

6. การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 13)

7. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 14)

8. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 15)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงสดก่อนการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงสดก่อนการอบแห้งที่นำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมพร้อมทั้งทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบด้วย ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงสดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 เนื่องจากผลไม้ที่นำมาทำการศึกษามีระดับของความสุกที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ โดย Solis-Fuentesc และ Duran-de-bazua (2004) ได้ทำการศึกษาปริมาณของน้ำมันของเมล็ดมะม่วงเม็กซิกัน พันธุ์มะนิลา พบว่ามะม่วงดิบจะมีปริมาณน้ำมันเพียงร้อยละ 5.28 ในขณะที่มะม่วงสุกมีปริมาณน้ำมันถึงร้อยละ 9.36 ในส่วนของเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นมะม่วงอบแห้ง จึงมีระดับของความสุกปานกลาง ลักษณะของเนื้อมะม่วงยังมีความแข็งอยู่ โดยในเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วนั้นมีปริมาณน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 62-74 แต่จากตารางที่ 3 จะพบว่าหลังจากผ่านการอบแห้งมีปริมาณของไขมันอยู่เพียงร้อยละ 7-8 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่น้อยมากแต่ด้วยคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงนี้ซึ่งมีความใกล้เคียงกับของเนยโกโก้ จึงได้มีความต้องการในการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดังกล่าวเพื่อประโยชน์ในการใช้งานต่อไปในอนาคต

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

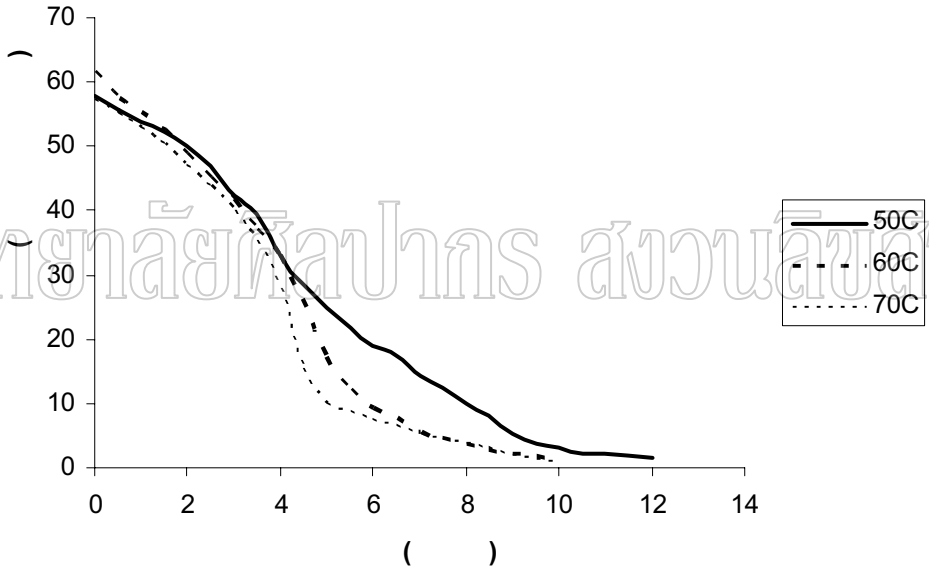
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว (หลังจากอบแห้งให้มีความชื้นเหลือร้อยละ 9.55

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ไขมัน	7.54±0.50
โปรตีน	2.20±0.13
เส้นใย	6.06±0.16
เถ้า	1.28±0.03
คาร์โบไฮเดรต**	73.37±0.55

*ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก, **จากการคำนวณ

4.2 อุณหภูมิในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่เหมาะสม

ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชโดยทั่วไปแล้วจะต้องทำการอบแห้งเมล็ดพืชเพื่อลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ให้น้อยลงก่อนการสกัด จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 (Solis-Fuentesc และ Duran-de-bazua, 2004) โดยทำการเก็บข้อมูลของปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง แล้วนำมาพล็อตเป็นกราฟอัตราการทำแห้ง (drying curve) เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของเมล็ดมะม่วงที่ลดลงเทียบกับเวลาในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 ส่วนตารางที่ 4 แสดงถึงระยะเวลา (เป็นชั่วโมง) ที่ต้องใช้ในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้ได้ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นเทียบกับเวลาระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้ได้ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10

อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)
50	8	9.95±0.03
60	6	9.55±0.12
70	5	9.99±0.02

ในระหว่างการอบแห้งเกิดการลดลงของความชื้นของเมล็ดมะม่วงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในการอบแห้งช่วงแรกจากนั้นความชื้นจะค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายจนกระทั่งถึงความชื้นวิกฤต จากจุดนี้ไปสามารถกำหนดระยะเวลาในการอบแห้งตามที่ต้องการจากจุดวิกฤตนี้ จากการศึกษาพบว่าการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงจะทำให้มีการลดลงของความชื้นรวดเร็วส่งผลให้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 5, 6 และ 8 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งเมล็ดมะม่วงที่อุณหภูมิ 70 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 และตารางที่ 4 เพื่อให้เมล็ดมะม่วงมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะเร่งการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์มากกว่าการอบแห้งที่ใช้สภาวะการอบแห้งต่ำ

หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างที่บดเป็นผงเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการอบแห้งที่ทั้ง 3 อุณหภูมิมาทำการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีเพื่อดูความแตกต่างของสีที่ได้จากการอบแต่ละอุณหภูมิ และได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness index หรือ WI ของผงเมล็ดมะม่วงที่ได้จากเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

อุณหภูมิ (°C)	L*	a*	b*	WI
50	$84.35^{a}\pm0.16$	$1.37^{b}\pm0.05$	$14.20^{b}\pm0.17$	78.83^{a}
60	$82.69^{b}\pm0.39$	$1.96^{a}\pm0.10$	$15.81^{a}\pm0.25$	76.46^{b}
70	$82.55^{b}\pm0.28$	$1.96^{a}\pm0.06$	$16.19^{a}\pm0.11$	76.12^{b}

*a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

ค่า Whiteness index หรือ WI เป็นค่าที่บอกถึงความขาว ปกติใช้ในการวัดค่าความขาวของผลิตภัณฑ์จำพวกแป้งและข้าว จากตารางที่ 5 จะพบว่าค่า WI ของผงเมล็ดมะม่วงที่ได้จากเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งจากทั้ง 3 อุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่ามากกว่าแสดงว่าตัวอย่างมีสีออกขาวมากกว่า โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงนั้น อิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำจึงทำให้การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่า WI ของ

ผงเมล็ดมะม่วงที่สูงกว่า แต่จากการศึกษาพบว่าการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนาน ทำให้เสียเวลาและพลังงานเป็นปริมาณมาก

ส่วนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนั้นให้ค่า WI ใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่า แต่ได้มีงานวิจัยที่ระบุว่าในเมล็ดมะม่วงมีสารจำพวกโพลีฟีนอลเป็นจำนวนมาก โดย Arogba (2000) ได้ทำการศึกษาสารจำพวกโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในเมล็ดมะม่วง พบว่ามีสารประกอบจำพวกแทนนิน เช่น tannic acid, gallic acid และ epicatechin ในอัตราส่วน 17:10 :1 รวมกันได้ถึงร้อยละ 6.4 (w/w) โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารจำพวกนี้จะถูกทำลายที่อุณหภูมิสูง โดยจากการวิจัยพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 3 นาทีจะทำให้มีปริมาณลดลงถึงร้อยละ 50 การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 5 ชั่วโมงนั้นน่าจะมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียสารจำพวกโพลีฟีนอลดังกล่าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเลือกใช้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง สำหรับใช้ในการอบแห้งเมล็ดมะม่วงเพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันที่จะนำมาศึกษาคุณสมบัติต่อไป ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Solis-Fuentesc และ Duran-de-bazua (2004) ที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการสกัดน้ำมันเช่นกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4.3 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี soxhlet extraction และวิธี three phase partitioning

ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้วิธี soxhlet extraction ตามภาคผนวก ข.1 (นาน 6 ชั่วโมง) ตามการศึกษาของ Solis-Fuentesและ Duran-de-bazua (2004) และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ด้วยวิธี three phase partitioning ตามกรรมวิธีของ Sharma และคณะ (2002) ได้ผลดังตารางที่ 6 โดยกระบวนการสกัดโดยใช้วิธี soxhlet extraction เป็นกระบวนการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย เป็นวิธีการแยกสารวิธีหนึ่งที่อาศัยหลักการเกี่ยวกับการละลายของสาร สารแต่ละชนิดจะละลายได้ในตัวทำละลายต่างกัน สารบางชนิดมีจุดเดือดต่ำ ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายและไม่ละลายน้ำ จึงใช้ไอร้อนของตัวทำละลายช่วยในการแยกสารได้ แต่กระบวนการสกัดโดยวิธี three phase partitioning จะอาศัยหลักการของการตกตะกอนของโปรตีนซึ่งใช้ ammonium sulphate เข้าไปทำการ break cell แล้วนำ t-butanol ซึ่งเป็นตัวทำละลายจับกับน้ำมันที่มีอยู่แยกชั้นลอยขึ้นมาด้านบนออกจากชั้นของตัวอย่างและโปรตีนที่ได้ทำการตกตะกอนโดยทำการแยกน้ำมันนี้ที่อุณหภูมิห้องปกติ (Kansal และคณะ, 2006) ต่างจากกระบวนการสกัดโดยวิธี soxhlet extraction ซึ่งการสกัดโดยวิธี three phase partitioning จะมีปริมาณของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในการสกัด ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction กับการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning ไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติทั้งๆ ที่ได้มีการรายงานมาก่อนหน้านี้แล้วว่าการสกัดแบบ three phase partitioning ให้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าแบบ soxhlet extraction (Gaur, 2007) ทั้งนี้น่าจะมาจากสาเหตุที่ว่าการสกัดโดยวิธี three phase partitioning ไม่สามารถแยกเอาน้ำหรือสารประกอบชนิดอื่นละลายเจือปน ที่มีอยู่ในน้ำมันออกมาได้ทั้งหมดส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดทั้งสองวิธีเท่ากันโดยมีความเป็นไปได้สูงที่น้ำมันที่สกัดได้จากวิธี three phase partitioning มีองค์ประกอบอื่น ละลายเจือปนอยู่สูง

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วง (crude fat) ที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดทั้งสองวิธี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

พารามิเตอร์	วิธีการสกัด	
	soxhlet extraction	three phase partitioning
ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	$7.54^{ns}\pm0.50$	$6.62^{ns}\pm1.36$

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากนั้นนำน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธีดังกล่าวไปทำให้บริสุทธิ์ตามกรรมวิธีของ Solis-Fuentesและ Duran-de-bazua (2004) ซึ่งใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย และได้ดัดแปลงวิธีการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ในน้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยวิธี three phase partitioning โดยเปลี่ยนตัวทำละลายจาก petroleum ether เป็น t-butanol แล้วทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ตามกรรมวิธีของ Solis-Fuentes และ Duran-de-bazua (2004) เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยวิธี three phase partitioning ไม่สามารถละลายได้ดีใน petroleum ether หรือละลายได้น้อยซึ่งอาจจะมาจากสารเจือปนบางชนิดที่มีสมบัติคล้ายไขมัน เช่น ฟอสโฟลิปิด สารประกอบเชิงซ้อนของไขมันและโปรตีน (fat-protein complex) โพลาร์ลิปิดซึ่งละลายได้ในน้ำปนอยู่ด้วย รวมเรียกว่ากัม (gums) เป็นต้น (นิธิยา, 2548) แต่ละลายได้ในตัวทำละลาย t-butanol ซึ่งน่าจะมาจากการที่ตัวทำละลาย t-butanol มีความเป็นขั้วสูงกว่าตัวทำละลาย petroleum ether น้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยวิธี three phase partitioning จึงสามารถละลายได้ดีกว่า ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้หลังจากผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีของ Solis-Fuentes และ Duran-de-bazua (2004) ซึ่งใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลายและการเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น t-butanol (ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้น)

พารามิเตอร์	วิธีการสกัด/ตัวทำละลายที่ใช้ในการทำให้บริสุทธิ์		
	soxhlet extractioning/ petroleum ether	Three phase partitioning/ petroleum ether	three phase partitioning/ t-butanol
ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้น)	$64.40^{a}\pm4.93$	$25.87^{b}\pm0.29$	$51.03^{a}\pm6.04$

*a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

จากตารางที่ 7 พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (soxhlet extraction และ three phase partitioning) แต่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีเดียวกันจะทำให้ได้ปริมาณที่แตกต่างกันและการสกัดด้วยวิธีเดียวกันแต่การทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน (petroleum ether และ t-butanol) ก็ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction และใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลายจะได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือร้อยละ 64.40 โดยที่ร้อยละ 35.60 ที่หายไปน่าจะเกิดจากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ที่ใช้ KOH ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมัน ได้สบู่ซึ่งไม่ละลายในน้ำมันแยกชั้นออกมา ส่วนน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning หลังการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลายแล้วจะได้ปริมาณน้อยกว่าคือร้อยละ 25.87 และมีส่วนที่หายไปถึงร้อยละ 74.13 ที่มากกว่าการสกัดโดยวิธี soxhlet extraction ซึ่งน่ามาจากการสกัดโดยวิธี three phase partitioning จะสกัดพวกสารเจือปนบางชนิดที่มีสมบัติคล้ายไขมันดังที่กล่าวมาขั้นต้น ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วสารเจือปนจำพวกนี้และน้ำมันที่สกัดได้ สามารถละลายได้ใน petroleum ether ได้มากขึ้นเนื่องจาก petroleum ether มีความเป็นขั้วน้อยเหมือนน้ำมัน ทำให้เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์จึงมีปริมาณของน้ำมันที่ลดลงไปมาก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในขณะที่การทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเปลี่ยนตัวทำละลายจาก petroleum ether เป็น t-butanol พบว่าในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ t-butanol เป็นตัวทำละลายมีปริมาณมากขึ้นถึงร้อยละ 51.03 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction และใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย ทั้งนี้น่าจะมาจาก t-butanol มีความเป็นขั้วสูงกว่า petroleum ether ทำให้น้ำมันและสารเจือปนบางชนิดที่มีสมบัติคล้ายไขมันดังที่กล่าวมาขั้นต้นสามารถละลายได้น้อย จึงทำให้มีปริมาณของน้ำมันที่มากกว่าแต่น่าจะมาจากน้ำมันที่ได้อาจมีปริมาณของสารเจือปนผสมอยู่ด้วย โดยการอาศัยหลักเกณฑ์ที่ใช้ทำนายการละลายของสารในตัวทำละลายต่างๆ ก็คือสภาพความมีขั้ว (polarity) ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารที่มีสภาพขั้วสูง ก็มักจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วสูงได้ดี ถ้าตัวถูกละลายที่มีสภาพขั้วต่ำก็จะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำได้ดี (ธีรยุทธ, 2546) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลำดับความมีขั้วของตัวทำละลายกลุ่มต่างๆ

Solvent Polarity Chart

Relative Polarity	Compound Formula	Group	Representative Solvent Compounds
Nonpolar	R - H	Alkanes	Petroleum ethers, ligroin, hexanes
	Ar - H	Aromatics	Toluene, benzene
	R - O - R	Ethers	Diethyl ether
	R - X	Alkyl halides	Tetrachloromethane, chloroform
	R - COOR	Esters	Ethyl acetate
	R - CO - R	Aldehydes and ketones	Acetone, methyl ethyl ketone
	R - NH_2	Amines	Pyridine, triethylamine
	R - OH	Alcohols	Methanol, ethanol, isopropanol, butanol
	R - $COHN_2$	Amides	Dimethylformamide
	R - COOH	Carboxylic acids	Ethanoic acid
Polar	H - OH	Water	Water

Increasing Polarity

ที่มา: Solvent miscibility table, 2005

จากการศึกษาในครั้งนี้จึงทำให้การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction โดยใช้ตัวทำละลาย petroleum ether เป็นตัวทำละลายกับการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning และใช้ตัวทำละลาย t-butanol เป็นตัวทำละลายจึงเหมาะสมต่อกระบวนการสกัด การทำให้บริสุทธิ์และการนำน้ำมันมาทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4.4 การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในน้ำมันมักมีความแตกต่างกัน อาจมาจากแหล่งที่มา โดยทั่วไปองค์ประกอบของกรดไขมันก็มักจะมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยกรดไขมันอิ่มตัวจะมีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมดและกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นพันธะ 1 อันหรือมากกว่า ซึ่งความแตกต่างของชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันนี้จะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ได้ ดังนั้นการทราบถึงชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้

ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้หลังจากกระบวนการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธี ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC FID แสดงผลไว้ในตารางที่ 9 และแสดงเป็นโครมาโตแกรม ในรูปที่ 5, 6 และ 7

ตารางที่ 9 ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ชนิดกรดไขมัน	วิธีการสกัด/ตัวทำละลายที่ใช้ในการทำให้บริสุทธิ์		
	Soxhlet extraction /petroleum ether	Three phase partition /petroleum ether	Three phase partition /t-butanol
Palmitic acid (C16:0)	$4.65^{c}\pm0.01$	$5.62^{b}\pm0.02$	$6.07^{a}\pm0.07$
Oleic acid (C18:1)	$38.86^{c}\pm0.21$	$42.96^{b}\pm0.01$	$42.65^{a}\pm0.03$
Stearic acid (C18:0)	$48.18^{a}\pm0.22$	$41.35^{b}\pm0.02$	$40.33^{b}\pm0.10$
Linoleic acid (C18:2)	$4.40^{c}\pm0.01$	$5.96^{b}\pm0.00$	$6.63^{a}\pm0.05$
Linolenic acid (C18:3)	$0.63^{c}\pm0.00$	$0.74^{b}\pm0.00$	$0.83^{a}\pm0.01$
Arachidic acid (C20:0)	$2.33^{a}\pm0.00$	$2.32^{a}\pm0.01$	$2.31^{a}\pm0.02$
Behenic acid (C22:0)	$0.48^{a}\pm0.02$	$0.52^{a}\pm0.00$	$0.547^{a}\pm0.01$
Lignocrelicacid (C24:0)	$0.43^{b}\pm0.00$	$0.46^{b}\pm0.01$	$0.54^{a}\pm0.02$
Palmitoleic acid (C16:1)	$0.05^{a}\pm0.00$	$0.06^{a}\pm0.00$	$0.01^{b}\pm0.00$

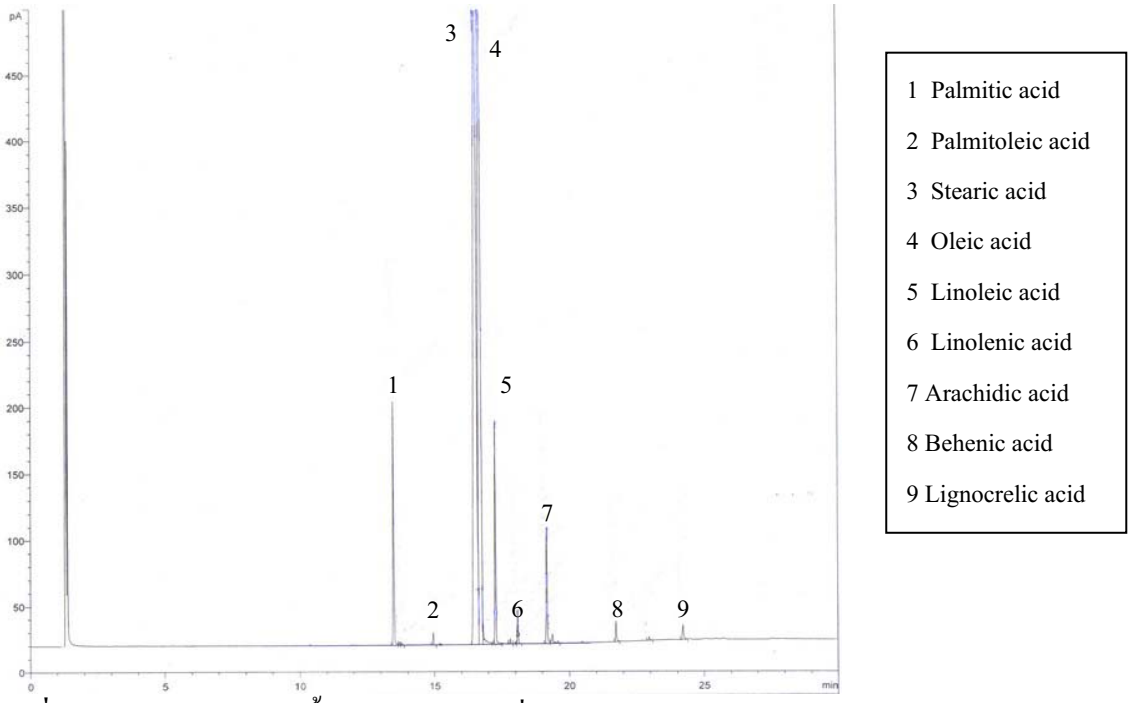
หมายเหตุ: อัตราส่วนของกรดไขมันคิดเป็นร้อยละต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

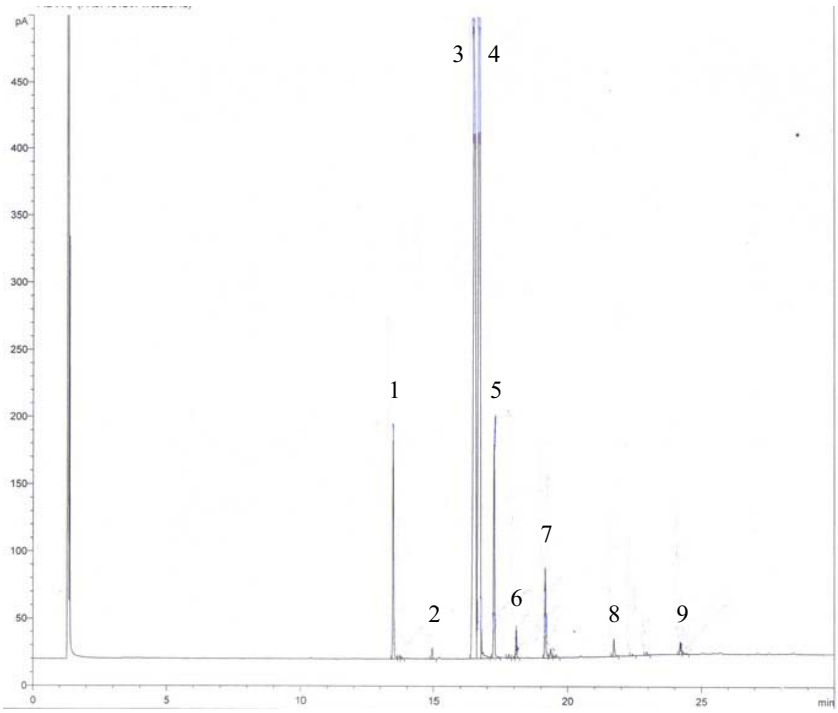
จากตารางที่ 9 และโครมาโตแกรมรูปที่ 5-7 พบว่าชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการสกัดและทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธีเป็นชนิดเดียวกันทั้งหมด ซึ่งสามารถแยกชนิดของกรดไขมันได้เป็น 9 ชนิด และส่วนที่เหลือเป็นกรดไขมันที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นชนิดใด อัตราส่วนของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ โดยมี Stearic acid เป็นกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ Oleic acid และ Palmitic acid ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นกรดไขมันตัวหลักในน้ำมันเมล็ดมะม่วง ซึ่งจะมีความสำคัญเมื่อนำไปใช้ผลิตเป็นไขมันทดแทนเนยโกโก้ ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันหลักเป็นกรดไขมันทั้ง 3 ชนิดนี้เช่นเดียวกัน

ความแตกต่างของอัตราส่วนของกรดไขมันชนิด Palmitic acid, Oleic acid, Linoleic acid และ Linolenic acid ตามความแตกต่างของวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การสกัดด้วยวิธี three phase partitioning แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ t-butanol เป็นตัวทำละลายจะทำให้ได้ปริมาณของกรดไขมันดังกล่าวมากที่สุด รองลงมาคือการสกัดด้วยวิธี three phase partition แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย และการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องจากระดับความมีขั้วที่ไม่เท่ากันของตัวทำละลายทั้ง 2 ตัวคือ petroleum ether และ t-butanol ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



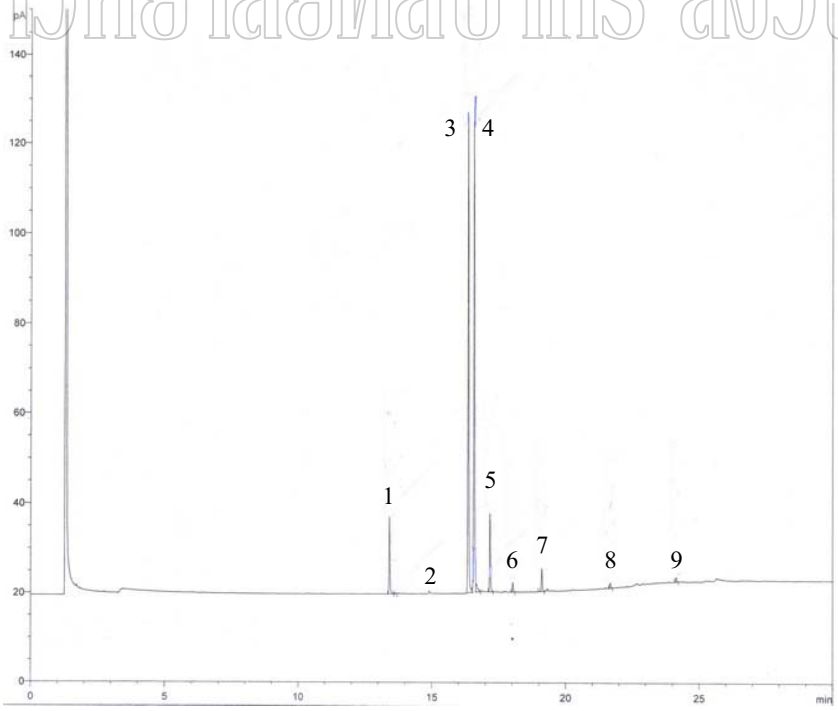
รูปที่ 5 โครมาโตแกรมของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction และผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย



1 Palmitic acid
2 Palmitoleic acid
3 Stearic acid
4 Oleic acid
5 Linoleic acid
6 Linolenic acid
7 Arachidic acid
8 Behenic acid
9 Lignocrelic acid

รูปที่ 6 โครมาโตแกรมของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning และผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



1 Palmitic acid
2 Palmitoleic acid
3 Stearic acid
4 Oleic acid
5 Linoleic acid
6 Linolenic acid
7 Arachidic acid
8 Behenic acid
9 Lignocrelic acid

รูปที่ 7 โครมาโตแกรมของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning และผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ t-butanol เป็นตัวทำละลาย

Stearic acid เป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 18 อะตอม ซึ่งมากกว่า Plamitic acid (คาร์บอน 16 อะตอม) จึงทำให้กรดไขมันชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า การใช้การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ซึ่งใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงกว่าวิธี three phase partitioning จึงทำให้ได้ Stearic acid ออกมาในปริมาณที่มากกว่า (ตารางที่ 9) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของกรดไขมัน 4 ชนิด คือ Stearic acid (C18:0), Oleic acid (C18:1), Linoleic acid (C18:2) และ Linolenic acid (C18:3) ซึ่งมีความยาวของสายคาร์บอนเท่ากัน แต่มีจำนวนของพันธะคู่ต่างกัน พบว่าการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ทำให้ได้อัตราส่วนของ Stearic acid ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่มากกว่าการสกัดวิธี three phase partitioning แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้ง 3 ชนิดของการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction จะน้อยกว่าของการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction เป็นการสกัดโดยใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าวิธี three phase partitioning ประกอบกับการสกัดใช้เวลานานถึง 6 ชั่วโมง จึงเป็นไปได้ว่าวิธีนี้จะทำให้กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นในระหว่างกระบวนการสกัด จึงทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้มีปริมาณน้อยลงเมื่อเทียบกับวิธี three phase partitioning ที่ไม่ใช้อุณหภูมิสูง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันหลักทั้ง 3 ชนิด ในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ที่แตกต่างกันในการศึกษานี้กับน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ petroleum ether เป็นตัวทำละลาย พบว่าปริมาณของ Oleic acid และ Palmitic acid ในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกมีมากกว่าในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี แต่การสกัดโดยใช้วิธี three phase partitioning ทำให้ได้ปริมาณของ Stearic acid น้อยกว่าทั้งในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกและมะม่วงพันธุ์แก้วที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ดังแสดงในตารางที่ 9 ความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ ในไขมันที่ได้จากวิธีการสกัดแตกต่างกันน่าจะมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันในน้ำมันของเมล็ดมะม่วงที่สกัดได้จากมะม่วง 2 สายพันธุ์น่าจะมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ ซึ่งอาจจะรวมไปถึงลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ และแหล่งที่เพาะปลูก (สุวรรณา, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันหลักทั้ง 3 ชนิด ในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ที่แตกต่างกันในการศึกษานี้กับเนยโกโก้ที่จำหน่ายในทางการค้า พบว่าปริมาณของ Oleic acid และ Stearic acid ในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีค่าใกล้เคียงกับที่พบในเนยโกโก้ แต่การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ทำให้ได้ปริมาณของ Oleic acid น้อยกว่า แต่มีปริมาณของ Stearic acid มากกว่าที่พบใน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

เนยโกโก้ (ตารางที่ 10) โดยภาพรวมแล้วจะพบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วมีปริมาณของกรดไขมันชนิด Oleic acid และ Stearic acid ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ แต่สิ่งที่เห็นแตกต่างกันอย่างชัดเจนคือปริมาณของ Palmitic acid กล่าวคือ น้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 วิธี มีปริมาณของ Palmitic acid น้อยกว่าที่พบในเนยโกโก้เป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้วจากการศึกษาครั้งนี้น่าจะเป็นแหล่งที่ดีของไตรกลีเซอไรด์ชนิด StOSt แต่อาจจะไม่ใช่แหล่งที่ดีของไตรกลีเซอไรด์ชนิด POP และ POSt ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Talbot (1999) ที่พบว่าน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ชนิด StOSt สูง แต่มีปริมาณของ POP และ POSt ต่ำ (ตารางที่ 2) การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้โดยใช้น้ำมันเมล็ดมะม่วงซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์ชนิด StOSt สูง ผสมกับน้ำมันปาล์มซึ่งมี POP และ POSt ค่อนข้างสูง จึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถหาได้ง่ายมากในประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งของไขมันชนิดอื่นๆ ที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมักเป็นปัญหาเนื่องจากความแปรปรวนของคุณภาพตามสภาพดินฟ้าอากาศ ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในปริมาณของผลผลิตที่ได้แต่ละปี อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้เพื่อทำให้ได้เนยโกโก้เลียนแบบที่มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเหมือนกันกับของเนยโกโก้ยังคงต้องมีการศึกษาถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อไป จึงจะทำให้สามารถผลิตเนยโกโก้เลียนแบบที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 10 อัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน เทียบกับกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกและเนยโกโก้ที่จำหน่ายในทางการค้า

ชนิดของกรดไขมัน	วิธีการสกัด/ตัวทำละลายที่ใช้ในการทำให้บริสุทธิ์				
	น้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์เม็กซิโกที่สกัดโดยวิธี soxhlet extraction/petroleum ether*	เนยโกโก้ที่จำหน่ายในทางการค้า*	soxhlet extraction/ petroleum ether	three phase partitioning/ petroleum ether	three phase partitioning/ t-butanol
Oleic acid	40.81	36.47	$38.86^{c}\pm0.21$	$42.96^{b}\pm0.01$	$42.65^{a}\pm0.03$
Stearic acid	39.07	35.10	$48.18^{a}\pm0.22$	$41.35^{b}\pm002$	$40.33^{b}\pm0.10$
Palmitic acid	9.29	24.27	$4.65^{c}\pm0.01$	$5.62^{b}\pm0.02$	$6.07^{a}\pm0.07$

* ที่มา: Solis-Fuentes และ Duran-de-bazua (2004) (คิดต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด)

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การศึกษาในหัวข้อนี้ได้ทำการเลือกน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ผ่านสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบ soxhlet extraction เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมงตามวิธีของ Solis-Fuentes และ Duran-de-bazua (2004) และการสกัดโดยวิธี three phase partitionig โดยเปลี่ยนตัวทำละลายจาก petroleum ether เป็น t-butanol มาใช้ในการศึกษา เนื่องจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากวิธี three phase partitioning ละลายในตัวทำละลายชนิด petroleum ether ได้น้อยแต่ละลายใน t-butanol ได้ดีกว่า ทำให้มีปริมาณของน้ำมันที่ได้เหมาะสมต่อการนำมาทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องปกติและที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส ดังต่อไปนี้

4.5.1 ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ค่าดัชนีการหักเหของแสงจะมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบชนิด คุณภาพและความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน โดยจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ และจะมีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีนของน้ำมันซึ่งเกี่ยวข้องกับจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ด้วย โดยในการวัดจะทำการวัดองศาของการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้น เมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง จากค่าที่ได้พบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction จะมีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูงกว่าการสกัดด้วยวิธี three phase partitionig เล็กน้อย แสดงว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction น่าจะมีจำนวนคาร์บอนหรือจำนวนพันธะคู่ที่มากกว่า แต่จากผลการวิเคราะห์ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในตารางที่ 8 พบว่าโดยภาพรวมแล้วการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีพันธะคู่และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มากกว่า 18 มีปริมาณที่น้อยกว่าในน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ผ่านสกัดด้วยวิธี three phase partitioning แต่กรดไขมันที่น่าจะมีผลในกรณีนี้คือ Stearic acid ซึ่งพบว่ามีอยู่ในอัตราส่วนที่มากกว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มาก จึงน่าจะเป็นสาเหตุทำให้อัตราส่วนที่มากกว่านี้มีผลทำให้มีค่าการหักเหของแสงที่มากกว่าการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning

จากตารางที่ 11 และ 12 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของแสงของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 อุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าดัชนีการหักเหของแสงมากนักคือมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มของเวลาในการจัดเก็บเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงได้ชัดเจนในรูปที่ 8

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าดัชนีการหักเหของแสง	1.4600[a]	1.4600[a]	1.4600[a]	1.4596[b]	1.4596[b]
three phase partitioning					
ค่าดัชนีการหักเหของแสง	1.4558[a]	1.4558[a]	1.4558[a]	1.4555[b]	1.4555[b]

*a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

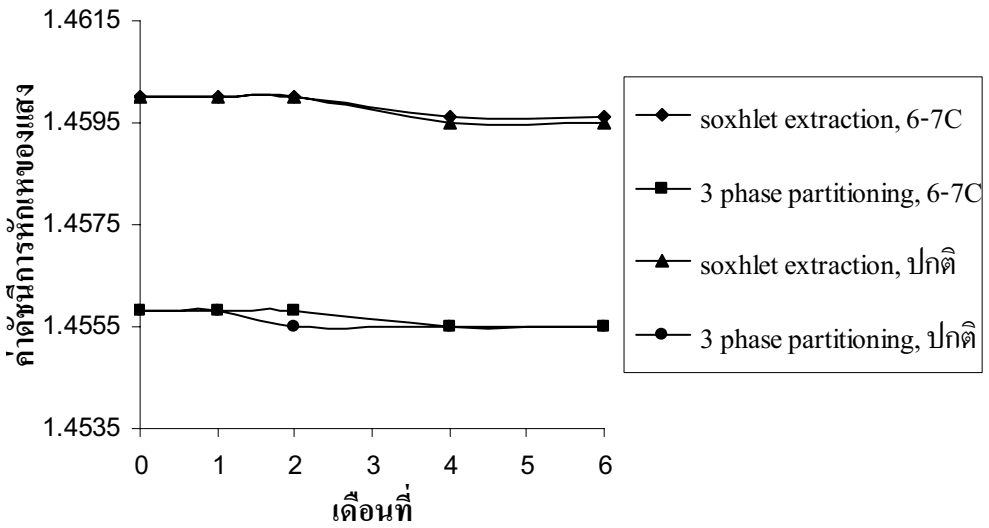
ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าดัชนีการหักเหของแสง	1.4600[a]	1.4600[a]	1.4600[a]	1.4596[b]	1.4596[b]
three phase partitioning					
ค่าดัชนีการหักเหของแสง	1.4558[a]	1.4558[a]	1.4555[b]	1.4555[b]	1.4555[b]

*a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

น้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาแล้วพบว่าค่าดัชนีการหักเหของแสงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการจัดเก็บน้ำมันในขวดสีชาที่ใช้ไม่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจนที่อยู่ภายนอกได้ จึงทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชั่น (autoxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดพันธะเพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ที่หมู่ α-methylene (-CH=CH-) ทำให้พันธะคู่ถูกทำลายลง (นิธิยา, 2548) น้ำมันจึงมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนหรือจำนวนพันธะคู่ที่น้อยลง ซึ่งส่งผลให้มีค่าดัชนีการหักเหของแสงที่ลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mendez และ Falque (2007) ซึ่งได้ศึกษาของการเก็บรักษาและชนิดของภาชนะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ โดยจัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ 20-22 องศาเซลเซียส) และเก็บในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน 5 ชนิด คือ ขวด PET ใส, ขวด PET ที่ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอล์ย, ขวดแก้วใส, กระป๋อง และขวดปลอดเชื้อ Tetra-brik ทำการตรวจสอบปริมาณกรดไขมันและคุณสมบัติต่างๆ เบื้องต้น และตรวจสอบในเดือนที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์มีปริมาณของกรดไขมันชนิด Oleic acid และค่าไอโอดีนลดลงหลังจากการเก็บรักษา เนื่องจากค่าไอโอดีนเป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนพันธะคู่ในสายไฮโดรคาร์บอน จึงแสดงให้เห็นได้ว่าน้ำมันที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งจะมีจำนวนพันธะคู่ในสายไฮโดรคาร์บอนลดลงเป็นผลให้ค่าดัชนีการหักเหลดลงด้วยเช่นกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสงของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บ

4.5.2 ค่าสี (colour)

ค่าสีเป็นตัวชี้บ่งถึงคุณภาพของน้ำมัน โดยน้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันและการสกัดที่แตกต่างทำให้ได้น้ำมันที่มีสีต่างกันด้วย โดยทั่วไปน้ำมันชนิดเดียวกันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม แสดงว่าน้ำมันที่มีความเข้มมากจะเป็นลักษณะของน้ำมันที่มีการเสื่อมเสียมากกว่า (นิธิยา, 2548) โดยจากตารางที่ 13 และ 14 และรูปที่ 9, 10 และ 11 จะเห็นได้ว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธีพบว่าค่าสี L* ไม่มีความแตกต่างแต่ค่าสี a*, b* และค่า WI มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction จะมีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning โดยเมื่อนำมาคำนวนเป็นค่า WI พบว่ามีค่าที่น้อยกว่าหรือมีค่าความขาวน้อยกว่าแสดงว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยวิธี three phase partitioning น่าจะมาจากการสกัดด้วยวิธีนี้อาจมีสารปนเปื้อนปะปนอยู่จึงส่งผลให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง

เมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำมันจากการสกัดทั้งสองวิธีโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความสว่าง (L*) ($p>0.05$) แต่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่า WI ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงได้จากการสกัดด้วยวิธีที่ต่างกันทั้ง 2 วิธี โดยค่าความสว่าง (L*) มีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มลดลง และค่าความเป็นสีเหลืองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยที่ค่า WI เมื่อดูจากกราฟและตารางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคงที่ หลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 13 และรูปที่ 9)

และเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และค่า WI โดยค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 2 เดือน ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่า WI ที่ลดลง (ตารางที่ 14, รูปที่ 10 และ 11) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไดเมอร์ ไตรเมอร์ และสารประกอบพอลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งเป็นไปได้ว่าสารประกอบเหล่านี้ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่เข้มมากขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness Index (WI) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

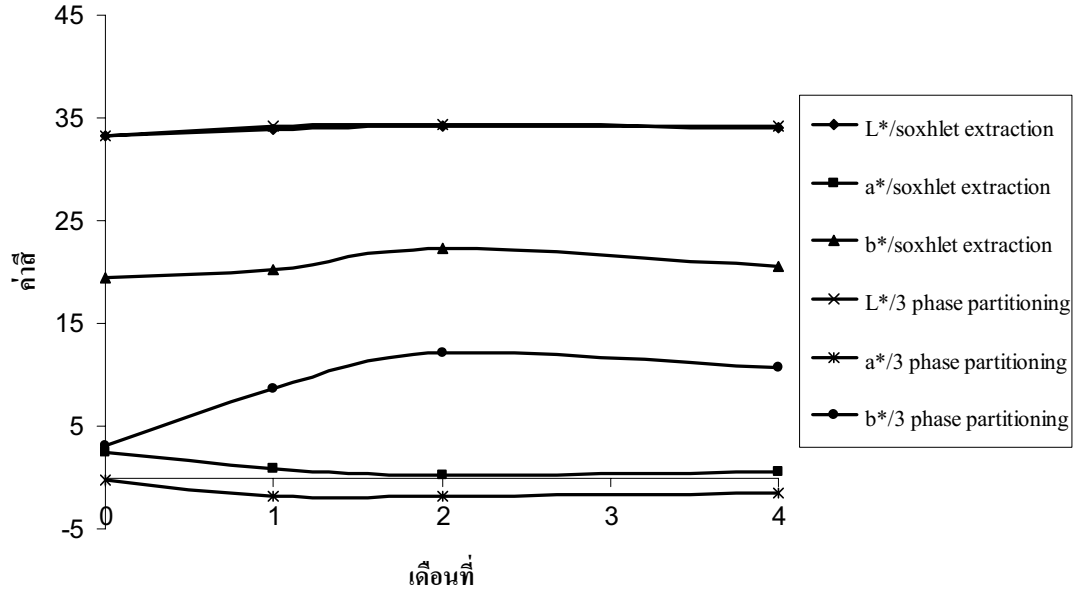
การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
L*	$33.20^{ns}\pm0.57$	$33.87^{ns}\pm0.34$	$34.17^{ns}\pm0.32$	$33.98^{ns}\pm0.43$	$33.90^{ns}\pm0.37$
a*	$2.47^{aA}\pm0.34$	$0.84^{bA}\pm0.11$	$0.16^{cA}\pm0.15$	$0.57^{bcA}\pm0.06$	$0.55^{bcA}\pm0.01$
b*	$19.52^{bA}\pm0.15$	$20.30^{bA}\pm0.38$	$22.28^{aA}\pm0.23$	$20.54^{bA}\pm0.38$	$20.38^{bA}\pm0.31$
WI	$30.36^{dB}\pm0.05$	$30.82^{bB}\pm0.07$	$30.50^{cB}\pm0.11$	$30.86^{aB}\pm0.15$	$30.83^{aB}\pm0.11$
three phase partition					
L*	$33.23^{ns}\pm0.48$	$34.19^{ns}\pm0.30$	$34.33^{ns}\pm0.49$	$34.26^{ns}\pm0.57$	$34.23^{ns}\pm0.36$
a*	$-0.24^{aB}\pm0.18$	$-1.82^{cB}\pm0.05$	$-0.86^{aB}\pm0.28$	$-1.45^{bB}\pm0.14$	$-1.47^{bB}\pm0.07$
b*	$3.12^{dB}\pm0.38$	$8.70^{cB}\pm0.23$	$12.09^{aB}\pm0.29$	$10.72^{bB}\pm0.53$	$11.23^{bB}\pm0.16$
WI	$33.16^{eA}\pm0.11$	$33.59^{aA}\pm0.15$	$33.20^{dA}\pm0.19$	$33.38^{bA}\pm0.05$	$33.26^{cA}\pm0.07$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

*a, b , c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) และค่า Whiteness Index (WI) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

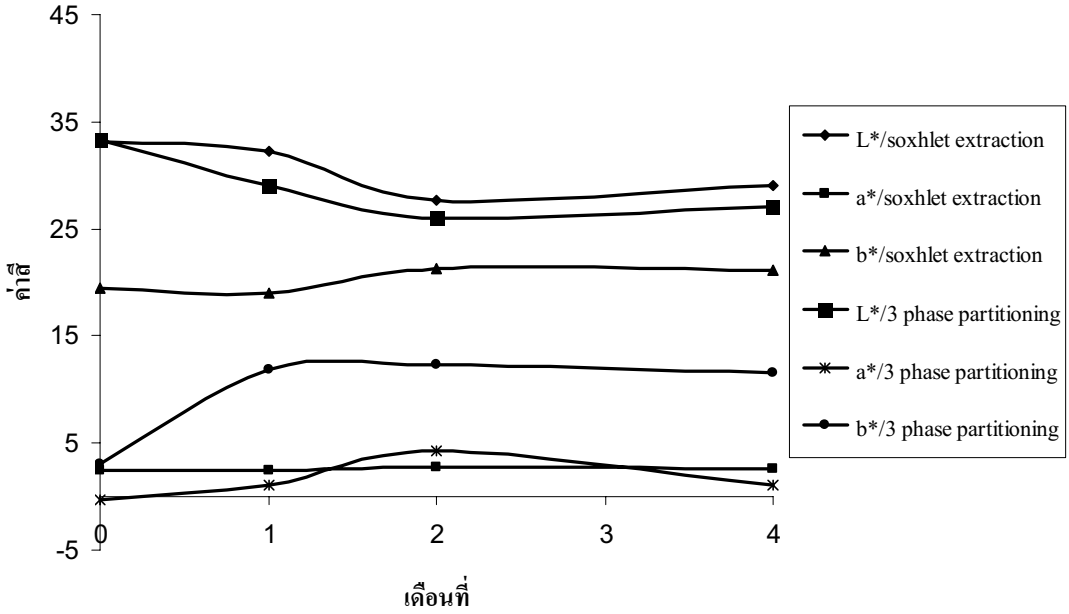
การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
L*	33.20^{aNS}±0.49	32.23^{abA}±0.26	27.66^{dA}±0.54	29.04^{cdA}±0.53	30.54^{bcA}±0.83
a*	2.47^{abA}±0.15	2.45^{bA}±0.06	2.78^{aB}±0.01	2.56^{abA}±0.08	2.39^{bB}±0.11
b*	19.52^{bcA}±0.49	18.98^{cA}±0.28	21.31^{aA}±0.81	21.14^{abA}±0.01	21.77^{aB}±0.23
WI	30.36^{aB}±0.15	29.58^{bA}±0.12	24.56^{eB}±0.20	25.91^{dB}±0.16	27.17^{cA}±0.05
three phase partition					
L*	33.23^{aNS}±0.30	29.10^{bB}±0.19	25.94^{cB}±0.86	27.01^{cB}±0.58	26.54^{cB}±0.49
a*	-0.24^{dB}±0.16	1.05^{cB}±0.04	4.20^{cA}±0.38	1.02^{cB}±0.16	2.43^{bA}±0.10
b*	3.12^{bB}±0.04	11.87^{aB}±0.41	12.29^{aB}±0.46	11.49^{aB}±0.56	11.65^{aB}±0.45
WI	33.16^{aA}±0.30	28.11^{bB}±0.11	24.81^{eA}±0.12	26.10^{cA}±0.18	25.58^{dB}±0.15

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

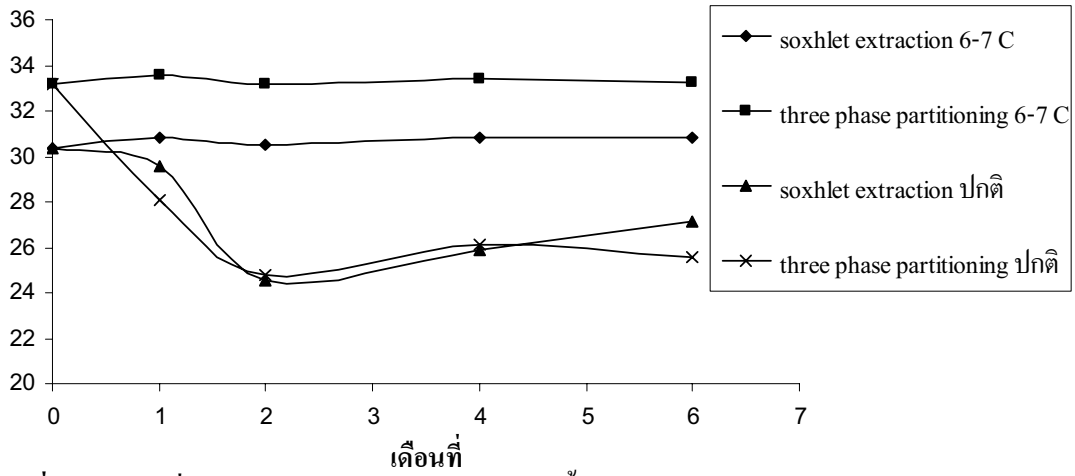
*a, b , c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

* $^{ns, NS}$ แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า whiteness index ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีเหลืองของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning พบว่ามีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าในน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ทั้งที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 12 และ 13) ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องจากการที่น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning อาจมีสารอื่นติดปนมาในน้ำมันจำพวกกัม ดังที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้นที่จะส่งผลให้น้ำมันที่ได้มีค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สำหรับผลของอุณหภูมิของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า whiteness index ของน้ำมันเมล็ดมะม่วง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทำให้มีค่าความขาวลดลงตามเวลาหรือมีสีเหลืองเข้มขึ้นนั่นเอง ขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส มีค่าความขาวคงที่หรือมีสีเหลืองอ่อนคงที่ แสดงว่าการเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีด้วยอัตราเร็วที่ช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องจากสภาวะการจัดเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอหรือลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้นั่นเอง

4.5.3 ค่าความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของไขมันหรือน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ โดยความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นหรือน้ำมันมีความไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 15 และ 16 และรูปที่ 12 พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมันที่เก็บรักษาไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าเมื่อผ่านการเก็บรักษาน้ำมัน ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บของทั้งสองสภาวะอุณหภูมิ แสดงว่าน้ำมันมีจำนวนพันธะคู่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าดัชนีการหักเหของแสงที่ลดลงตามเวลา ที่แสดงว่ามีปริมาณของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่น้อยลงเช่นกัน

จากตารางที่ 15 และ 16 พบว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีค่าความหนืดสูงกว่าของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ที่ทุกๆ ระยะเวลาของการเก็บรักษา ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันคือจำนวนพันธะคู่และจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน การที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันมากขึ้นจะส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดลดลง แต่จากผลการวิเคราะห์ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในตารางที่ 9 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction น้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning จึงน่าจะมีความหนืดน้อยกว่าเมื่อพิจารณาตามจำนวนพันธะคู่ แต่จากผลการทดลองไม่ได้มีแนวโน้มเป็นเช่นนั้น ดังนั้นเหตุผลที่น่าจะเป็นไปได้ในกรณีนี้คือการที่น้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิด Stearic acid อยู่ในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning มากและอาจเป็นไปได้ว่ามีสารอื่นๆ เจือปนอยู่มาในน้ำมันด้วย เช่น กัมและพวกฟอสฟาไทด์ จึงทำให้มีค่าความหนืดที่ได้จากการวัดมีค่ามากกว่า ถึงแม้ว่ากรดไขมันชนิดนี้จะมีจำนวนคาร์บอนเพียง 18 ซึ่งไม่ใช่กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนสูงที่สุดที่พบในน้ำมันเมล็ดมะม่วง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนสูง (20-24) ซึ่งพบว่ามีอยู่ในอัตราส่วนที่น้อยมากในน้ำมันเมล็ดมะม่วง (ประมาณร้อยละ 0.4-2.0) ในขณะที่ Stearic acid ในน้ำมันเมล็ดมะม่วงมีอยู่ในอัตราส่วนที่มากถึงร้อยละ 41.57 แสดงว่ากรดไขมันชนิดนี้จึงน่าจะมีผลต่อความหนืดของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ทำให้แสดงค่าความหนืดที่มากกว่า

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
Cp (centipoises)	$39.6^{aB}\pm0.02$	$39.5^{aB}\pm0.01$	$39.8^{aB}\pm0.00$	$39.8^{a}\pm0.02$	$39.7^{aB}\pm0.01$
Shear stress	11.3	11.5	11.2	11.3	11.4
Shear rate	28	28	28	28	28
three phase partitioning					
Cp (centipoises)	$42.0^{cA}\pm0.01$	$42.4^{bA}\pm0.02$	$42.7^{bA}\pm0.01$	$42.4^{b}\pm0.00$	$43.4^{aA}\pm0.01$
Shear stress	11.8	12.0	12.1	12.2	13.0
Shear rate	28	28	28	28	28

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส มีความคงตัวของความหนืดต่อระยะเวลาการเก็บรักษามากที่สุด ส่วนน้ำมันที่สกัดได้ด้วยวิธีเดียวกันแต่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งอาจเป็นการเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (นิธิยา, 2548) ในขณะที่น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning จะมีค่าความหนืดที่ไม่คงตัวต่อระยะเวลาการเก็บรักษาในทั้ง 2 อุณหภูมิการเก็บรักษา (ตารางที่ 15 และ 16) โดยค่าความหนืดของน้ำมันชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในปริมาณมากกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction (ตารางที่ 9) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเหล่านี้จึงมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษาได้มากกว่า ซึ่งมีผลทำให้จำนวนของพันธะคู่มีปริมาณลดลงตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงทำให้ค่าความหนืดที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าดัชนีการหักเหของแสงที่ลดลงตามเวลาอีกด้วย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Logaraj และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าค่าความหนืดปรากฏ (apperent viscosity) ของ

อิมัลชันที่เตรียมได้จากน้ำมันจากเนื้ออะโวกาโด (avocado pulp oil) และน้ำมันจากเมล็ดแตงโม (watermelon seed oil) มีค่าลดลงเมื่อผ่านการเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาหนึ่ง

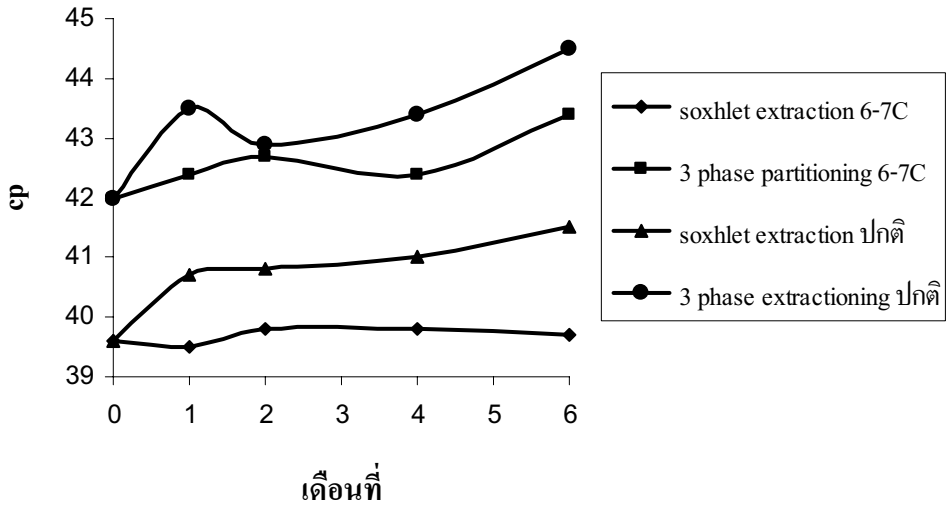
ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
Cp (centipoises)	$39.6^{cB}\pm0.00$	$40.7^{bB}\pm0.02$	$40.8^{bB}\pm0.01$	$41.0^{bB}\pm0.01$	$41.5^{aB}\pm0.02$
Shear stress	11.3	11.0	11.2	11.3	11.5
Shear rate	28	28	28	28	28
three phase partitioning					
Cp (centipoises)	$42.0^{cA}\pm0.02$	$43.5^{bA}\pm0.01$	$42.9^{bA}\pm0.02$	$43.4^{bA}\pm0.01$	$44.5^{aA}\pm0.00$
Shear stress	11.8	10.8	11.8	11.8	12.0
Shear rate	28	28	28	28	28

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

4.5.4 จุดหลอมเหลว (Slip melting point)

จุดหลอมเหลวเป็นค่าที่บอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยทั่วไปแล้วไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (นิธิยา, 2548)

จากการศึกษาพบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction กับน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction จะมีค่าจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่น้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในอัตราส่วนที่มากกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction (ตารางที่ 9) ซึ่งกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเหล่านี้มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (นิธิยา, 2548) จึงทำให้จุดหลอมเหลวโดยรวมของน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีค่าต่ำกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ดังแสดงในตารางที่ 17 และ 18

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติและที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียสพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจุดหลอมเหลว โดยจะมีค่าคงที่และตลอดระยะเวลาในการจัดเก็บนาน 6 เดือน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าจุดหลอมเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าน้ำมันที่ผ่านการจัดเก็บไว้เป็นเวลานานค่าจุดหลอมเหลวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนิธิยา (2548)

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลว (Slip melting point) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}
three phase partitioning					
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลว (Slip melting point) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}	30^{ns}
three phase partitioning					
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}	29^{ns}

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.5.5 ค่าไอโอดีน (Iodine Number)

ค่าของไอโอดีนเป็นค่าที่บ่งบอกถึงจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน ใช้บอกปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไขมัน จากค่าที่ได้พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนที่เก็บไว้ในสภาวะอุณหภูมิทั้ง 2 อุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning จะได้น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนมากกว่าการสกัดแบบ soxhlet extraction ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันชนิด Oleic acid (C18:1), Linoleic acid (C18:2) และ Linolenic acid (C18:3) ของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partitioning ที่พบในปริมาณมากกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี soxhlet extraction (ตารางที่ 9)

จากตารางที่ 19, 20 และรูปที่ 13 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นในช่วง 1 เดือนแรก หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ค่าไอโอดีนที่ลดลงนี้จะบ่งบอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่ลดลงและการเปลี่ยนแปลงจะค่อนข้างคงที่หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยสาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการเก็บรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (นิธิยา, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boran และคณะ (2006) ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปลา (fish oil) โดยทำการเก็บรักษาน้ำมันปลาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ -18 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนอย่างมี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าไอโอดีนของน้ำมันปลามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีนของน้ำมันปลาที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า (-18 องศาเซลเซียส) มีค่าต่ำกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า (4 องศาเซลเซียส) อีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส แต่น้ำมันที่เก็บ ณ สภาวะนี้จะมีแนวโน้มของค่าไอโอดีนที่ลดลงเรื่อยๆ หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 19, 20 และรูปที่ 13) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าน้ำมันที่เก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสลายตัวของพันธะคู่เนื่องจากปฏิกิริยาโดยมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mendez และ Falque (2007) ซึ่งพบว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผู้ทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนนี้นอกจากจะเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาแล้ว ยังเป็นผลเนื่องมาจากชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boran และคณะ (2006) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นด้วย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน (Iodine Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม น้ำมัน)	$27.48^{bB}\pm2.57$	$32.74^{aB}\pm2.12$	$37.17^{aB}\pm1.96$	$37.29^{aB}\pm2.33$	$37.00^{aB}\pm0.02$
three phase partitioning					
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัมน้ำมัน)	$38.40^{cA}\pm1.14$	$42.14^{bA}\pm1.95$	$46.88^{aA}\pm0.7$	$40.25^{bcA}\pm1.09$	$39.87^{bcA}\pm0.12$

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

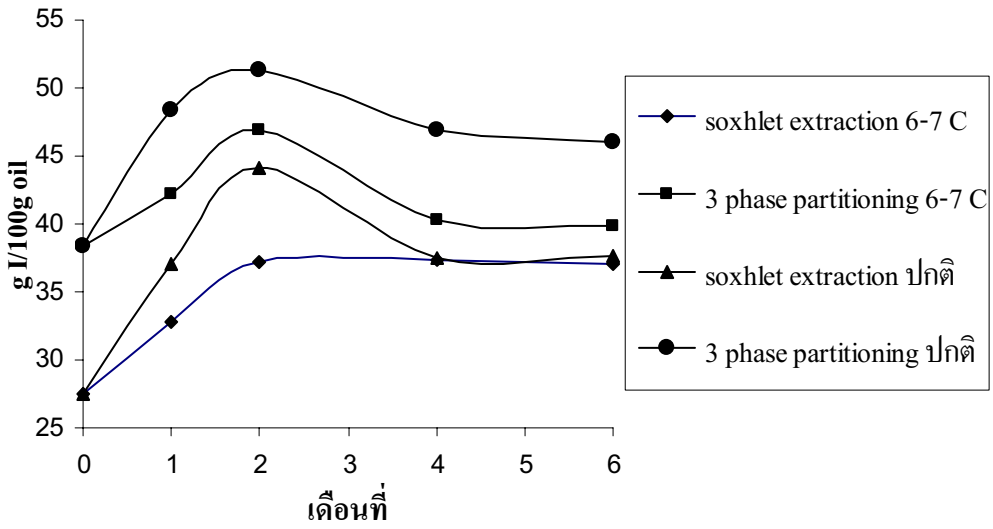
ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน (Iodine Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม น้ำมัน)	$27.48^{cB}\pm2.57$	$37.01^{bB}\pm1.60$	$44.06^{aB}\pm2.52$	$37.57^{bB}\pm0.88$	$37.63^{bB}\pm0.11$
three phase partitioning					
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม น้ำมัน)	$38.40^{cA}\pm1.14$	$48.45^{abA}\pm1.54$	$51.35^{aA}\pm1.16$	$46.97^{bA}\pm1.91$	$46.07^{bA}\pm0.26$

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

4.5.6 ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number)

ค่าสปอนนิฟิเคชั่นเป็นค่าบ่งบอกถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าสปอนนิฟิเคชั่นต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างในการไฮโดรไลซิสน้อย (นิธิยา, 2548)

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (มิลลิกรัม KOH/ กรัมน้ำมัน)	$149.72^{ab}\pm1.89$	$148.04^{b}\pm2.62$	$152.75^{a}\pm0.80$	$150.22^{ab}\pm0.65$	$149.22^{ab}\pm0.24$
three phase partitioning					
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (มิลลิกรัม KOH/ กรัมน้ำมัน)	$41.72^{a}\pm1.48$	$42.47^{a}\pm1.82$	$41.22^{a}\pm0.20$	$41.07^{a}\pm0.11$	$40.87^{a}\pm0.23$

*a และ b ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงเก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (มิลลิกรัม KOH/ กรัมน้ำมัน)	$149.72^{ns}\pm1.89$	$151.18^{ns}\pm0.70$	$152.59^{ns}\pm2.29$	$150.90^{ns}\pm0.73$	$149.93^{ns}\pm0.04$
three phas partitioning					
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (มิลลิกรัม KOH/ กรัมน้ำมัน)	$41.72^{ns}\pm1.48$	$41.41^{ns}\pm1.07$	$41.13^{ns}\pm0.03$	$41.03^{ns}\pm0.02$	$40.89^{ns}\pm0.29$

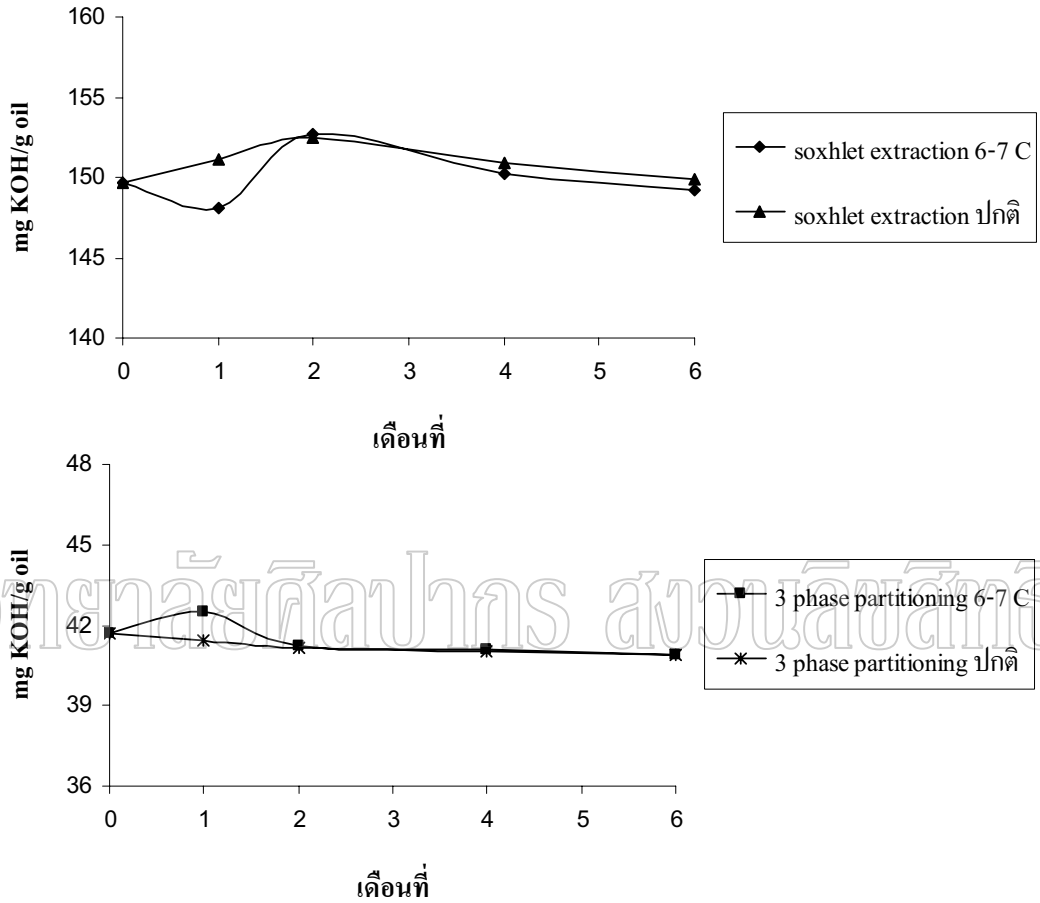
* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 21 และ 22 และรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าค่าสปอนนิฟิเคชั่นในน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี soxhlet extractioning มีค่าสูงกว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning แสดงว่าการสกัดแบบ soxhlet extraction จะทำให้ได้น้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือมีอัตราส่วนของกรดไขมันสายสั้นมากกว่าการสกัดแบบ three phase partitioning แต่จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในตารางที่ 9 กลับไม่มีแนวโน้มเป็นเช่นนั้น ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning มีสารเจือปนบางชนิดที่มีสมบัติคล้ายไขมัน เช่น ฟอสโฟลิปิด สารประกอบเชิงซ้อนของไขมันและโปรตีน (fat-protein complex) โพลาร์ลิปิดซึ่งละลายได้ในน้ำปนอยู่ด้วย รวมเรียกว่ากัม (gums) มีอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้ในปริมาณมากเข้าไปขัดขวางเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชั่นจึงทำให้ค่าที่ได้ที่ต่ำกว่าความเป็นจริงโดยสารละลายด่างที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสไม่สามารถเข้าทำไปปฏิกิริยาได้ทั้งหมด

หลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 6 เดือน พบว่าค่าสปอนนิฟิเคชั่นที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อาจจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นหรือมีสายของคาร์บอนยาวขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งจะเป็นผลมาจากการที่น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิด oxidative rancidity ของน้ำมันโดยทำให้พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสลายตัวโดยออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ในกรดไขมัน สลายตัวได้เป็นแอลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีขนาดเล็กลง (น่าจะ

ทำให้ค่าสปอนนิฟิเคชั่นเพิ่มขึ้นแต่ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ทำให้เมื่อนำสารละลายด่างเข้าทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นแล้วได้ค่าต่ำลง และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างพบว่าการเก็บที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะช่วยลดอัตราการเกิดออกซิเดชั่นของน้ำมัน ทำให้ค่าสปอนนิฟิเคชั่นที่คงตัวกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าสปอนนิฟิเคชั่นของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

4.5.7 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัด degree of lipid oxidation ซึ่งเป็นการวัดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน ณ ตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงสารที่สร้างจากอนุมูลอิสระของกรดไขมันด้วย (Che และ Jaswir, 2000; Tyagi และ Vasishtha, 1996) ตามปกติแล้วสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าการเกิด oxidative rancidity ซึ่งเป็นการเกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมัน

ชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย (นิธิยา, 2548) จากผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 23 และ 24 พบว่าระยะเวลาของการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะอุณหภูมิทั้ง 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning จะทำให้ได้น้ำมันที่มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ทั้งนี้เป็นสาเหตุเนื่องมาจากน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี three phase partition มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณมากกว่า (ตารางที่ 9) ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

ผลของระยะเวลาในการจัดเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์แสดงไว้ในตารางที่ 23 และ 24 และรูปที่ 15 โดยพบว่าน้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาของทั้งสองสภาวะอุณหภูมิการจัดเก็บ ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องจากน้ำมันที่เก็บรักษาไว้เกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทั้งสองสภาวะดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันจากเมล็ดราสเบอรีและน้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย (Oomah และคณะ, 2000), น้ำมันปลา (Boran และคณะ, 2006), น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ (Mendez และ Falque, 2007) และน้ำมันดอกทานตะวัน (Iqbal และ Bhanger, 2007)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิสมมูล/กิโลกรัมน้ำมัน)	$1.00^{cB}\pm0.00$	$1.10^{cB}\pm0.01$	$3.62^{bB}\pm0.54$	$4.09^{abB}\pm0.13$	$4.61^{aB}\pm0.03$
three phas partitioning					
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิสมมูล/กิโลกรัมน้ำมัน)	$1.49^{dA}\pm0.24$	$3.85^{cA}\pm0.09$	$4.18^{bcA}\pm0.2$	$4.29^{aA}\pm0.08$	$4.89^{aA}\pm0.01$

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

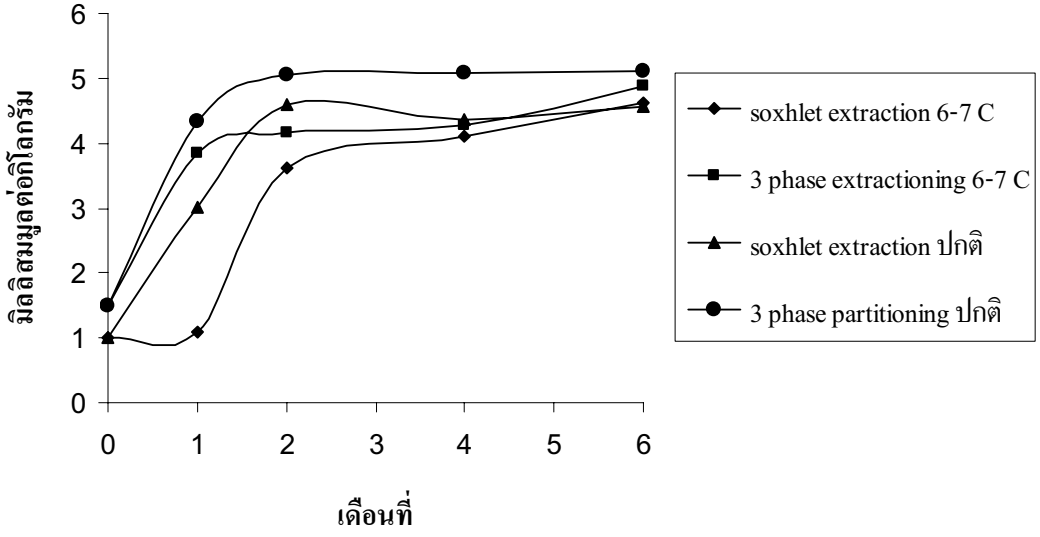
ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิสมมูล/กิโลกรัมน้ำมัน)	$1.00^{cB}\pm0.00$	$3.02^{bB}\pm0.33$	$4.58^{aB}\pm0.35$	$4.36^{aB}\pm003$	$4.57^{aB}\pm0.01$
three phase partitioning					
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิสมมูล/กิโลกรัมน้ำมัน)	$1.49^{cA}\pm0.24$	$4.35^{bA}\pm0.31$	$5.06^{aA}\pm0.16$	$5.09^{aA}\pm0.15$	$5.12^{aA}\pm0.01$

*a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

*A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์พบว่า น้ำมันเมล็ดมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า (6-7 องศาเซลเซียส) จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ด้วยอัตราที่ช้าการเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า (อุณหภูมิห้องปกติ) ดังแสดงในตารางที่ 23 และ 24 และรูปที่ 15 ซึ่งเป็นสาเหตุเนื่องมาจากการเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.5.8 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรดหรือร้อยละของกรดไขมันอิสระจะเกี่ยวข้องกับกลิ่น รส การตรวจสอบการสลายตัวและเสื่อมเสียของน้ำมันโดยชี้บ่งว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันถูกทำลายเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดสูง จะบ่งบอกได้ว่าไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันนี้ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก วิธีการชะลอการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมันทำได้โดยเก็บรักษาไขมันและน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือตู้เย็นและปราศจากน้ำ แสง และจุลินทรีย์ (นิธิยา, 2548)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากตารางที่ 25 และ 26 และรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดเริ่มต้นของทั้งสองวิธีการสกัดมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่ามีค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยกับเวลาในการเก็บรักษานี้แสดงว่าน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจาก hydrolytic rancidity มากขึ้น ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ทำให้ได้ค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 23 และ 24) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิปกติ แสดงว่าความร้อนมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น สอดคล้องกับที่ได้มีรายงานไว้ในน้ำมันโจโจ้บา (jojoba oil) (Zaher Kinawy และ Haron, 2004), น้ำมันปลา (Boran และคณะ, 2006), น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ (Mendez และ Falque, 2007) และน้ำมันดอกทานตะวัน (Iqbal และ Bhanger, 2007)

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ**	0.63^{ns}±001	0.63^{ns}±0.01	0.63^{ns}±0.01	0.66^{ns}±0.00	0.67^{ns}±0.00
three phase partition					
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ**	0.63^{ns}±0.01	0.63^{ns}±0.01	0.63^{ns}±0.01	0.66^{ns}±0.00	0.67^{ns}±0.00

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่าง

** ในรูปของกรดโอเลอิก

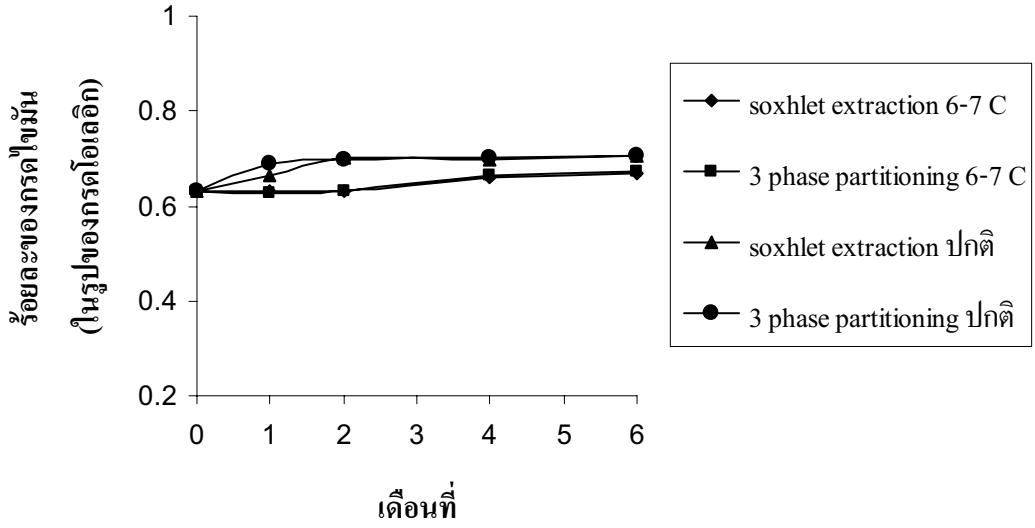
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 26 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)				
	0	1	2	4	6
soxhlet extraction					
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ**	0.63^{ns}±0.01	0.66^{ns}±0.01	0.70^{ns}±0.01	0.70^{ns}±0.00	0.71^{ns}±0.01
three phase partition					
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ**	0.63^{ns}±0.01	0.69^{ns}±0.01	0.70^{ns}±001	0.70^{ns}±0.00	0.71^{ns}±0.00

* ^{ns} แสดงค่าที่ไม่แตกต่างกัน

** ในรูปของกรดโอเลอิก



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมงจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงที่กว่าการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning ที่ทำการเปลี่ยนตัวทำละลาย โดยการสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 7.54 โดยน้ำหนักแห้งแต่การสกัดด้วยวิธีthree phase partitioning ใหปริมาณน้ำมันเพียงร้อยละ 6.62 โดยน้ำหนักแห้ง

น้ำมันเมล็ดมะม่วงที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธีมีชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันที่ใกล้เคียงกันคือมีกรดไขมัน 9 ชนิดคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid, Linolenic acid, Arachidic acid, Behenic acid และLignocrelic acid แต่การสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ทำให้ได้อัตราส่วนของ Stearic acid มากกว่าการสกัดด้วยวิธี three phase partitioning แต่ให้อัตราส่วนของ Oleic acid และ Palmitic acid ที่น้อยกว่า

ระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำมันเมล็ดมะม่วงไว้เป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้มีค่าทางเคมีคือค่าไอโอดีนและสปอนนิฟิเคชั่นมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยา oxidative rancidity และ hydrolytic rancidity มากขึ้นและค่าทางกายภาพคือ ค่า slip melting point คงเดิม แต่ค่าดัชนีหักเหของแสงและค่า whiteness index มีค่าลดลงและค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา oxidative rancidity และ hydrolytic rancidity ที่มากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

อุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันเมล็ดมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส พบว่า ทำให้มีอัตราเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีช้ากว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ทำชะลอการเร่งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆที่มีอยู่ให้ช้าลงได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. ผลผลิตผลไม้ของประเทศไทย [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 21 มิถุนายน 2550.Website:http://www2.doae.go.th/baseinfor/MIS/kpp/rpt3_1.htm

ณัฐยาวรรณ พิชัยยุทธ. 2547. การใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้สำหรับผลิตภัณฑ์เลียนแบบช็อกโกแลต. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ธวัชชัย รัตน์ชเลส, พฤกษ์ ยิบมันตะสิริ และรุ่งทิพย์ อุทุมพันธ์. 2546. มะม่วงแก้ว. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธีรยุทธ วิไลวัลย์, ศุภศร วนิชเวชารุ่งเรือง, วรวรรณ พันธุมนาวิน และ วิภาวี โฮเว่น. 2546. ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ (2302275 และ 2302276) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิธิยา รัตนาปานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2 โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร: 504 หน้า.

นิธิยา รัตนาปานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร: 256 หน้า.

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

สมศักดิ์ วรรณศิริ, ทวีศักดิ์ นวลพลับ และปฐพีชล วายุอัคคี. 2530. โกโก้. กองบรรณาธิการ เฉพาะกิจ" ฐานเกษตรกรรม" ฐานเกษตรกรรม (เฉพาะกิจที่19). โรงพิมพ์มิตรสยาม กรุงเทพมหานคร.

สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป กลุ่มวิเคราะห์สินค้า 2. 2549. สถานการณ์สินค้ามะม่วง [ออนไลน์].เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม2550. Website http://www.dft.moc.go.ththe_files $$16level4มะม่วง(ม.ค.- ก.ย.49).doc

สุวรรณา สุภิมารส. 2543. กรรมวิธีการผลิต เทคนิค และอุปกรณ์ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากโกโก้และช็อกโกแลต. ใน เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต.สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. หน้า 237-296

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th edition, vol. 2, Arlington, Virginia.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Arogba, S.S. 2000. Mango (*Mangifera indica*) kernel: chromatographic analysis of the tannin, and stability study of the associated polyphenol oxidase activity. Journal of food composition and analysis.13: 149-156.

Boran, G., Karacam, H. and Boran, M. 2006. Changes in the quality of fish oils due to storage temperature and time. Food Chemistry. 98: 693–698.

Che Man, Y.B., and Jaswir, I. 2000. Effect or rosemary and sage extracts on frying performance of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. Food Chemistry. 69: 301-307.

From nature with love. 2550. Mango butter product [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 25 มิถุนายน 2550. Website:http://www.fromnaturewithlove.com/soap/product.asp?productid=butmango

Gaur, R., Sharma, A., Khare, S.K. and Gupta, M. N. 2007. A novel process for extraction of edible oils enzyme assisted three phase partitioning (EATPP). Bioresource Technology. 98: 696–699.

Iqbal, S., and Bhanger, M.I. 2007. Stabilization of sunflower oil by garlic extract during accelerated storage. Food Chemistry. 100: 246–254.

Kansal, S., Shama, A. and Gupta M.N. 2006. An integrated process for obtaining oil, protease inhibitors and lectin from soybean flour. Food Research International. 39:499 –502.

Lipp, M. and Anklem, E. 1998. Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate. Part A. Compositional data. Food Chemistry. 62: 73 – 97.

Logaraj, T.V., Bhattacharya, S., Sankar K.U. and Venkateswaran, G. 2008. Rheological behaviour of emulsions of avocado and watermelon oils during storage. Food Chemistry. 106: 937–943.

Mendez, A.I. and Falque, E. 2007. Effect of storage time and container type on the quality of extra-virgin olive oil. Food Control. 18: 521-529.

Minific, B.W. 1989. Chocolate, cocoa, and Confectionery. 3rd edition, Science and Technology. New York. 904 p.

Oomaha, B.D., Ladetb, S., Godfreya, D.V., Liangc, J. and Girard, B. 2000. Characteristics of raspberry (*Rubus idaeus* L.) seed oil. Food Chemistry. 69: 187-193.

Sharma, A., Khare, S.K. and Gupta, M. N., 2002. Three phase partitioning for extraction of oil from soybean. Bioresourse Technology. 85: 327-329.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Solis-Fuentes, J.A. and Duran-de-bazua, M.C. 2004. Mango seed uses: thermal behavior of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. Bioresource Technology. 92: 71–78.

Solvent miscibility table. 2005. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 23 พฤษภาคม 2550. Website http://www.designer-drugs.com/pte/12.162.180.114/dcd/pdf/solvent.miscibility.pdf

Talbot, G.1999. Vegetable Fats, in Industrual Chocolate Manufacture and use Third Edition by S.T. Beckett, Blackie Academic & Professional , Oxford, pp. 307-322.

Tyagi V.K., and Vasishtha, A.K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. Journal of The American Oil Chemists' Society. 73(4): 499-506.

Zaher, F.A., Kinawy, O.S.E. and Haron, D.E.El. 2004. Solvent extraction of jojoba oil from pre-pressed jojoba meal. Grasas y Aceites. 55: 129-134.

Zaidul, I.S.M., Nik Norulaini, N.A., Mohd Omar, A.K. and Smith Jr, R.L., 2006. Blending of supercritical carbon dioxide (SC-CO_2) extracted plam kernel oil fraction and plam oil to obtain cocoa butter replacers. Journal of Food Engineering. 78: 1397-1409.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี

1. การวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

เครื่องวัดสี Hunter Lab (รุ่น Miniscan XE plus, USA) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D-light 65 มุมสังเกต 10 องศา ทำการ calibrate มาตรวัดสีทุกครั้งก่อนนำมาใช้ ด้วยแผ่นกระเบื้องสีดำและสีขาวตามลำดับ

2. การหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีของ AOAC, 2000-925.10

วิธีการปฏิบัติ

1. ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะม่วงประมาณ 2.00-5.00 กรัม ใส่ในภาชนะ
2. อบถ้วย ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators) และชั่งน้ำหนักจนคงที่
3. อบที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา1ชั่วโมง อุณหภูมิในเตาอบคงที่ก่อนจับเวลา และเปิดฝาถ้วยขณะอบ
4. ปิดฝาถ้วยนำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักซ้ำจนได้น้ำหนักสุดท้ายที่เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.005 กรัม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดมะม่วงก่อนอบ} - \text{น้ำหนักเมล็ดมะม่วงหลังอบ}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะม่วงก่อนอบ}} \times 100$$

3. การหาปริมาณเถ้า (Total ash) ตามวิธีของ AOAC, 2000-923.03

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะม่วง 2 กรัม ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
2. นำเมล็ดมะม่วงไปเผาบน hot plate จนหมดควัน

3. นำเมล็ดมะม่วงไปเผาต่อในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนเถ้ากลายเป็นสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณเถ้า

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักที่เหลือจากการเผา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะม่วง (กรัม)}} \times 100$$

4. การหาปริมาณเส้นใยอาหาร (Crude fiber) ตามวิธีของ AOAC, 2000-920.86

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะม่วง 2.00 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และให้ความร้อนทันที ต้มเป็นเวลา 30 นาที รักษาปริมาตรโดยการเติมน้ำร้อน ระหว่างเดือดคนด้วยแท่งแก้วเพื่อป้องกันการเกาะข้างบีกเกอร์ หรือหยดสารป้องกันการเกิดฟองเจือจาง 1 หยด
3. กรองผ่าน Büchner ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน 50 – 70 มิลลิลิตร และกรองผ่าน Büchner ล้างซ้ำอีก 3 ครั้ง ด้วยน้ำร้อน กรองจนเมล็ดมะม่วงแห้ง
4. แยกกากจากกระดาษกรองใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มและทำให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที คนและควบคุมปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
5. เทตัวอย่างทันทีผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร สลับกัน 3 ครั้ง
6. สุดท้ายล้างด้วยแอลกอฮอล์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แยกกากที่เหลือใส่ลงในถ้วยสำหรับเผา
7. ทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสตลอดคืนหรือ 130±2 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง
8. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
9. เผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 650±15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละเส้นใยอาหาร} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่สูญเสียหลังจากย่อยและเผา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

5. การหาปริมาณไขมัน (Crude fat) ตามวิธีของ AOAC, 2000-920.85

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วย ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักจนคงที่
2. ติดตั้งเครื่องสกัดไขมันและตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส
3. ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะม่วง 5.00 กรัม ใส่ลงในกระดาษกรองและพับใส่ลงในทิมเบิล (thimble)
4. ใส่ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ (petroleum ether) 25 มิลลิลิตรลงในถ้วย
5. นำทิมเบิลประกอบกับแถบแม่เหล็กของเครื่อง และนำแผงใส่ถ้วยรองด้านล่างโยกคันให้ถ้วยติดกับห่วงแม่เหล็ก
6. เปิดเครื่องต้ม (Boiling) จนอุณหภูมิได้ 140 องศาเซลเซียส จับเวลาให้ได้ 30 นาที
7. เปิด By pass ทั้ง 6 ตัวและสกัดนาน 30 นาที
8. กดปุ่มมาที่ rinsing เพื่อยกทิมเบิลขึ้นทิ้งไว้ 30 นาที
9. ปิดBy pass นานประมาณ 5 นาที ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์จะขึ้นมาอยู่ด้านบน
10. เปิดปุ่มอากาศ (air) ปิดระบบระเหย (evaporation) ไว้ประมาณ 5 นาที
11. ปิดสวิตซ์การทำงานทั้งหมดแล้วนำถ้วยที่มีไขมันไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 นาที
12. รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมัน}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะม่วง}} \times 100$$

6. การหาปริมาณโปรตีน (Protein content) ตามวิธีของ AOAC, 2000-920.87

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะม่วง 0.7 – 2.2 กรัม ใส่ลงในขวดย่อยตัวอย่าง (Kjeldahl flask)
2. ใส่คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 0.7 กรัม และโพแทสเซียมไดซัลไฟด์ (K_2SO_4) 2.00 กรัม เติม กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2 SO_4) 25 มิลลิลิตรตั้งอุณหภูมิของเครื่องย่อย (Kjeldahl digestion) ไว้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
3. รอจนอุณหภูมิถึงระดับจับเวลาต่อไปอีก 15 นาที และเปลี่ยนระดับอุณหภูมิเป็น 380 องศาเซลเซียส แล้วทำการย่อยจนได้สารละลายใส
4. รอให้ขวดย่อยตัวอย่างเย็นแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 - 250 มิลลิลิตร
5. ติดตั้งชุดกลั่นโดยมีขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ที่บรรจุกรดบอริก (boric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และเติมเมททิลเรด (methyl red) 2 – 3 หยด
6. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 50 - 70 มิลลิลิตรในขวดย่อยตัวอย่าง
7. กลั่นใช้เวลาประมาณ 20 นาที
8. นำขวดรูปชมพู่ที่มีสารที่กลั่นได้มาไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น0. 1 นอร์มอล

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การคำนวณ

ร้อยละโปรตีน = ร้อยละไนโตรเจน $\times$ 5.7

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{(\text{ml of HCl} - \text{ml of Blank}) \times \text{N of HCl} \times 14.007 \times 100}{\text{Weight of sample}}$$

เมื่อ ml of HCl คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกเป็นมิลลิลิตร

ml of Blank คือ ปริมาตรของตัวว่างเปล่าเป็นมิลลิลิตร

N of HCl คือ ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริกเป็นนอร์มัล

Weight of sample คือ น้ำหนักของเมล็ดมะม่วงเป็นกรัม

7. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การคำนวณ

ร้อยละคาร์โบไฮเดรต = 100 – ปริมาณของ(ความชื้น+ไขมัน+โปรตีน+เถ้า + เส้นใย)

8. การวิเคราะห์ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) ด้วยเครื่อง Abbe refractomete

ทำการวิเคราะห์โดยหน่วยงาน กรมวิทยาศาสตร์บริการ ส่วนงานวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

9. การวิเคราะห์สี (color) ด้วยเครื่อง Tintometer, Lovibond, PFX 190

ทำการวิเคราะห์โดยหน่วยงาน กรมวิทยาศาสตร์บริการ ส่วนงานวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

10. การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) โดยเครื่อง Brookfields รุ่น DVLVII

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง ใส่เข็ม (spindle)
2. ปรับปุ่ม Select spindle (ปรับเครื่องให้ตรงกับ spindle ที่ใช้ เมื่อได้แล้วให้กด Select spindle ซ้ำอีกครั้งให้เครื่องรับคำสั่ง)
3. เตรียมตัวอย่างโดยทำการนำไปหลอมละลายใน Water bath ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
4. กดสวิตซ์เปิด กดปุ่มรันการทำงานแล้วทำการหัววัดโดยใช้หัววัดขนาดเล็ก
5. ทำการตั้งค่าชนิดของหัววัดและเลือกความเร็วของรอบในการวัดใช้ 100 รอบต่อนาที
6. นำน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกระบอกที่วัดให้ได้ระดับตามที่กำหนด
7. ยกแกนลงมาให้หัววัดจุ่มลงในน้ำมันตามระดับ
8. กด start เพื่อทำการวัดค่าที่ได้โดยสังเกตค่าความหนืดที่อ่านได้ Cp จะต้องคงที่ไม่แปรปรวนขณะอ่านผล เพื่อให้บันทึกผลง่ายไม่ผิดพลาด (เช่นปรับไว้ที่ 100 rpm เมื่อได้แล้วให้กด Set speed ซ้ำอีกครั้งให้เครื่องรับคำสั่ง)
9. จดผลการทดลอง โดยกดปุ่ม Select display หาค่าความหนืดที่ต้องการ

11. การวิเคราะห์จุดหลอมเหลว (Slip melting point; SMP) โดยวิธี PORIM test method

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมาหลอมละลายให้หมดแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง
2. จุ่มหลอดคาพิลารี (capillary tube) ที่แห้งและสะอาดลงในตัวอย่างให้ตัวอย่างสูงขึ้นมา 10 มิลลิเมตร จะได้คอลัมน์ไขมัน (fat column)
3. แกว่งคอลัมน์ไขมันในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งไขมันกลายเป็นของแข็ง (ระวังอย่าให้ปลายเปิดที่มีไขมันสัมผัสกับน้ำแข็ง)
4. เช็ดปลายหลอดคาพิลารี ด้วยกระดาษทิชชูอย่างรวดเร็ว
5. นำหลอดคาพิลารีใส่ในหลอดทดลองซึ่งอยู่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำอุณหภูมิ 10 ± 0.1 องศาเซลเซียสใส่ในเครื่องทำความเย็น
6. ย้ายหลอดทดลองใส่ในเครื่องทำความเย็น ซึ่งคงอุณหภูมิไว้ที่ 10±0.1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
7. นำหลอดคาพิลารี ออกมาผูกติดกับเทอร์โมมิเตอร์โดยให้ส่วนปลายสุดของหลอด อยู่ที่ระดับเดียวกับส่วนล่างสุดของปรอท
8. จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตรโดยจุ่มลงไป 30 มิลลิเมตร นับจากส่วนปลายสุดของเทอร์โมมิเตอร์
9. เติมน้ำแข็งลงไปให้ได้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ SMP ของตัวอย่างที่คาดไว้ประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส
10. ค่อยๆ ให้ความร้อนโดยใช้ hot plate ด้วยอัตราเร็ว 1 ± 0.1 องศาเซลเซียสต่อนาที และลดอัตราเร็วเป็น 0.5 ± 0.1 องศาเซลเซียสเมื่อถึง slip point โดยขณะที่ให้ความร้อนจะต้องมีการคนสารละลายตลอดเวลาด้วย magnetic stirrer
11. ให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งระดับไขมันในหลอดเพิ่มสูงขึ้น
12. บันทึกอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ในขณะนั้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

12. การวิเคราะห์ ค่าไอโอดีน (Iodine Number) วิเคราะห์ตาม AOAC, 2000-993.20

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำ Blank ไปพร้อมกันโดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างน้ำมันและทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ
2. ชั่งน้ำมันตัวอย่างประมาณ 10 หยด ชั่งน้ำหนักที่ถูกต้องและใช้ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสะอาดขนาด 400 มิลลิลิตร
3. เติมคาร์บอนเตตระคลอไรด์ลงไป 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างและ Blank
4. เขย่าน้ำมันให้ละลายโดยแกว่งไปรอบๆ
5. เติมสารละลาย Wijs ลงไป 20 มิลลิลิตรโดยใช้ volumetric pipette ที่แห้งสนิท
6. เขย่าขวดรูปชมพู่ไปรอบๆ อย่างรวดเร็ว ปิดจุก และเก็บไว้ในที่มืดอย่างน้อย 30 นาที
7. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป 15 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
8. ไตเตรตด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
9. เมื่อสารละลายมีสีเหลืองอ่อน หยุดไตเตรต เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยดเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายสีฟ้า
10. ไตเตรตอย่างช้าๆ และระมัดระวัง และเขย่าตลอดเวลา จนกระทั่งสารละลายไม่มีสี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(\text{ml ของ Blank} - \text{ml ของโซเดียมไทโอซัลเฟต}) \times N \times 126.9 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต

13. การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Number) วิเคราะห์ตาม AOAC, 2000-957

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำมัน ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 5.0 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ปิเปตต์สารละลายแอลกอฮอลิก-โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ลงไป 50 มิลลิลิตร ใส่หินกันเดือดลงไปเพื่อกันการเดือดรุนแรง นำไปกลั่นไหลกลับประมาณ 30 นาที ตั้งทิ้งให้เย็น
3. นำสารละลายที่ได้มาเทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ชะล้างก้นขวดกลมด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เพื่อมิให้สารหลงเหลือติดค้างอยู่ในขวดก้นกลม

4. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 1-2 หยดเป็นอินดิเคเตอร์และไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่คงเหลืออยู่ โดยที่จุดยุติสารจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี
5. ทำ Blank โดยวิธีดังกล่าวข้างต้น
6. จดบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริกที่ใช้กับสารตัวอย่างและ Blank นำไปคำนวณหาค่าสปอนนิฟิเคชั่นต่อไป

$$\text{ค่าสปอนนิฟิเคชั่น} = \frac{(\text{ml ของ HCl ของ Blank} - \text{ml ของ HCl ของ ตัวอย่าง}) \times N \times 56.1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

14. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) วิเคราะห์ตาม AOAC, 2000-965.33

วิธีการวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1. ชั่งน้ำมัน ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5.0 กรัม ในขวดรูปชมพู่ที่มีจุกปิด
2. เติมสารผสมของกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3:2 โดยปริมาตร จำนวน 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายโพแทสเซียสไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตรหรือโพแทสเซียสไอโอไดด์ 1 กรัม รีบปิดจุกทันที ตั้งทิ้งไว้ พร้อมเขย่าเป็นครั้งคราว 1 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล เขย่าแรงๆ จะได้สารละลายสีเหลือง
5. เติมน้ำแป้งร้อยละ 1 (ประมาณ 10 หยด) เป็นอินดิเคเตอร์ ไตเตรตต่อไปจนได้สีน้ำเงินจางหายไป
6. ทำ Blank โดยวิธีดังกล่าวข้างต้น
7. จดบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้กับสารตัวอย่างและ Blank นำไปคำนวณหาค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{(\text{ml โซเดียมไธโอซัลเฟตของตัวอย่าง} - \text{ml โซเดียมไธโอซัลเฟตของ Blank}) \times N \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟต

15. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด วิเคราะห์ตาม AOAC, 2000-Titration Method

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำมัน ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5.0 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ จำนวน 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 4-5 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ นำมาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้สีชมพูเรื่อๆ ที่ถาวรเกิดขึ้น
4. จดบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับสารตัวอย่าง นำไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{V \times 56.1 \times N \text{ ของ KOH}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

16. การวิเคราะห์ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะม่วง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การวิเคราะห์ชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันจะทำการวิเคราะห์โดยหน่วยงาน สถาบันอาหาร โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างดังนี้

การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักของน้ำมัน 0.1000 $\pm$ 0.0002 กรัม ลงในขวด pear
2. เติมเมทาโนลิก (methanolic) 4 มิลลิลิตร (ผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม กับเมทานอล 100 มิลลิลิตร) เพื่อทำการละลายน้ำมัน
3. Reflux ใน Condenser จนเดือด
4. เติมโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) จำนวน 5 มิลลิลิตร (ร้อยละ 14 ในเมทานอล) แล้ว Reflux ต่อ 2 นาที
5. ยกออกจาก Condenser
6. เติมโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (ที่ตั้งทิ้งไว้จนเย็น) จนถึงปากขวด pear
7. ดูดส่วนที่ใสชั้นบน ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) อยู่ 1 ช้อนชา ดูดส่วนที่ใสด้านบนใส่ขวด vial เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ภาคผนวก ข
กระบวนการสกัดและการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

1. การสกัดไขมันจากเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี soxhlet extraction

วิธีการสกัด

1. ทำการสกัดไขมันตาม ภาคผนวก ก. 5 โดยเปลี่ยนตัวทำละลายจากปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเฮกเซนและเปลี่ยนเวลาในการสกัดเป็น 6 ชั่วโมง
2. นำไขมันที่ได้มาทำการจัดเก็บในขวดสีชาระหว่างรอการทำให้บริสุทธิ์

2. การสกัดไขมันจากเมล็ดมะม่วงด้วยวิธี Three phase partitioning (Sharma และคณะ, 2002)

วิธีการสกัด

1. นำวัตถุดิบที่ต้องการสกัดน้ำมัน ที่ผ่านการอบแห้งและบดให้เป็นผงแล้วปริมาณ 5 กรัม มาผสมน้ำกลั่นปริมาณ 30 มิลลิลิตร แล้วคนเบาๆ จนได้ส่วนผสมที่เข้ากัน
2. เติมแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วคนต่อ
3. เติมตัวทำละลายอินทรีย์ ที-บิวธานอล (*t*-butanol) ปริมาณ 30 มิลลิลิตร
4. นำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเกิดการแยกชั้นออกมาเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นบนเป็นเฟสของตัวทำละลายกับน้ำมัน ชั้นล่างเป็นชั้นของน้ำกลั่นกับผงเมล็ดบางส่วน และชั้นกลางเป็นชั้นของน้ำมันกับตัวทำละลายบางส่วนและผงเมล็ดมะม่วง
5. นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ได้ชั้นของตัวทำละลายกับน้ำมันแล้วนำไป
6. ระเหยเอาตัวทำละลายออกโดยเครื่อง Rotavaper ได้ส่วนที่เหลือเป็นน้ำมันที่ต้องการสกัด
7. นำไขมันที่ได้มาทำการจัดเก็บในขวดสีชาระหว่างรอการทำให้บริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3. การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ (purification)

วิธีการปฏิบัติ

1. ละลาย crude fat ใน ปิโตรเลียมอีเทอร์ ด้วยอัตราส่วน 1:5 (w/v)
2. เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 14 พร้อมกับการคนอย่างแรงเป็นเวลา 3 นาที (ปริมาตรที่ใช้คิดจาก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ต่อไขมัน 1 กรัม)
3. เติมเอทานอลร้อยละ 50 ด้วยอัตราส่วน 1:2.5 (w/v) ในขณะที่ยังคนอยู่
4. ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งแยกชั้น ซึ่งจะแยกเป็น 3 เฟส (3 phase) คือ ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ ไขมันและสบู่ (soap alcohol)
5. ทำการแยกเป็น 2 เฟสออกจากกันโดย
   5.1 เฟสของสบู่ (soap alcohol phase) ทำการสกัดอีกครั้งด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์
   5.2 เฟสของปิโตรเลียมอีเทอร์ที่รวมกับเฟสไขมันนำไปทำการระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกในขั้นตอนต่อไป
6. กำจัดปิโตรเลียมอีเทอร์ออกโดยใช้เครื่อง rotary evaporator จะได้ไขมันที่บริสุทธ์ (purified fat)
7. เก็บไขมันที่บริสุทธ์ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ค

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

ภาพผนวกที่ 1 มะม่วงพันธุ์แก้ว (ซ้าย) ตัวอย่างเมล็ดมะม่วงจากโรงงานที่ยังไม่ได้แกะเปลือกแข็ง (กลาง) และเมล็ดในสีขาวหลังแกะเปลือกแข็ง (ขวา) ก่อนการอบแห้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาพผนวกที่ 2 ตู้อบแบบสุญญากาศ

ภาพผนวกที่ 3 เครื่องสกัดไขมัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะของน้ำมันที่ทำการจัดเก็บ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล:

(ภาษาไทย) นายจักรกฤษณ์ จังโส

(ภาษาอังกฤษ) MR. CHAKKRIT CHANGSO

ที่อยู่: 16 หมู่ 1 ต.ท่าชุมพล อ.โพธาราม จ.ราชบุรี 70120

การศึกษา: ระดับปริญญาโท วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอาหารมหาวิทยาลัยศิลปากร
ระดับปริญญาตรี วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ประสบการณ์ทำงาน: บริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ จำกัด
ตำแหน่ง customer survice (มีนาคม 2549 ถึง มิถุนายน 2549)
บริษัท มาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)
ตำแหน่ง หัวหน้างาน Processing (เมษายน 2546 ถึง มิถุนายน 2547)
บริษัท เฟิรสท์ แคนฟูดส์ (ไทย) จำกัด
ตำแหน่ง รองผู้จัดการฝ่ายผลิต (กันยายน 2545 ถึง มีนาคม 2546)