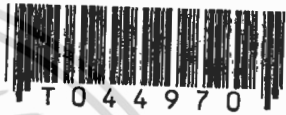


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

STUDIES ON THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF PAPAYA  
SEED OIL



จิตติมา อินทาภรณ์  
CHITTIMA INTAPORN

๖๖  
๖ ๕๕ ๖  
๖ ๕ ๖

เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 44970  
วัน, เดือน, ปี 16 ส.ค. 2546

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ISBN 974-324-091-8 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDIES ON THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF PAPAYA  
SEED OIL**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

**ISBN 974-324-091-8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ
นักศึกษา	นางสาวจิตติมา อินทาภรณ์
รหัสประจำตัว	43066009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิด คือ เฮกเซนและปีโตรเลียมอีเทอร์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณน้ำมันดิบและปริมาณ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol, TAG) ของน้ำมันที่สกัดได้ พบว่า ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ คือปีโตรเลียมอีเทอร์ เนื่องจากมีแนวโน้มที่ให้ปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG จากน้ำมันเมล็ดมะละกอมากกว่าการใช้เฮกเซน นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการสกัดและแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันได้เร็วกว่าการใช้เฮกเซน จากการนำน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้โดยใช้ปีโตรเลียมอีเทอร์มาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอเปรียบเทียบกับน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่า acid value, peroxide value, unsaponifiable matter, ความชื้น และค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านกระบวนการมีความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำมันดิบ สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน ในน้ำมันจากเมล็ดมะละกอดด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟี (gas chromatography, GC) พบว่า น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอและน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีชนิดและปริมาณของกรดไขมัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยพบกรดโอเลอิกในปริมาณสูงที่สุด (74.20 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กรดปาล์มิติก (16.24 เปอร์เซ็นต์) กรดสเตียริก (4.52 เปอร์เซ็นต์) และกรดไลโนเลอิก (2.70 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกันมากกับองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันมะกอก สำหรับผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของ TAG จากน้ำมันเมล็ดมะละกอ พบว่า ที่ตำแหน่ง *sn*-2 มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูงที่สุด (83.9 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือกรดไลโนเลอิก (4.78 เปอร์เซ็นต์) และกรดปาล์มิติก (2.58 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ สำหรับที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 พบกรดโอเลอิกในปริมาณสูงที่สุด (64.7 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กรดปาล์มิติก (27.0 เปอร์เซ็นต์) และกรดสเตียริก (6.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Studies on the Composition and Properties of Papaya Seed Oil
<b>Student</b>	Miss Chittima Intaporn
<b>Student ID.</b>	43066009
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Food Science
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis advisor</b>	Dr. Praphan Pinsirodom

### ABSTRACT

Effects of organic solvents, hexane and petroleum ether, used in the extraction of papaya seed oil on the amount of crude oil and triacylglycerol obtained were studied. Petroleum ether was found to be a better solvent for the extraction of papaya seed oil in terms of the higher content of crude oil and triacylglycerol obtained, shorter extraction time required, and easier removal of the solvent from the extract. The crude oil was then subjected to partially refining processes and physicochemical properties and fatty acid composition of the partial refined oil were analyzed. The partially refining processes resulted in the partial refined papaya seed oil with lower acid value, peroxide value, unsaponifiable matter, moisture content and refractive index compared to the crude oil. Both the crude and partial refined papaya seed oil contained no difference in fatty acid composition ( $p>0.05$ ) which was similar to olive oil. The fatty acid composition of papaya seed oil was oleic acid (74.20%), palmitic acid (16.24%), steric acid (4.52%), and linoleic acid (2.70%). The distribution of fatty acids in the triacylglycerol of papaya seed oil at *sn*-2 and *sn*-1,3 positions was determined. The predominant fatty acids found at the *sn*-2 position were oleic acid (83.9%), linoleic acid (4.78%), and palmitic acid (2.58%); while those at the *sn*-1,3 position were oleic acid (64.7%), palmitic acid (27.0%), and steric acid (6.78%).

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จขึ้นมาไม่ได้ ถ้าไม่ได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ อุปกรณ์ในการทดลอง และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.รติพร หาเรือนกิจ ผศ.เขาวลัักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ และ ดร.พอใจ ถามากร ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ในสาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร ทุกท่านที่ได้แนะนำแนวทางในการศึกษาข้อมูล การนำเสนอวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความรู้และคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ Ms. Chen – Hsien Lee Department of Food Science, Unjversity of Wisconsin Madison ที่ให้ความอนุเคราะห์ในงานวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

ขอขอบคุณบริษัทอาหารสยามจำกัด (มหาชน) จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบ ตลอดจนการทำการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และบุคคลที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ คุณพ่อ ผู้เป็นที่เคารพยิ่ง รวมทั้งพี่ชาย ที่ได้ให้ความรัก ใ้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทุกด้าน ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมไว้แต่เพียงผู้เดียว

จิตติมา อินทาภรณ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เมล็ดมะละกอ.....	3
2.2 การผลิตน้ำมันบริ โภค.....	7
2.3 สมบัติของน้ำมันและไขมัน.....	13
2.4 การทำอนุพันธ์ (Derivatization) สำหรับการวิเคราะห์โดยกาซลิควิดโครมาโตกราฟี (Gas Liquid Chromatography) .....	18
2.5 ไขมันตัดแปลง โครงสร้าง.....	24
2.6 ความสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid, MUFA).....	28
2.7 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส (Lipase).....	28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	34
3.1 วัตถุประสงค์.....	34
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	37
3.3 สถานที่ดำเนินงาน.....	39
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	44
4.1 ผลของชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อปริมาณน้ำมัน และปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ.....	44
4.2 สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมัน ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	45
4.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง <i>sn</i> -2 และ <i>sn</i> -1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	60
ภาคผนวก ค.....	61
ภาคผนวก ง.....	62
ภาคผนวก จ.....	63
ภาคผนวก ฉ.....	64
ภาคผนวก ช.....	65
ภาคผนวก ซ.....	67
ภาคผนวก ฌ.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ลล์มะละกอ.....	3
2.2 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันมะกอกและน้ำมันจากเม็ลล์มะละกอ.....	5
2.3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเม็ลล์มะละกอ.....	6
2.4 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ .....	15
2.5 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	16
2.6 ปฏิริยาการทำอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นกับหมู่ฟังก์ชันัลต่างๆ .....	23
2.7 ตารางแสดงสารก่ออนุพันธ์ตามประเภทของปฏิริยา.....	25
4.1 ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากเม็ลล์มะละกอและปริมาณ TAG ของน้ำมันเม็ลล์มะละกอที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน.....	44
4.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเม็ลล์มะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ.....	47
4.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเม็ลล์มะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ.....	49
4.4 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันเม็ลล์มะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ.....	50
4.5 แสดงชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง $sn-2$ และ $sn-1,3$ ของไตรเอซิลกลีเซอรอลและปริมาณ TAG จากน้ำมันเม็ลล์มะละกอ.....	52
ฉ1 แสดงกลุ่มเลขหมายภายในวงล้อเทียบสีน้ำมันของสีแต่ละสี.....	64
ช1 แสดงค่าดัชนีหักเหที่อ่านได้จาก Butyrefractometer.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะละกอเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทยในปัจจุบัน ซึ่งมีแนวโน้มการผลิตและส่งออกในรูปผลสดและแปรรูปบรรจุกระป๋องเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้จากในปี พ.ศ. 2538 มีปริมาณการส่งออกในรูปผลสดเพียง 8 เมตริกตัน แต่ในปี พ.ศ. 2540 มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 44 เมตริกตัน และในปีเดียวกันนี้มีปริมาณมะละกอแปรรูปบรรจุกระป๋องส่งออกถึง 1,333 ตัน มูลค่า 29.165 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541ก ; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541ข) จะเห็นได้ว่าการแปรรูปมะละกอบรรจุกระป๋องก็เป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตให้มีมูลค่ามากขึ้น ในขณะที่เดียวกันหากที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปก็จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยในอุตสาหกรรมแปรรูปมะละกอมีกากเหลือทิ้งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นส่วนของเมล็ดมะละกออยู่ถึง 22 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักวัสดุเหลือทิ้ง และในส่วนของเมล็ดนี้ได้มีการศึกษาพบว่า ในเมล็ดมะละกอสุกที่ผ่านการอบแห้งจนมีความชื้น 4 เปอร์เซ็นต์ มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ โปรตีน 36.6 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 25.6 เปอร์เซ็นต์ (Raie *et al.*, 1992 )

ถึงแม้ว่าในเมล็ดมะละกอสุกอบแห้งจะมีองค์ประกอบของโปรตีนค่อนข้างสูงแต่ก็เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำทั้งในแง่ของสมบัติทางหน้าที่และคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า โปรตีนจากเมล็ดมะละกอถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทริปซิน ได้ยาก (Marfo and Oke, 1986) ดังนั้น โปรตีนจากเมล็ดมะละกอจึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์

องค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุกที่น่าสนใจก็คือ น้ำมัน เนื่องจากมีปริมาณสูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ จากส่วนของเมล็ดแห้ง หรือ 54 เปอร์เซ็นต์ จากส่วนของเอนโดสเปิร์ม (Nguyen and Tarandjiiska, 1995) ที่น่าสนใจกว่านั้นก็คือ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดมะละกอมีความคล้ายคลึงกับน้ำมันมะกอก ดังนั้น การศึกษาการสกัดรวมทั้งองค์ประกอบและสมบัติของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอจึงเป็นแนวทางในการนำเมล็ดมะละกอซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ

1.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

1.2.3 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพขององค์ประกอบกรดไขมัน และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ ข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะละกอและสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิจัยในระดับสูงต่อไป

## บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เมล็ดมะละกอ

มะละกอ เป็นพืชที่รู้จักกันดีในประเทศไทยเพราะเป็นไม้ผลที่ปลูกกันทั่วไปในครัวเรือน และนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มะละกามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya L.* ในตระกูล CARICACEAE มีชื่อภาษาอังกฤษว่า papaya หรือ pawpaw (นันทวัน บุญประภัสร์, 2542) มะละกอเป็นพืชที่ให้ผลได้ตลอดทั้งปี มีลำต้นตรง สูงประมาณ 2-10 เมตร และยังเป็นพืชที่อาจมีดอกเพียงเพศเดียว หรือสองเพศในต้นเดียวกันก็ได้ ต้นเพศเมียอาจให้ผลเมื่อมีอายุได้ 2 ปี แต่ต้นเพศผู้บางต้นอาจให้ผลได้ (สุวรรณ อินทร์คงแก้ว, 2539) มะละกามีส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้มากแทบทุกส่วนไม่ว่าจะนำไปใช้ทางด้านโภชนาการ ทางด้านอุตสาหกรรม หรือแม้ทางด้านเภสัชกรรม

มะละกามีเมล็ดอยู่ภายในผลจำนวนมาก เมล็ดจะติดอยู่กับผนังด้านในของผล เมล็ดจะมีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร สีดำ หรือสีเทา ผิวเปลือกขุ่น เมล็ดจะมีเนื้อเยื่อบางๆ หุ้มอยู่ เมล็ดมะละกามีประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักวัสดุเหลือทิ้งจากการศึกษาของ Chan และคณะ (1978) พบว่าเมล็ดมะละกามีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	71.89
ไขมัน	9.50
โปรตีน	8.40
เถ้า	1.47
คาร์โบไฮเดรต	9.44

ที่มา : Chan และคณะ (1978)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เมล็ดมะละกามีปริมาณไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่ใกล้เคียงกัน ถ้าแยกเมล็ดมะละกอออกเป็นส่วนซาโคเทสตา (sarcotesta) และเอนโดสเปิร์ม (endosperm) พบว่า ในส่วนของซาโคเทสตามีปริมาณของเถ้า โปรตีน และเส้นใยไม่ต่างกันเท่าไรนัก อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าในส่วนของเอน โดสเปิร์ม นอกจากนี้ในส่วนของเอน โดสเปิร์มถือได้ว่าเป็นแหล่ง โปรตีนที่สำคัญแต่ก็ยังมีขนาดครดอะมิโนหลายตัวเมื่อเปรียบเทียบกับ โปรตีนจากถั่วเหลือง (หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพรม, 2544) Raie และคณะ (1992) ได้นำเมล็ดมะละกอสุกอบแห้งมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีปริมาณโปรตีนถึง 36.6 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 25.6 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าเมล็ดมะละกอจะเป็นแหล่งที่มีโปรตีนมากก็ตาม แต่ก็ยังเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำทั้งในแง่ของสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) และคุณค่าทางโภชนาการ กล่าวคือ โปรตีนจากเมล็ดมะละกอมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และความสามารถในการตีขึ้นฟูค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนถั่วเหลือง (Marfo *et al.*, 1986) นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหลอดทดลอง และในหนูทดลองยังแสดงให้เห็นว่า โปรตีนจากเมล็ดมะละกอถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทริปซิน ได้ยาก (Marfo and Oke, 1986) จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์

องค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุกที่น่าสนใจก็คือ ไขมัน เนื่องจากมีปริมาณสูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ จากส่วนของเมล็ดแห้ง หรือ 54 เปอร์เซ็นต์ จากส่วนของเอนโดสเปิร์ม (Nguyen and Tarandjiiska, 1995) ที่น่าสนใจกว่านั้นก็คือ องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันจากเมล็ดมะละกอมีความคล้ายคลึงกับไขมันมะกอก ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันจากเมล็ดมะละกอเปรียบเทียบกับไขมันมะกอกแสดงดังตารางที่ 2.2 โดยจะเห็นว่ากรดไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก (oleic acid) รองลงมาคือ กรดปาล์มิติก (palmitic acid) กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) ตามลำดับ (Chan *et al.*, 1987) สำหรับไขมันอื่นๆ ที่พบในเมล็ดมะละกอได้แก่ ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ชนิดต่างๆ คือ ฟอสฟาติลโคลีน (phosphatidylcholine) ฟอสฟาติลเอทานอลามีน (phosphatidyl ethanolamine) ฟอสฟาติลอินซิทอล (phosphatidylinositol) มีไลโซฟอสฟาติลโคลีน (lysophosphatidylcholine) น้อย และอาจพบคาร์ดิโอไลปิน (cardiolipin) บ้าง (หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพรม, 2544)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไขมันจากเมล็ดมะละกอของ Chan และคณะ (1978) และ Raie และคณะ (1992) ดังตารางที่ 2.3 พบว่า ไขมันเมล็ดมะละกอมีค่า saponification value ใกล้เคียงกับไขมันจากแหล่งอื่นๆ เช่น ไขมันถั่วเหลือง ไขมันเมล็ดฝ้าย ไขมันงา และไขมันมะกอก แสดงให้เห็นว่า ไขมันจากเมล็ดมะละกอมีความยาวเฉลี่ยของโซ่โครงสร้างของกรดไขมันใกล้เคียงกับไขมันอื่นๆ ดังกล่าว นอกจากนี้ค่าไอโอดีนัมเบอร์ (iodine number) ของไขมันเมล็ดมะละกอยังสามารถชี้บ่งได้อีกว่า ไขมันเมล็ดมะละกอมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาร่วมของกรดไขมันในไขมันเมล็ดมะละกอดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะกอกและน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

กรดไขมัน	โมเลปอร์เซ็นต์		
	น้ำมันมะกอก (Bovkisch, 1998)	น้ำมันมะกอก (Nawar, 1985)	น้ำมันเมล็ดมะละกอ (Chan <i>et al.</i> , 1978) (Raie <i>et al.</i> , 1992) (Strocchi, 1977)
กรดลอริก (C12 : 0)	-	0.13	-
กรดมัยริสติก (C14 : 0)	-	1	1.2
กรดปาล์มิติก (C16 : 0)	7.5 – 20.0	10.3	17.8
กรดสเตียริก (C18 : 0)	0.5 – 5.0	2.3	5.9
กรดโอเลอิก (C18 : 1)	55.0 – 83.0	76.3	63.3
กรดลิโนเลอิก (C18 : 2)	3.5 – 21.0	9.7	9.9
กรดลิโนเลนิก (C18 : 3)	<1.5	0.8	-
กรดอาราซิก (C20 : 0)	-	-	-
กรดบีฮีนิก (C22 : 0)	-	0.22	-

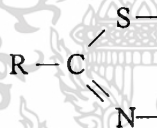
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chan และคณะ (1978)

### ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

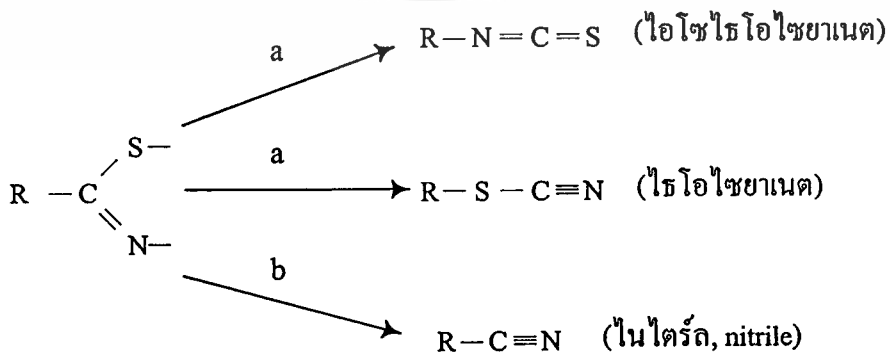
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	ผลการศึกษา	
	(Chan <i>et al.</i> , 1978)	(Raie <i>et al.</i> , 1992)
Refractive index	1.4627	1.4600
Specific gravity (25°C)	0.9130	0.8900
Unsaponifiable matter (%)	2.11	-
Saponification value	187.3	193.4
Iodine number	74.77	83.7
Free fatty acid (%)	1.11	1.5

ที่มา : คัดแปลงจาก Chan และคณะ (1978)

ในประเทศไนจีเรียได้มีการศึกษาการสกัดสารจากเมล็ดมะละกออบแห้งโดยพบสารเบนซิลไอโซไซโรไอโซไซยานต (benzyl isothiocyanate) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของสารตั้งต้นในกลุ่มกลูโคซิโนเลต (glucosinolate) เนื่องจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ไรโอกลูโคซิเดส (thioglucosidase) เป็นตัวเร่ง (El-Tayeb *et al.*, 1974) ซึ่งอยู่ในรูปที่รวมตัวอยู่กับน้ำตาลกลูโคส (R) ดังสูตรโครงสร้างต่อไปนี้



สารในกลุ่มกลูโคซิโนเลตนี้เมื่อมีเอนไซม์ไรโอกลูโคซิเดส [E.C.3.2.3.1] (thioglucoside glucohydrolase) เข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะเกิดเป็นสารไอโซไซโรไอโซไซยานต หรือ ไรโอไซยานต (thiocyanate) ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

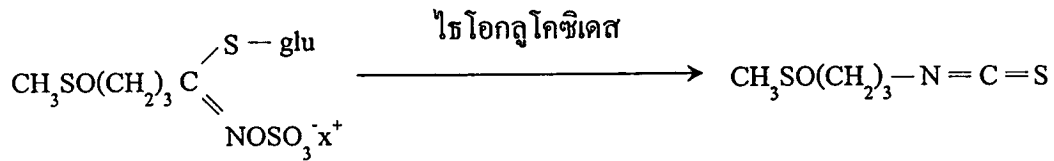


a = ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไรโอกลูโคซิเดส

b = ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยไม่ใช้เอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งในวันเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบเบนซิลไอโซไซยาเนตที่พบในเมล็ดมะละกอ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ ไซโอกลูโคซิเดสที่พบในส่วนที่เป็นวุ้นใสหุ้มเมล็ด กับสารตั้งต้นเบนซิลไอโซไซยาเนตซึ่งอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม ในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น *Lesquerella fendleri* ก็สามารถเกิดสารในกลุ่ม ไอโซไซยาเนตได้เช่นกันดังสมการต่อไปนี้ (Carlson *et al.*, 1990)



3 - เมทิลซัลฟิไนล โพรพิลกลูโคซิโนเลต  
(3 - methylsulfinyl propylglucosinolate)

3 - เมทิลซัลฟิไนล โพรพิลไอโซไซยาเนต  
(3 - methylsulfinyl propylisothiocyanate)

สารเบนซิลไอโซไซยาเนตนี้มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค และเชื้อราได้ ซึ่งฤทธิ์จะสูงสุดเมื่อสกัดจากเมล็ดที่บดใหม่ๆ และยังสามารถติดเชื้อในลำไส้ และทางเดินปัสสาวะ โดยสารตัวนี้จะมีการขับทิ้งทางปัสสาวะหลังจากให้ยาไปแล้ว 3-6 ชั่วโมง และพบความเป็นพิษของสารดังกล่าวต่อหนู และแมวทดลองต่ำมาก (El-Tayeb *et al.*, 1974)

## 2.2 การผลิตน้ำมันบริโภค

### 2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ (เนื้อทอง วนานูวัธ, 2539)

ก่อนสกัดหรือบีบแยกไขมันจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบเพื่อสกัดหรือบีบน้ำมันให้ได้มาก หลังจากทำความสะอาดเมล็ดพืชน้ำมันแล้ว นำเมล็ดที่มีเปลือกหนาไปกระเทาะเปลือกออกบดให้มีขนาดเล็กลง หรือทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้บีบเอาน้ำมันออกมาได้ง่ายขึ้น เพราะการบดทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดแตกออก การบดยิ่งละเอียดเท่าไรก็ยิ่งบีบน้ำมันได้ง่ายขึ้น แต่ไม่เหมาะสมถ้าใช้สกัดด้วยตัวทำละลาย เพราะการบดละเอียดเกินไปจะทำให้เป็นฝุ่นผงไปอุดทางเดินของสารละลาย ทำให้สารละลายไหลไม่สะดวกจึงต้องบดให้ละเอียดพอประมาณ หรืออัดเป็นแผ่นบางๆ การบดนี้จะมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ จากข้อมูลการทดลอง ของ Lyon และ Becker (1987) เมื่อสกัดน้ำมันจาก Amaranth Seed โดยบดด้วยเครื่องมือต่างชนิด และขนาดของตะแกรงร่อนต่างกัน สกัดด้วยเฮกเซนภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่า การบดด้วยเครื่อง แอบราชันมิล (abrasion mill) ให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการบดด้วยเครื่องแอทริชัน (attrition), ซิงเกิลดิสแฮมเมอร์มิล (single disk hammer mill) และ วิลลีมิล (wiley mill) นอกจากนี้พบว่า ตัวอย่างที่บดละเอียดจะให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าตัวอย่างที่บดอย่างหยาบ (Lyon and Becker, 1987) ในเมล็ดพืชบางชนิดการพ่นไอน้ำ จะช่วยให้โครงสร้างโปร่งพรุนเหมาะแก่การสกัดด้วยตัวทำละลาย และช่วยทำลายเอนไซม์

นอกจากนี้การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบยังช่วยทำลายจุลินทรีย์ และสารพิษช่วยให้กากที่ได้มีคุณภาพที่ดีด้วย

## 2.2.2 การแยกไขมัน (เนื้อทอง วานูวัธ, 2539)

วิธีการแยกน้ำมัน และไขมันจากแหล่งวัตถุดิบต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 แบบ

2.2.2.1 การใช้ความร้อน เรียกว่า การเจียวหรือเรนเดอร์ริง (rendering) นิยมใช้กับเนื้อเยื่อไขมันจากสัตว์ที่มีลักษณะอ่อน และมีไขมันสูงโดยที่หลักการ คือ การให้ความร้อนจนผนังเซลล์แตก และไขมันเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวไหลออกมาได้ง่าย เช่น น้ำมันหมู และไขวัว นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตไขมันจากปลา และสัตว์น้ำ ในอุตสาหกรรมอาจทำได้ 2 วิธี คือ

- การเจียวแบบแห้ง (dry rendering) ทำการเจียวภายในภาชนะเปิด โดยไม่ให้เนื้อเยื่อเปียกน้ำ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 220-230 องศาฟาเรนไฮต์ หลังการเจียวเสร็จจะแยกไขมันออกจากกากโดยแยกด้วยเครื่องเหวี่ยง แล้วนำกากไปบีบอัดน้ำมันที่ยังหลงเหลืออีก เพื่อนำไปรวมกับน้ำมันที่แยกได้ส่วนแรก ส่วนที่เหลือจากการอัดจะนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ต่อไป ไขมันที่สกัดได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดี เพราะไขมันบางส่วนได้รับความร้อนสูงจากการสัมผัสผิวภาชนะโดยตรงจึงทำให้มีสีคล้ำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

- การเจียวแบบเปียก (wet rendering) ทำได้โดยการพ่นไอน้ำลงบนเนื้อเยื่อไขมันในภาชนะปิดที่ความดันต่ำประมาณ 45-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลา 9-6 ชั่วโมง โดยควรทำในระบบสูญญากาศเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และช่วยลดเวลาในการสกัดลง ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายและยอมให้ไขมันออกมาได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่น รส และคุณภาพการเก็บดี แม้จะมีประสิทธิภาพการสกัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวิธีเจียวแห้ง

2.2.2.2 การบีบหรือใช้แรงอัด (hydraulic pressing) การสกัดโดยการบีบอัดเป็นวิธีที่นิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องบีบมีหลายชนิดและกระบวนการมีทั้งกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่อง (batch pressing) และกระบวนการแบบต่อเนื่อง (continuous pressing) ซึ่งอาจเป็นการใช้แรงอัดแบบเย็น (cold pressing) หรือการใช้แรงอัดแบบร้อน (hot pressing) ก็ได้

- การใช้แรงอัดแบบเย็น นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และมะพร้าว เป็นต้น แรงกดที่ให้แก่นื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตกบีบน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้นำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันงาและน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดโดยวิธีนี้จะมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นถั่ว (nutty flavor) ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรงแต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตามการใช้แรงอัดแบบเย็นมีประสิทธิภาพต่ำ เพราะกากยังมีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใช้แรงอัดแบบร้อน มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงอัดแบบเย็นกาทที่เหลือจากการใช้แรงอัดแบบเย็นจะนำมาทำต่อโดยการใช้แรงอัดแบบร้อน ซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (hydraulic batch press) หรือเครื่องอัดแบบสกรู (continuous screw press) หรือเอกซ์พิวเลอร์ (expeller) การสกัดแยกน้ำมัน โดยวิธีเหล่านี้ใช้ความดันประมาณ 1 – 15 ตันต่อตารางนิ้ว และจะมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียง 2 – 4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

2.2.2.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดไม่ว่าจะใช้วัตถุดิบชนิดใดก็ตาม จัดว่ามีข้อได้เปรียบมากที่สุด เช่น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอัดซึ่งทำให้เหลือน้ำมันตกค้างในกากประมาณร้อยละ 2-3 เป็นอย่างต่ำ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายจะเหลือน้ำมันตกค้างในกากไม่เกินร้อยละ 1 วิธีการทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมาด้วยตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก น้ำมันที่ได้ออกมาเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) มักมีสารประกอบต่างๆ ปนอยู่มากมาย ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดไขมัน และน้ำมัน ได้แก่

- ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณของตัวทำละลายในการสกัดมากจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มาก มีน้ำมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายมากก็ต้องใช้เวลานานในการกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก ทำให้เกิดการสูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปสูงขึ้นด้วย ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม โดยปกติการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่ว และเมล็ดฝ้าย จะใช้ตัวทำละลายค่อน้ำหนักของเมล็ดพืชที่สกัดในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง

- ชนิดของตัวทำละลาย มีตัวทำละลายหลายชนิดที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน ตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษแก่ร่างกาย โรงงานทั่วไปใช้เฮกเซน (n-hexane) ที่มีช่วงจุดเดือด 67-70 องศาเซลเซียส เป็นตัวทำละลาย จากข้อมูลการทดลองของ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) พบว่าการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์จะได้ปริมาณน้ำมัน 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสกัดด้วยเฮกเซนจะได้ปริมาณน้ำมัน 25.6 เปอร์เซ็นต์ (Raie *et al.*, 1992)

- อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยทำให้น้ำมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย

- ความหนาของแผ่นเมล็ดพืชอัด เมล็ดพืชก่อนนำมาสกัดจะถูกบดให้แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอัดให้เป็นแผ่นแล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลเข้าไปสัมผัส ถ้าเมล็ดพืชถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปได้ยาก

- ความชื้นของเมล็ดพืช เมล็ดพืชที่นำมาสกัดน้ำมันไม่ควรมีความชื้นสูงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้ยาก

- เวลาที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายต้องใช้เวลานานพอสมควร เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดเอาน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

ข้อดีของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำมันที่ได้เมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมวัตถุดิบมีอัตราส่วนร้อยละสูงกว่าแบบวิธีอื่นๆ ทำให้ได้กากที่ปราศจากไขมัน และได้กากโปรตีนที่ไม่เสียสภาพเนื่องจากไม่ใช้ความร้อนร่วมในกระบวนการสกัด ได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากมีการใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องน้อยในกระบวนการสกัด นอกจากนี้ยังช่วยรักษาส่วนของวิตามินที่ละลายในไขมันที่อยู่ในวัตถุดิบ เช่น วิตามินเอ วิตามินอี เนื่องจากใช้ความร้อนไม่สูงในกระบวนการสกัด

ข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ เครื่องที่ใช้สกัดมีราคาสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ตัวทำละลายที่ใช้คิดไฟง่าย สำหรับวัตถุดิบบางชนิด เช่น เมล็ดฝ้าย มีสารที่เป็นพิษต่อสัตว์ที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง (non-ruminant) เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสกัดนี้ไม่เพียงพอในการทำลายพิษดังกล่าว

### 2.2.3 การทำให้ไขมันบริสุทธิ์ (เนื่อทอง วนานูวัธ, 2539)

หลังจากได้น้ำมันดิบแล้วการจะผลิตเป็นน้ำมันเพื่อบริโภคจะต้องผ่านขั้นตอนที่ทำให้ไขมันมีความบริสุทธิ์และมีคุณภาพดีเพียงพอ โดยน้ำมันที่ดีต้องไม่มีสารอื่นปนอยู่นอกจากสารไตรเอซิลกลีเซอรอล และวิตามินอี ดังนั้นสารอื่นที่อาจมีอยู่จึงเป็นสิ่งเจือปน ซึ่งรวมถึงกรดไขมันอิสระ โมโนและไดเอซิลกลีเซอรอล ฟอสฟาไทด์ สเตอรอยด์ ไฮโดรคาร์บอน รงควัตถุ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะต้องถูกกำจัดออกโดยกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ในแต่ละขั้นตอนจะให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนี้

#### 2.2.3.1 การกำจัดสารเหนียว (degumming) น้ำมันดิบโดยทั่วไปที่ผ่านการสกัด

จะมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่กลีเซอรอลปนอยู่ เช่น กรดไขมันอิสระ สารที่ไม่ใช่ไขมัน เช่น กัม เป็นต้น การกำจัดสารเหนียวจึงเป็นกระบวนการแยกสารซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว (gummy) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีรูปแบบโมเลกุลที่หลากหลาย แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายในน้ำ และกลุ่มที่ไม่ละลายในน้ำ เนื่องจากสารเหนียวนี้มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และบางตัวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะพวกแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ทำให้ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันลดลง นอกจากนี้เมื่อถูกความร้อนน้ำมันจะเปลี่ยนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น และกลายเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นต้องกำจัดสารเหนียวเหล่านี้ออกไปโดยใช้ น้ำ หรือสารละลายของกรด หรือเกลือของกรด ในปริมาณร้อยละ 2-3 ของปริมาณน้ำมัน เช่น ใช้ สารละลายน้ำเกลือ หรือโพโรฟอสเฟตล้างเอาสารเหนียวออกที่อุณหภูมิประมาณ 30-50 องศา เซลเซียส หลังจากนั้นล้างเอาสารเหนียวที่เกิดไฮเดรชัน (hydration) หรือดีเกรเดชัน (degradation) ออกโดยการเหวี่ยงแยกกันที่ได้ไปใช้ผลิตเลซิทีน (lecithin) สารเหนียวเหล่านี้ถ้าไม่กำจัดออกจะ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมันเมื่อเก็บไว้นาน และทำให้เกิดฟองเมื่อใช้อุณหภูมิสูง (Carr, 1978) โดยกระบวนการนี้อาจทำพร้อมกันกับขั้นตอนการแยกกรดไขมันอิสระโดยการทำให้ เป็นกลางด้วยด่างเลยก็ได้ เนื่องจากในระบบที่มีด่างอยู่ด้วยจะช่วยให้สารเหนียวละลายน้ำได้ดีขึ้น

2.2.3.2 การทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมีหรือการใช้เบส (alkali หรือ chemical refining) เป็นกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระออกโดยใช้สารละลายเบส (caustic soda หรือ soda ash) ทั้งนี้เพราะผลหรือเมล็ดในระหว่างการสุกแก่ หรือหลังการสกัดไขมัน เอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ ไขมันจะทำงานจึงทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ การทำให้บริสุทธิ์โดยการใช้เบสเป็นการกำจัดกรด ไขมันอิสระ โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่างที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งส่วนมากด่างที่ใช้ คือ โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ จากปฏิกิริยาจะได้สบู่ซึ่งแยกออกได้โดยการกรองหรือหมุนเหวี่ยงใช้น้ำล้างน้ำมันเพื่อ กำจัดสบู่ที่ตกค้างออกให้หมด แล้วอบไล่ให้เหลือความชื้นไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ และความ เข้มข้นของด่างที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางนี้ควรทำให้น้ำมันหลังจากผ่านกระบวนการทำให้ เป็นกลางแล้วสามารถทำให้ค่ากรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่มีค่าระหว่างร้อยละ 0.01-0.03 จึงจะถือได้ ว่าน้ำมันมีคุณภาพดี แต่การใช้ด่างในปริมาณมากเกินไปอาจจะไฮโดรไลซ์ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มี อยู่ได้กรดไขมันอิสระซึ่งจะทำให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วน

จากข้อมูลการทดลองของ Carlson และ Kleimam (1993) พบว่า การกำจัดสาร เหนียว และกรดไขมันอิสระโดยใช้น้ำ 8 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำมันจากเมล็ด *Lesquerella fendleri* จะเกิดส่วนที่เป็นอิมัลชันได้ยากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 8 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วน ของอิมัลชันที่เกิดขึ้นจะมีส่วนของกัมเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นส่วนที่ต้องกำจัดออกไป นอกจากนี้ ยังพบว่า ความเข้มข้นของเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ที่ใช้ในการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน จากเมล็ดบานไม่รู้โรยที่ 12 14 และ 16 °Be' ให้ปริมาณน้ำมันกลับคืนมาไม่ต่างกัน แต่ที่ความเข้มข้น 16 °Be' สามารถช่วยลดความเข้มข้นของน้ำมันได้มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ (Lyon, 1987)

2.2.3.3 การฟอกสี (bleaching) เป็นกระบวนการแยกสารที่ให้สี ได้แก่ พวงกรวด (pigment) คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ออกจากน้ำมัน กระบวนการอื่นๆ ก็สามารถแยกสารประกอบพวงกรวดได้ เช่น การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง สามารถแยกเอารงควัตถุที่ละลายในน้ำหรือที่มีคุณสมบัติเป็นกรดออกได้ การกำจัดกลิ่นช่วยแยกเอา

เอกรงควัตถุที่ระเหยง่ายหรือกลิ่นออกได้ง่ายด้วยไอน้ำและพวกถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนออกได้ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกรงควัตถุที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนอาจสลายกลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ซึ่งไม่มีสีได้นอกจากนั้นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนจะช่วยทำลายรงควัตถุที่รีดิวซ์ได้ง่ายด้วย กระบวนการฟอกสีทำได้ง่ายโดยใช้สารฟอกสี (bleaching agent) ที่มีสมบัติในการดูดซับสารให้สี อาจเป็นถ่านฟอกสี (charcoal) หรือดินฟอกสี (activated clay ,bleaching clay หรือ bleaching earth) ใต้งในน้ำมันจากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 160-180 องศาฟาเรนไฮต์ พร้อมกับการคนกวนทิ้งไว้ระยะหนึ่งจึงกรองแยกสารฟอกสีออกซึ่งอาจทำให้ความดันบรรยากาศหรือใช้ระบบสูญญากาศก็ได้ (Richardson, 1987) สารฟอกสีที่นิยมใช้มี 3 ชนิด คือ neutral bleaching clay เช่น fuller's earth acid process bleaching clay และ activated charcoal

แอซิดเคย์ (acid clay) ทำได้โดยนำเคย์ (clay) มาผสมกับกรดกำมะถันหรือกรดเกลือ ส่วนถ่านฟอกสีราคาค่อนข้างแพงกว่าสารชนิดอื่น และจะควบน้ำมันไว้ด้วยเมื่อใช้ถ่านฟอกสีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมักใช้ 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินฟอกสีผสมกับถ่านฟอกสีส่วนแอซิดเคย์จะเป็นตัวแยกรงควัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นด่างออกจากน้ำมันได้

แซนโทฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นโพลาร์ ซึ่งจะถูกแยกออกโดยใช้ดินฟอกสีสำหรับคลอโรฟิลล์แยกออกโดยใช้แอซิดเคย์หรือถ่านฟอกสี ส่วนแคโรทีนมีมากในน้ำมันปลาและเป็นนอนโพลาร์ซึ่งไม่สามารถแยกออกโดยวิธี แอดซอร์พชัน (adsorption) แคโรทีนจะถูกทำลายได้โดยใช้ความร้อน นอกจากนี้แคโรทีนจะเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีสีในกระบวนการกำจัดกลิ่น ส่วนไขมันจากสัตว์นิยมใช้ความร้อนในการฟอกสี มีรงควัตถุบางชนิดที่ไม่สามารถแยกออกจากน้ำมันได้ คือรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดฝ้าย คือ กอซซิปอล (gossypol) ซึ่งจะมีปริมาณมากในน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ได้จากเมล็ดฝ้ายที่เก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิและความร้อนสูง สาเหตุที่แยกไม่ออกเชื่อว่าอาจเป็นเพราะกอซซิปอลไปรวมตัวกับกรดไขมันบางชนิดเมื่อมีอุณหภูมิและความชื้นสูงทำให้ไม่สามารถแยกออกได้

ในการฟอกสีปัจจัยที่ควรคำนึงถึงคือ ชนิดของสาร อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการฟอกสี จากรายงานของ Carlson และ Kleiman (1993) ซึ่งทดลองใช้สารฟอกสี 4 ชนิด (filtrol nevergreen , activated bleaching earth , natural bleaching earth และ Tonsil L-80) ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ (2.5 , 5 , 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์) ฟอกสีของน้ำมันเมล็ด *Lesquerella fendleri* ในเครื่องระเหยแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสีน้ำมันเมล็ด *Lesquerella fendleri* คือ ใช้สารฟอกสี filtrol nevergreen 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.3.2.4 การกำจัดกลิ่น (deodorization) เป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อกำจัดสารที่ทำให้กลิ่นที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษาน้ำมันดิบ รวมทั้งกรดไขมันอิสระเพื่อให้ไขมันที่ปราศจากกลิ่น และรส (Gavin, 1987) สารประกอบที่ถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

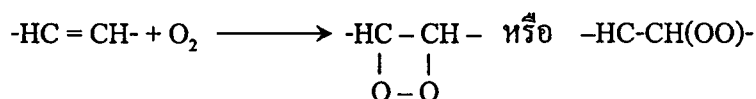
กำจัดออกเป็นพวกกรดไขมันอิสระ อัลดีไฮด์ คีโตน เปอร์ออกไซด์ รวมทั้งพวกสเตอรอล แวกซ์ โมโนเอซิลกลีเซอรอล รงควัตถุบางชนิด และสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน สารที่หักกลืนเหล่านี้จะมีอยู่ในน้ำมันประมาณ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วไม่ควรมีสารเหล่านี้เหลืออยู่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ของที่มีอยู่เดิม กระบวนการกำจัดกลืนเป็นการเป่าไอน้ำร้อนลงไปใต้น้ำมันร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 380-475 องศาฟาเรนไฮต์ ในภาชนะปิดภายใต้ความดัน 6-12 มิลลิเมตรปรอท หรือการกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้สูญญากาศที่อุณหภูมิ 190-240 องศาเซลเซียส การใช้ความร้อนสูงสามารถทำลายรงควัตถุโดยเฉพาะพวกแคโรทีนอยด์ ช่วยให้น้ำมันมีสีอ่อนลงได้ แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงเกินไป เพราะจะทำให้ไขมันเกิดโพลีเมอร์ได้ อาจใช้การกำจัดกลืน เพื่อกำจัดกรดแทนการใช้สารเคมี ที่เรียกว่า ฟิสิกส์คอลลิฟิไนง (physical refining) โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกำจัดกลืน คือ ประมาณ 270 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ใช้รีไฟน์น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง เช่น น้ำมันปาล์มแล้ว ยังสามารถที่จะนำไปใช้กับน้ำมันพืชโดยทั่วไปเพราะสามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีได้ (เนื้อทอง วานานูวัช, 2539) ตามทฤษฎีการกำจัดกลืนจะทำให้ไขมันที่ได้ไม่มีทั้งกลืน และเฟเวอร์ (flavor) เลย อย่างไรก็ตาม น้ำมันบางชนิดก็ยังมีเฟเวอร์เหลืออยู่ ผู้ที่มีความชำนาญในการทดสอบเท่านั้นที่ตรวจพบได้ ส่วนการตรวจทางเคมีนั้นทำโดยการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งต้องมีค่าเป็นศูนย์ ในน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลืนแล้วมักจะมีการเกิดไขมันอิสระเหลืออยู่ 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีวิธีที่จะลดให้น้อยกว่านี้ได้

## 2.3 สมบัติของน้ำมัน และไขมัน (นิริยา รัตนาปนนท์, 2539)

### 2.3.1 สมบัติทางเคมี

2.3.1.1 Saponification number หรือ saponification value คือ จำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมัน หรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่ และกลีเซอรอล ค่า saponification number ใช้เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่า saponification number สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า saponification number ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิส น้อย ขณะที่เกิดปฏิกิริยา saponification จะ มีสบู่เกิดขึ้นดังตัวอย่างปฏิกิริยาต่อไปนี้





การเกิดการหืน โดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมัน และน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพวกวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมัน และน้ำมันอีกด้วย

คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ

ชนิดของไขมัน หรือน้ำมัน	Saponification value (mg KOH/g)	Unsaponifiable matter (g/kg max)	Acid value (mg KOH/g)	Peroxide value (mEq/kg)
เนย	216-233	0.3-0.5	-	1.5-3.5
ไขวัว	190-200	0.2-0.3	-	0.5-0.6
น้ำมันหมู	190-202	0.2-0.4	-	0.4-0.6
น้ำมันปลาขาว	185-194	1.0-2.0	-	-
ไขแกะ	192-198	0.2-0.3	-	-
โกโก้บัตเตอร์	190-200	0.3-0.8	-	0.5
น้ำมันมะพร้าว	250-264	0.2-0.5	15	12-18
น้ำมันปาล์ม (kennel)	245-255	0.2-0.8	20	9-12
น้ำมันปาล์ม	195-205	0.2-0.8	15	0.2-0.3
น้ำมันข้าวโพด	187-193	1.3-2.0	1-2	-
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	198-198	0.6-1.5	<1	-
น้ำมันลินซีด	188-196	0.5-1.6	3.5	-
น้ำมันมะกอก	188-196	0.5-1.7	2	-
น้ำมันถั่วลิสง	188-196	0.5-0.9	1	0.1-0.3
น้ำมันเรพซีด	170-180	0.5-1.5	2	-
น้ำมันงา	188-195	0.8-1.8	1-3	-
น้ำมันถั่วเหลือง	189-195	0.7-1.5	0.5	0.2-0.6

ที่มา : คัดแปลงจาก นิธิยา รัตนปนนท์ (2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบกันเป็นไขมันและน้ำมันนั้นๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนก และชี้บ่งชนิดของไขมัน และน้ำมัน รวมทั้งการนำไขมัน และน้ำมันไปใช้ประโยชน์ ก็จะพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพด้วย สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่

**2.3.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความถ่วงจำเพาะหรือค่าความหนาแน่นของไขมัน หรือน้ำมันนิยมนวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็ง พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปจากเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.5**

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของไขมันและน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส)	การหักเหของแสง (ที่ 25 องศาเซลเซียส)
ไข่แกะ	0.857-0.860	1.454-1.458
ไข่วัว	0.860-0.870	1.454-1.458
เนย	0.865-0.870	1.453-1.456
โกโก้บัตเตอร์	0.990-0.998	1.453-1.458
น้ำมันมะพร้าว	0.917-0.919	1.448-1.450
น้ำมันข้าวโพด	0.922-0.926	1.470-1.474
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0.916-0.918	1.463-1.470
น้ำมันหมู	0.858-0.864	1.459-1.461
น้ำมันลินสีด	0.931-0.938	1.477-1.482
น้ำมันมะกอก	0.909-0.915	1.466-1.468
น้ำมันปาล์มเคอนล	0.860-0.873	1.449-1.452
น้ำมันปาล์ม	0.921-0.925	1.453-1.456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ชนิดของไขมันและน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส)	การหักเหของแสง (ที่ 25 องศาเซลเซียส)
น้ำมันถั่วลิสง	0.917-0.921	1.467-1.470
น้ำมันงา	0.920-0.926	1.470-1.474
น้ำมันถั่วเหลือง	0.924-0.928	1.474-1.476
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0.922-0.926	1.472-1.474
น้ำมันปลาวาฬ	0.917-0.927	1.470-1.477

ที่มา : นิธิยา รัตนापนนท์ (2539)

2.3.2.2 สี (color) สีเป็นตัวบ่งคุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

น้ำมันที่สกัดได้จะวัดสีโดยใช้เครื่อง โลวิบอนด์ (Lovibond) ซึ่งใช้วัดสีของไขมันและน้ำมัน โดยการเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานของแผ่นวงล้อเทียบสีที่มีหมายเลขติดอยู่ที่สีที่ได้จะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามหมายเลขดังภาคผนวก ก

2.3.2.3 การหักเหของแสง (refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะลุน้ำมันตัวอย่างจะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบคุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมัน และน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไขมัน และน้ำมันมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันจะเป็นตัวชี้บ่งจำนวนของพันธะคู่ และจะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง ค่าการหักเหของแสงของไขมันต่างแสดงดังตารางที่ 2.5

## 2.4 การทำอนุพันธ์ (Derivatization) สำหรับการวิเคราะห์โดยกาซลิควิดโครมาโตกราฟี (Gas Liquid Chromatography) (กองบรรณาธิการ LAB.TODAY, 2544)

กาซลิควิดโครมาโตกราฟี (Gas Liquid Chromatography, GLC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ และแยกสารผสมที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย เมื่อสารผสมระเหยกลายเป็นไอจะผ่านเข้าไปในคอลัมน์ซึ่งเป็นเฟสที่อยู่กับที่ ซึ่งประกอบด้วยของเหลวเคลือบอยู่บนของแข็งซับพอร์ตของเหลวที่เป็นเฟสที่อยู่กับที่ที่ต้องเป็นของเหลวที่มีความดันไอต่ำ และมีความคงทนต่อความร้อนสูง สารผสมจะถูกแยกออกจากคอลัมน์โดยกาซตัวพาซึ่งเป็นเฟสที่เคลื่อนที่ ส่วนประกอบต่างๆ ของสารผสมจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ที่เวลาต่างๆ กัน เนื่องจากการกระจายของสารผสมในระหว่างเฟสสองเฟสต่างกัน จึงทำให้สารแต่ละตัวใช้เวลาออกจากคอลัมน์ต่างกัน การกระจายของสารขึ้นกับความดันไอขององค์ประกอบของสารผสม และความสามารถในการดูดซึมของเฟสที่อยู่กับที่ การแยกโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ มวล โมเลกุล และ โครงสร้างที่ต่างกันของสารผสม สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะออกมาก่อน สารที่มีสูตร โครงสร้างที่ซับซ้อนมีกิ่งแขนงมากจะถูกดูดซับได้ดี ฉะนั้น การเลือกใช้เฟสที่อยู่กับที่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ต้องการแยก แต่เทคนิควิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์สารบางชนิด เช่น ไม่สามารถวิเคราะห์สารที่มีสมบัติความเป็นขั้วหรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากสารเหล่านี้ไม่สามารถถูกทำให้กลายเป็นไอได้หมด หรือสารบางตัวจับกับเฟสคงที่แน่นเกินไป รวมทั้งในบางกรณีอุณหภูมิที่ใช้ทำให้สารเหล่านี้เกิดการเสื่อมสลายได้ ดังนั้นการที่จะวิเคราะห์สารเหล่านี้จึงต้องนำเทคนิคบางอย่างเข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ได้ เช่น การทำอนุพันธ์

การทำอนุพันธ์ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของสารให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ หรือทำให้การวิเคราะห์ดียิ่งขึ้น โดยอาจมีวัตถุประสงค์หรือวิธีการแตกต่างกันออกไป เช่น

- เป็นการเพิ่มการกลายเป็นไอของสาร
- ลดความเป็นขั้วของสาร เช่น กรด ฟีนอล รวมทั้งแอลกอฮอล์ และเอมีนบางตัว ช่วย  
ให้แยกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
- ลดการเกิดการเสื่อมสลายความร้อน (thermal degradation) ของตัวอย่างด้วยการให้  
ค่าความร้อนเสถียร
- เพิ่มการตอบสนองของตัวตรวจวัดด้วยการทำอนุพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันนัล แล้วทำให้มี  
ความไวต่อตัวตรวจวัดเฉพาะ อาทิ ECD NPD หรือ MSD เช่น กลุ่ม  $CF_3$  ในการวัดด้วย ECD
- เพิ่มประสิทธิภาพในการแยก และลดการเกิดเทลลิง (tailing)
- เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดออกจากตัวกลางเหลว (เช่น acylation ของ phenolic  
amines)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เชื่อว่าในการเลือกทำอนุพันธ์จะมีข้อดีข้างต้นเพียงอย่างเดียว ยังต้องคำนึงถึงข้อเสียด้วย กล่าวคือ การขจัดสารหลังการทำอนุพันธ์ออกไปไม่หมด กลายเป็นสารรบกวนต่อการวิเคราะห์ได้ และเงื่อนไขในการทำอนุพันธ์อาจทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่ต้องการได้ นอกจากนี้ขั้นตอนที่ใช้ในการทำอนุพันธ์ยังเพิ่มเวลาของการวิเคราะห์

#### 2.4.1 ชนิดของปฏิกิริยาอนุพันธ์

ปฏิกิริยาอนุพันธ์มีหลายแบบ แต่โดยปกติทั่วไปจะแบ่งเป็น 4 กลุ่มด้วยกันตามสารที่ใช้และปฏิกิริยาที่ทำ คือ

- แบบไซริลเลชัน ( Silylation)
- แบบเอซิลเลชัน (Acylation)
- แบบเอสเทอริฟิเคชัน(Esterification)
- แบบอัลคิลเลชัน (Alkylation)

ซึ่งในการเกิดอนุพันธ์ทุกตัวเป็นปฏิกิริยาแทนที่ อะตอมไฮโดรเจนที่แอคทีฟของสารประกอบมีขั้ว เช่นหมู่ NH หมู่ OH หมู่ SH ด้วยขั้นตอนทางเคมี และในบางกรณีของการทำปฏิกิริยาต้องมีการใช้เครื่องมือ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้นั้นต้องมีผนังที่หนา (tapered) ภาชนะบรรจุ เช่นขวด หรือหลอดบรรจุสารต้องเป็นฝาเคลือบเทพลอนด้านในและปิดสนิท ส่วนของหลุมที่ให้ความร้อนควรเป็นอะลูมิเนียม และมีอุปกรณ์สำหรับใช้ในการพ่นก๊าซ (blowing) ลงไปในตัวอย่าง

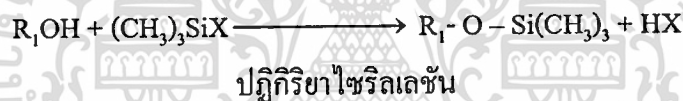
ในหลายๆ กรณีปฏิกิริยามักเกิดขึ้นทันที เมื่อมีการผสมสารที่ทำอนุพันธ์กับตัวอย่างในตัวทำละลาย เช่น ปฏิกิริยาอัลคิลเลชัน แต่ในหลายปฏิกิริยาก็เกิดช้า จำเป็นต้องใช้ความร้อนเข้าช่วย ดังนั้น ในการทำอนุพันธ์แต่ละชนิดจึงใช้เวลาต่างกัน ฉะนั้น จึงต้องดูด้วยว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ เพื่อให้การวิเคราะห์ไม่มีพิศของอนุพันธ์ในการวัด ส่วนสารที่นำมาทำอนุพันธ์มักมีรีแอคทีฟ (reactive) สูง เมื่อสัมผัสกับอากาศและความชื้น ดังนั้น จึงควรเก็บโดยป้องกันให้มีอากาศหรือความชื้นให้น้อยที่สุด เนื่องจากในการทำอนุพันธ์จะใช้สารที่ทำอนุพันธ์เป็นปริมาณน้อยระดับไมโครลิตร ดังนั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาตรจึงต้องมีความแม่นยำและถูกต้อง (เมื่อมีการทำซ้ำ) และควรหลีกเลี่ยงการใช้ปิเปตแบบพลาสติก ส่วนการทำความสะอาดอุปกรณ์ให้ใช้สารทำความสะอาดที่แรง เช่น Decon<sup>®</sup> ตามด้วยน้ำ และเมทานอล

อนุพันธ์ที่ได้มักมีค่าความร้อนเสถียร (thermal stability) แทบทั้งสิ้น แม้ว่าอนุพันธ์บางชนิด เช่น ไตรเมทิลไซริล (trimethylsilyl, TMS) อาจเกิดการเสื่อมสลายบนวัสดุที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม เช่น ที่ช่องฉีดสารที่อุณหภูมิสูงกว่า 210 องศาเซลเซียส ก็ตาม ความเสถียรของการเกิดไฮโดรไลติก (hydrolytic) นั้นแตกต่างกัน คือ ถ้าเป็นอนุพันธ์กรดจะมีความเสถียรมากที่สุด แต่ถ้าเป็นอนุพันธ์เอมีนจะมีความเสถียรน้อยที่สุด สำหรับตัวทำละลายในการทำปฏิกิริยามักใช้

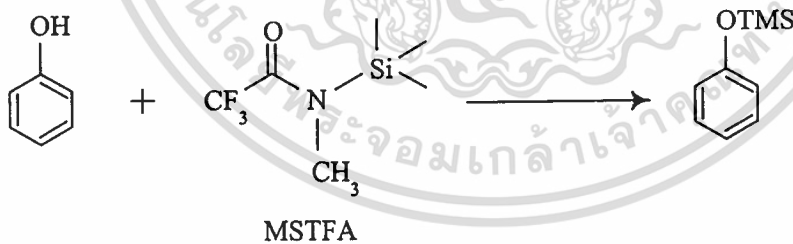
เอทิลไพริดีนเป็นตัวทำละลายเนื่องจากมีความเหมาะสม และสามารถใช้เป็นตัวล้างกรดและคะตะลิสต์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสได้ นอกจากนี้ยังมี DMF โทลูอิน เมธานอล โดยตัวทำละลายเหล่านี้ต้องมีความบริสุทธิ์สูง และเก็บภายใต้ไนโตรเจน ส่วนตัวทำละลาย เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ ไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากมีอะตอมของไฮโดรเจนที่แอคทีฟ ส่วนตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน จะไม่นิยมใช้เนื่องจากมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาช้า

**2.4.1.1 ไซริลเลชัน** เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการแยกหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีปัญหาในการแยกด้วยวิธีทาง GC อาทิ หมู่ไฮดรอกซิล กรดคาร์บอกซิลิก เอมีน ไธออล ฟอสเฟต โดยใช้หมู่ อัลคิลไซริล (alkylsilyl) เช่น  $-\text{SiMe}_3$  มาแทนที่ไฮโดรเจนที่แสดงความเป็นกรด อนุพันธ์ที่ได้นี้มักมีความเป็นขั้วต่ำ ระเหยง่าย และมีค่าความร้อนเสถียรสารก่ออนุพันธ์ที่ใช้กัน คือ TMS ปฏิกิริยา silylation นี้มักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภายใน 5 นาที) โดยมีไพรีดีนเป็นตัวทำละลาย คอลัมน์ GC ที่นำมาใช้ต้องทำการคอนดิชัน (condition) ด้วยเฮกซะเมทิลไดซิลลาซีน (hexamethyldisilazane, HMDS) ก่อนนำมาใช้ (packed column) และควรหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาอนุพันธ์ไซริลที่อาจเกิดขึ้นได้ การทำไซริลเลชันมีความหลากหลายมาก เช่น การแทนที่อะเซตาไมด์ด้วย BSTFA BSA MSTFA



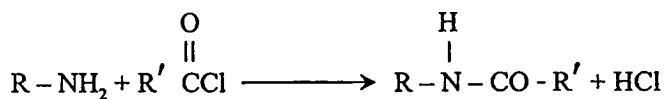
ตัวอย่างของการเกิดปฏิกิริยา



ไตรเมทิลไซริลเลชัน (trimethylsilylation) ของฟีนอล

**2.4.1.2 เอซิลเลชัน** เป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่น่าิยมใช้เนื่องจากสามารถใช้ลดความเป็นขั้วของกรดอะมิโน ไฮดรอกซิล และไธออล อันเป็นการเพิ่มคุณสมบัติทางโครมาโตกราฟี และยังเป็นการช่วยให้สารประกอบมีความเสถียร เนื่องจากไปป้องกันหมู่ฟังก์ชันนัลที่ไม่เสถียร นอกจากนี้ยังเพิ่มการระเหยของสารประกอบ เช่น คาร์โบไฮเดรต หรือกลุ่มอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นขั้วมากๆ ที่สามารถละลายได้ด้วยความร้อนขณะการวิเคราะห์ด้วย GC สารก่อ

อนุพันธ์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยานี้คืออะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ชนิดของปฏิกิริยาเอซิลเลชัน



ปฏิกิริยาเอซิลเลชันสามารถเปลี่ยนมาจากไซริลเลชันได้ ในกรณีที่อนุพันธ์เอซิลเลตเตด (acylated) มีความเสถียรมากกว่าไซริลเลตเตด (silylated) วิธีนี้จึงถูกนำมาใช้ในการฟอร์มเพอร์ฟลูออโรเอซิล (perfluoroacyl) (trifluoroacetyl จาก trifluoroacetic anhydride) อนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ ฟีนอล หรือเอมีน เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจวัด เมื่อวัดด้วย ECD ให้เท่ากับการเพิ่มขึ้นของการระเหยหรือโมโนแซคคาไรด์

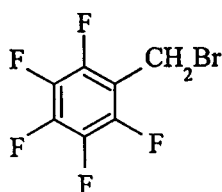


ตัวอย่าง เช่น เอ็น-ฟลูออโรเอซิล-อิมิดาโซล (N-Fluoroacyl-imidazole) จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับหมู่ไฮดรอกซิล และทำปฏิกิริยากับเอมีนที่เป็นเซเคอนดารี (secondary) และเทอเชอริ (tertiary) เพื่อเกิดอนุพันธ์เอซิล ในปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดกรดที่จะไปไฮโดรไลซ์ผลิตภัณฑ์ได้ แต่จะได้อิมิดาโซล (imidazole) เป็นผลพลอยได้ที่เฉื่อย ดังแสดง



2.4.1.3 อัลคิลเลชัน ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแทนที่ไฮโดรเจนใน R-COOH, R-OH, R-SH และ R=NH<sub>2</sub> ด้วยหมู่อัลคิล หรือบางทีก็เป็นกลุ่มเฮริล ทำให้สารประกอบมีคุณสมบัติทางโครมาโตกราฟฟิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเป็นขั้วของอนุพันธ์เมื่อเทียบกับสารประกอบเดิมลดลง สำหรับในปฏิกิริยานี้มักนำไปใช้กับคาร์โบไฮเดรต สารก่อนอนุพันธ์ที่นำมาใช้ ได้แก่ เพนตะฟลูออโรเบนซิลโบมายด์ (pentafluorobenzyl bromide) , เอ็น-เอ็น'-ไดเมทิลฟอร์มามายด์ไดเมทิลอะซีตัล (N,N'-dimethylformamide dimethyl acetal) , ไดอะโซมีเทน (diazomethane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### เพนตะฟลูออโรเบนซิลโบมายด์



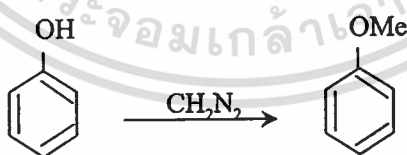
เอ็น-เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มามายด์ไดเมทิลอะซิทิล



ไดอะโซมีเทน

อัลคิลเฮไลด์ (alkyl halides) ที่อยู่ในรูปเงินออกไซด์จะเปลี่ยนนอนอินเดคาร์บอกซิลิกแอซิด (non-hindered carboxylic acid) มาเป็นอัลคิลเอสเทอร์ (alkyl ester) ในเวลารวดเร็ว ส่วนฟีนอลิกหรือกลุ่มไฮดรอกซิลจะเปลี่ยนเป็นอัลคิลเอเตอ (alkylated) ได้รวดเร็วเช่นกัน อัลคิลเฮไลด์ที่ใช้กันมาก คือ อะลิฟาติกโบไมด์ ไอโอไดด์ เบนซิล และซบสติวเตคเบนซิลโบมายด์ (substituted benzyl bromides) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ไดอะโซอัลเคนอัลคิลเลชันรีเอเจนต์ (dialzoalkane alkylation reagent) รวมทั้ง ไดอะโซมีเทน (diazomethane), ไดอะโซอีเทน (diazooethane) ไดอะโซอีเทน (diazooethane) ไดอะโซบิวเทน (diazobutane) และฟีนิวไดอะโซมีเทน (phenyldiazomethane) ตัวที่นิยมใช้กันมากคือ ไดอะโซมีเทน โดยใช้กันในปริมาณน้อยเนื่องจากเป็นสารมีพิษ

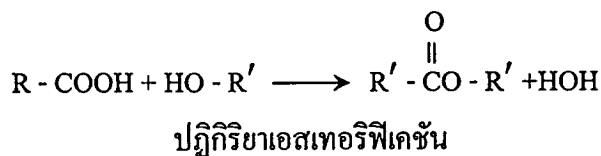


#### 2.4.1.4 เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกริยานี้เป็นตัวเลือกแรกในการทำอนุพันธ์กับกรด

กรดเป็นสารประกอบที่เกิดปฏิกริยาได้ง่าย และมีความเป็นขั้วสูงจึงไม่สามารถนำมาแยกด้วย GC ได้ดี กรดที่ไม่ทำอนุพันธ์จะมีแนวโน้มน้ำที่จะให้พีคที่มีหาง (tail) เนื่องจากเกิดการดูดกลืน และไม่เกิดอินเทอร์แอคชัน (interaction) เฉพาะกับคอลัมน์ในการแยก เอสเทอร์ฟิเคชันจึงถูกนำมาใช้ในการทำอนุพันธ์กับกรดคาร์บอกซิลิกและหมู่ฟังก์ชันนัลของกรด ชนิดของปฏิกริยาเป็นการรวมตัว (condensation) ของหมู่คาร์บอกซิลิกของกรด และหมู่ไฮดรอกซิลของแอลกอฮอล์ด้วยการกำจัดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออก ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันหลายๆ ปฏิกิริยามักเกิดช้าและต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น เมื่อปฏิกิริยาถึงจุดสมดุลจึงต้องขจัดน้ำออกระหว่างการเกิดปฏิกิริยา



### 2.4.2 สารก่ออนุพันธ์

ในการทำอนุพันธ์นั้นต้องทราบก่อนว่าตัวอย่างที่จะนำมาทำนั้นสามารถทำปฏิกิริยาอนุพันธ์ใดได้บ้าง ในที่นี้จึงขอสรุปเฉพาะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ชนิดกับหมู่ฟังก์ชันนัลเท่านั้นดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปฏิกิริยาการทำอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นกับหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆ

หมู่ฟังก์ชันนัล	ปฏิกิริยาอนุพันธ์
หมู่ไฮดรอกซิล เช่น 1° 2° 3° ของแอลกอฮอล์ ฟีนอล	ไซริลเลชัน เอซิลเลชัน
คาร์โบไฮเดรต	อัลคิลเลชัน
หมู่คาร์บอกซิล (-COOH)	เอสเทอร์ฟิเคชัน ไซริลเลชัน
หมู่คาร์บอนิล (-C=O) ในอัลดีไฮด์ คีโตน	ไซริลเลชัน
หมู่เอมิโน (-NH <sub>2</sub> ) ใน 1° เอมีน กรดอะมิโน น้ำตาลอะมิโน	อัลคิลเลชัน
หมู่เอมิโน (-NH-R) ใน 2° เอมีน กรด imino ที่มาแทนที่ น้ำตาลอะมิโน	เอซิลเลชัน ไซริลเลชัน
หมู่ -NH <sub>2</sub> และ -COOH ในกรดอะมิโน	ไซริลเลชัน เอสเทอร์ฟิเคชัน กับ เอซิลเลชัน
สารประกอบไนโตร (-NO <sub>2</sub> )	ไม่ต้องทำอนุพันธ์

ที่มา : กองบรรณาธิการ LAB.TODAY (2544)

### 2.4.3 ความถูกต้องของปริมาณวิเคราะห์ในขั้นตอนการทำอนุพันธ์

ข้อสำคัญของการทำปฏิกิริยาอนุพันธ์กับตัวอย่าง คือ ในการเกิดปฏิกิริยาต้องมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และจำเป็นต้องใช้วิธีอินเทอนอนสแตนดาร์ด (internal standard) ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาค่าเชิงปริมาณ การใช้อินเทอนอนสเตนคาร์ด นี้เป็นการคอมเพนเซต (compensate) ตัวคะตะไลต์ที่สูญเสียไประหว่างการทำอนุพันธ์ ซึ่งโดยปกติมักเลือกตัวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน เช่น คอร์ติโคสเตอรอยด์ (corticosteroids) แคลทีคลอลามีน และสารอื่นๆ ที่มีแนวโน้มในการกำจัดความร้อนของน้ำ หรือออกซิเดชันเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งอนุพันธ์เคมีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีอย่างง่ายที่ให้ผลทางปริมาณวิเคราะห์ที่ดีวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามในการที่จะเลือกวิธีที่ต้องใช้สารก่อนอนุพันธ์นี้ควรทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ผลของปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งต้องหาสารที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสารตัวอย่างที่สนใจมาเป็น อินเทอนอนสเตนคาร์ดเพื่อให้ค่าที่ได้มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ ส่วนสารก่อนอนุพันธ์ที่นำมาใช้กันนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของการเกิดด้วย ดังแสดงตามตารางที่ 2.7

## 2.5 ไขมันดัดแปลงโครงสร้าง (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2544)

ในปัจจุบันมนุษย์มีความตระหนักถึงปัญหาสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาที่มาจาก การบริโภคไขมันและน้ำมัน ตัวอย่างเช่น ผลเสียที่เกิดจากการบริโภคไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) ซึ่งเป็นที่น่าเสียดายว่า ผลผลิตไขมันจากพืชหรือสัตว์ตามธรรมชาติส่วนใหญ่ยังไม่จัดเป็นไขมันในอุดมคติสำหรับการใช้ประโยชน์ทั้งในแง่สมบัติทางโภชนาการ (nutritional property) และสมบัติทางหน้าที่ (functional property) การดัดแปลงโครงสร้างของไขมันจึงเป็นแนวทางใหม่ที่จะทำได้มาซึ่งไขมันที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์โดยตรง

### 2.5.1 ความหมายและรูปแบบของไขมันดัดแปลงโครงสร้าง

ไขมันดัดแปลงโครงสร้างหรือที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า “structured lipid” หมายถึง น้ำมันหรือไขมันที่ชนิด และตำแหน่งของกรดไขมันถูกกำหนดไว้อย่างจำเพาะเจาะจงบนโมเลกุลของกลีเซอรอล ตัวอย่างเช่น medium chain triacylglycerol ซึ่งได้แก่ ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acid) อยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-1 และ *sn*-3 และกรดไขมันสายยาวไม่อิ่มตัว (long chain unsaturated fatty acid) อยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 บนโมเลกุลของกลีเซอรอล

รูปแบบหรือประเภทของไขมันดัดแปลงโครงสร้างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งแนวทางการใช้ประโยชน์ของไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่มีการวิจัยศึกษากันอย่างกว้างขวางสามารถจำแนกได้เป็น 3 แนวทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงสารก่ออนุพันธ์ตามประเภทของปฏิกิริยา

Silylation	Acylation	Alkylation	Esterification
- BSA	- TFAA (Trifluoroacetic anhydride)	- Alkyl halide (เช่น pentafuorobenzyl bromide,	- BF <sub>3</sub>
- BSTFA			- BCl <sub>3</sub>
- CMDMCS	- TFAI	PFBBBr,3,5-ditri fluoro-	
- DMCS	- PFPA (Pentafluoro-propionic anhydride)	Methylbenzylbromide)	
- Ethyldimethylsilyl chloride	- HFAI	- Diazoalkane เช่น diazomethane N,N-Dimethyl-	
- HMDS (Hexamethyldisilazane)	- HFBA (Heptafluorobutyryl anhydride)	formamide dialkyl acetal	
- isopropyldimethylsilyl chloride	- MBTFA	- 3-alkyl-1-p-tolytriazene	
- N,O-(bis)silylacetamide	- Pentafluorobenzoyl chloride	- Fluorosulfonate	
- MSHFBA		- Trimethylanilinium hydroxide (TMAH)	
- MSTFA (N-Trimethylsilyl-N-methyltrifluoroacetamide)		- Trialkyloxonium fluoroborate	
- MTBSTFA (N-Tertiarybutyl-N-methyltrifluoroacetamide)		- Alkyl trichloroacetimide	
- TBDMCS (Tertiarybutyldimethylchlorosilane)			
- TBDMSCI (Tertiarybutyldimethylsilyl chloride)			
- TBDMSIM (N-Tertiarybutyldimethylsilylimidazole)			
- TMBS (Trimethylbromosilane)			
- TMCS (Trimethylchlorosilane)			

ที่มา : กองบรรณาธิการ LAB.TODAY (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.1.1 ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่ให้ลักษณะเฉพาะของสมบัติทางหน้าที่**  
ไขมันดัดแปลงโครงสร้างประเภทนี้ จะมุ่งเน้นไปที่สมบัติทางเคมีกายภาพของไขมันที่มีผลโดยตรงต่อลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น ไขมันเนยโกโก้เทียม (coco butter equivalent) ซึ่งไขมันเนยโกโก้ที่ได้จากผลโกโก้ตามธรรมชาติจะประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดโอเลอิก (oleic acid) อยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 เป็นหลัก ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่สำคัญ ได้แก่ POP (16 เพอร์เซ็นต์) POS (35-41 เพอร์เซ็นต์) และ SOS (27 เพอร์เซ็นต์) โดยที่ P หมายถึงกรดปาล์มิติก O หมายถึง และ S หมายถึงกรดสเตียริก ชนิด และตำแหน่งของกรดไขมันดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะที่ทำให้ไขมันเนยโกโก้มีสมบัติทางเคมีกายภาพที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต

**2.5.1.2 ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่ให้ลักษณะเฉพาะของสมบัติทางโภชนาการ**  
ไขมันดัดแปลงโครงสร้างประเภทนี้ ได้แก่ ไขมันดัดแปลงโครงสร้างเลียนแบบคล้ายไขมันนมแม่ กรดไขมันอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันนมแม่ คือ กรดปาล์มิติก (C16:0) และ 60 เพอร์เซ็นต์ ของกรดปาล์มิติกดังกล่าวจะอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 โดยทั่วไปเอนไซม์ไลเปสในระบบทางเดินอาหารมีความจำเพาะในการย่อยสลายไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ตำแหน่ง *sn*-1 และ *sn*-3 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ และ 2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล (2-monoacylglycerol, 2-MAG) ซึ่งจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก กรดไขมันแต่ละชนิดจะถูกดูดซึมด้วยอัตราความยากง่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุล กรดไขมันอิ่มตัวสายยาว (C 12:0 ถึง C 18:0) จะถูกดูดซึมได้ยากกว่ากรดไขมันสายกลาง (C 6:0 ถึง C 10:0) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวสายยาวจะจับกับแคลเซียมเกิดเป็นสารประกอบสบู่ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ 2-MAG จะถูกดูดซึมได้ดีไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันชนิดใดก็ตาม ดังนั้นการที่ไขมันนมแม่ประกอบด้วยกรดปาล์มิติกจับอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 เป็นส่วนใหญ่จึงเป็นข้อได้เปรียบ

**2.5.1.3 ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่มุ่งใช้ประโยชน์ในเชิงการแพทย์ และเภสัชกรรม**  
โดยปกติกรดไขมันสายกลางจะถูกดูดซึมในลำไส้เล็กได้ง่าย และถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานกับร่างกายในอัตราเร็วเทียบเท่ากับน้ำตาลกลูโคส แต่ให้พลังงานมากกว่า 2 เท่า ในทางตรงกันข้าม กรดไขมันอิ่มตัวสายยาวนอกจากจะถูกดูดซึมได้ยากกว่าแล้ว ยังมีแนวโน้มที่จะสะสมในเนื้อเยื่อไขมันตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย และมีผลต่อการเพิ่มระดับโคเลสเตอรอลในเลือดอีกด้วย ดังนั้นไขมันที่มีองค์ประกอบหลักของกรดไขมันสายกลางจึงเหมาะที่จะใช้สำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับการดูดซึมไขมัน (fat malabsorption) หรือมีปัญหากับเมตาบอลิซึมของกรดไขมัน (fat metabolism difficulties) แต่การบริโภคไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันสายกลางล้วนๆ เป็นเวลานานก็มีผลเสีย เนื่องจากจะทำให้ร่างกายขาดกรดไขมันจำเป็น และมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิด

เอ็กสโตสิส (acidosis) การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการใช้ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยกรดไขมันสายกลางจับอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-1 และ *sn*-3 และกรดไขมันจำเป็นหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวอื่นๆ จับอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 เหตุผลที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวควรจะอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-2 เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสในระบบทางเดินอาหารจะมีแอกติวิตีต์ต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวที่จับอยู่ที่ตำแหน่ง *sn*-1 และ *sn*-3 แต่กรดไขมันดังกล่าวจะถูกดูดซึมได้ง่ายในรูปของ 2-MAG

## 2.5.2 เทคโนโลยีการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้าง

วิธีการให้ได้มาซึ่งไขมันดัดแปลงโครงสร้างประเภทต่างๆ สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แนวทาง คือ

2.5.2.1 **วิธีทางพันธุวิศวกรรม** การปรับปรุงพันธุ์พืชน้ำมัน โดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม เพื่อให้ได้ไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันตามที่ต้องการเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้าง ถึงแม้ว่าวิธีนี้ยังไม่มีการพัฒนาจนถึงระดับที่จะนำมาใช้ได้ ในเชิงธุรกิจแต่ก็ถือได้ว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพสูง และได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างกว้างขวาง

2.5.2.2 **วิธีทางกายภาพ** วิธีทางกายภาพหลายวิธี เช่น การผสม (blending) การเติมหมู่ไฮโดรเจน (hydrogenation) และการแยกส่วน (fractionation) ก็สามารถใช้ในการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้างบางประเภทได้ อย่างไรก็ตามวิธีทางกายภาพนี้เป็นเพียงวิธีที่ทำให้ไขมันมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ต้องการในปริมาณสูงขึ้นเท่านั้น ไม่สามารถที่จะกำหนดตำแหน่งของกรดไขมันดังกล่าวบนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลได้

2.5.2.3 **วิธีทางเคมี** การผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้างโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีจัดเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูง แต่การเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเป็นปฏิกิริยาแบบสุ่ม กล่าวคือ หมู่เอซิล (acyl group) ของกรดไขมันไม่ว่าชนิดใดก็ตามจะปรากฏบนตำแหน่ง (*sn*-1, *sn*-2 และ *sn*-3) ได้ด้วยโอกาสเท่าๆ กัน วิธีทางเคมีวิธีเดียวจึงไม่สามารถที่จะกำหนดชนิดของกรดไขมันให้อยู่ในตำแหน่งเฉพาะเจาะจงรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งตามที่ต้องการได้

2.5.2.4 **วิธีทางเทคโนโลยีเอนไซม์** การผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้างโดยอาศัยปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ไลเปส (lipases, EC 3.1.1.3) เป็นตัวเร่ง ถือได้ว่าเป็นวิธีที่ประสบผลสำเร็จมากที่สุด สิ่งที่ทำให้ปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งมีข้อได้เปรียบกว่าปฏิกิริยาเคมี คือ เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่ไม่รุนแรง (อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่ำ และความดันปกติ) การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง และที่สำคัญกว่านั้นก็คือ เอนไซม์ไลเปสมีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อสารตั้งต้น และลักษณะของปฏิกิริยารวมทั้งชนิดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้สามารถกำหนด หรือออกแบบลักษณะของปฏิกิริยาเพื่อให้ได้รูปแบบของไขมันดัดแปลง โครงสร้างตามที่ต้องการได้

## 2.6 ความสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid, MUFA)

เมื่อกล่าวถึง *cis*-MUFA จะหมายถึง กรดโอเลอิกเพียงชนิดเดียวเท่านั้น กรดโอเลอิก เป็นกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์มีสูตรโมเลกุลเท่ากับ  $C_{17}H_{33}COOH$  โดยทั่วไป ผู้บริโภคจะให้ความสำคัญกับการบริโภคไขมันประเภท MUFA น้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid, PUFA) เนื่องจากมีรายงานพบว่า PUFA สามารถช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลได้ แต่ต่อมาได้มีการทดลองพบว่า MUFA ก็สามารถที่จะช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลได้เช่นกัน นอกจากนี้ MUFA ยังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยกว่าจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิตามินอี หรือสารป้องกันการหืนมากเหมือน PUFA ดังนั้น การบริโภคอาหารที่มี MUFA เป็นองค์ประกอบก็สามารถลดปริมาณโคเลสเตอรอล ป้องกันการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้เช่นเดียวกัน (Gurr, 1999)

จากรายงานการทดลองเกี่ยวกับน้ำมันเมล็ดมะละกอซึ่งพบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอมีกรดโอเลอิกซึ่งเป็น *cis*-MUFA เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง น้ำมันเมล็ดมะละกอจึงมีศักยภาพในการใช้เป็นน้ำมันบริโภคที่มีคุณภาพ และเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังอาจใช้น้ำมันเมล็ดมะละกอเป็นแหล่งของวัตถุดิบที่มีกรดโอเลอิกสูง สำหรับการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่เหมาะสม ซึ่งถือได้ว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเมล็ดมะละกอต่อไป

## 2.7 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส (Lipases) (ปราณี อานปรื่อง, 2543)

ไลเปสเป็นเอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลสซึ่งเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในไขมัน น้ำมัน ในภาวะที่มีน้ำมีชื่อสามัญว่า “ไลเปส” และมีชื่อตามระบบว่า กลีเซอรอลเอสเทอร์-ไฮโดรเลส (glycerol ester hydrolase) และมีชื่อตามรหัสคือ E.C.3.1.1.3 โดยทั่วไปไลเปสพบในคนและสัตว์ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการย่อยอาหาร สำหรับปัจจุบันมีการสกัดไลเปสจากจุลินทรีย์และผลิตจำหน่ายโดยพบลักษณะปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ทำปฏิกิริยาแบบไม่จำเพาะตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ (non-specific lipase) และทำปฏิกิริยาแบบจำเพาะที่พันธะเอสเทอร์ตำแหน่ง 1,3 (1,3-specific lipase) ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

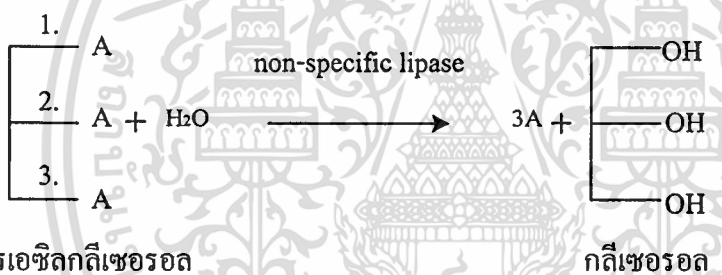


ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ในไตรเอซิลกลีเซอรอล คือ 1,2,3 A= กรดไขมัน

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสมี 4 ปฏิกิริยาดังนี้

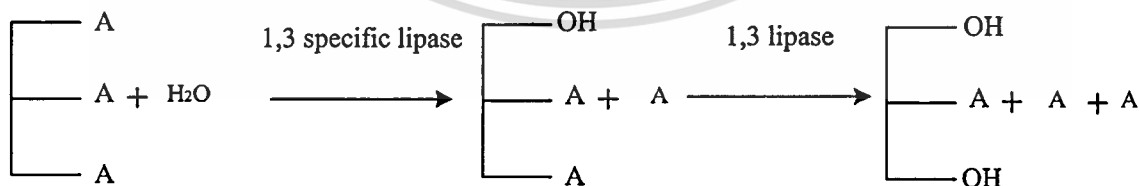
2.7.1 ปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ด้วยน้ำทั้งแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ ตำแหน่งเอสเทอร์ (hydrolysis)

2.7.1.1 แบบไม่จำเพาะพันธะเอสเทอร์



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการตัดพันธะเอสเทอร์ไม่จำเพาะ

2.7.1.2 แบบจำเพาะตำแหน่งเอสเทอร์ 1,3 ester bond



ไตรเอซิลกลีเซอรอล

2,3 ไดเอซิลกลีเซอรอล  
(ตัดที่ตำแหน่งที่ 1)

2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล  
(ตัดที่ตำแหน่งที่ 1,3)

ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาการตัดพันธะเอสเทอร์แบบจำเพาะตำแหน่งของพันธะเอสเทอร์ A= กรดไขมัน

ปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมันเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (A) จะก่อให้เกิดการออกซิเดชันเกิดการสูญเสียกรดไขมันต่อไปได้ ยกเว้นจะทำให้ระบบต่อเนื่องของปฏิกิริยาข้อต่อไปก็จะมีประโยชน์ขึ้น

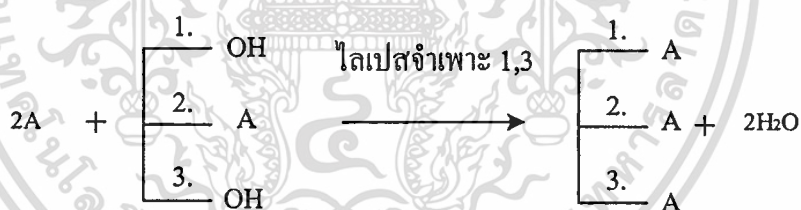
## 2.7.2 ปฏิกิริยาสร้างพันธะเอสเทอร์กลับคืนมาเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอล

### (Esterification)

ปฏิกิริยานี้ก็คือปฏิกิริยาทวนกลับของปฏิกิริยาข้อ 2.7.1 นั่นเอง ซึ่งเป็นได้ทั้งแบบไม่จำเพาะและแบบจำเพาะ ดังปฏิกิริยาภาพที่ 2.4 (a,b) เรียกปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากข้อ 2.7.1 ได้ ถ้ามีการควบคุมอุณหภูมิให้สูง ความดันสูง



ภาพที่ 2.4 (a) ปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ด้วยไลเปสไม่จำเพาะ A=กรดไขมัน



กรดไขมันอิสระ 2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล ไตรเอซิลกลีเซอรอล

ภาพที่ 2.4 (b) ปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ด้วยไลเปสแบบจำเพาะ 1,3 A=กรดไขมัน

## 2.7.3 ปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ข้ามชนิดของกรดไขมัน (Acidolysis,

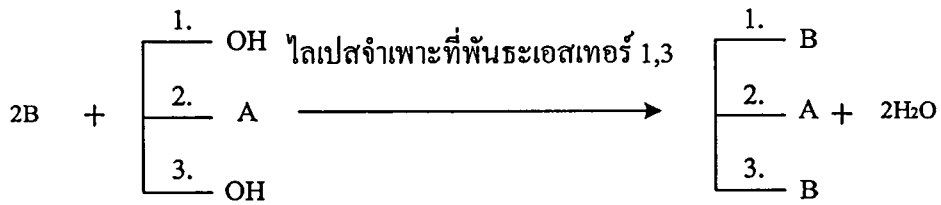
### Tranesterification)

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาซึ่งเกิดโดยบทบาทของไลเปสเช่นกันในลักษณะสังเคราะห์เอสเทอร์จากกรดไขมันต่างชนิดในระบบปฏิกิริยา ดังปฏิกิริยาภาพที่ 2.5

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอสเทอร์ขึ้นอีกครั้งด้วยเอนไซม์เดิม นับเป็นปรากฏการณ์ที่ขยายผลสู่อุตสาหกรรมได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารไขมันจากแหล่งไตรเอซิลกลีเซอรอลราคาถูก ให้เป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลตัวใหม่ที่มีลักษณะเคมีกายภาพเปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนชนิด

ของกรดไขมันจาก A เป็น B เป็น C ต่อไป ตามภาพที่ 2.5 ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาคั่ว เรียกว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (tranesterification) หรือแอซิดไลสิส (acidolysis)



2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล

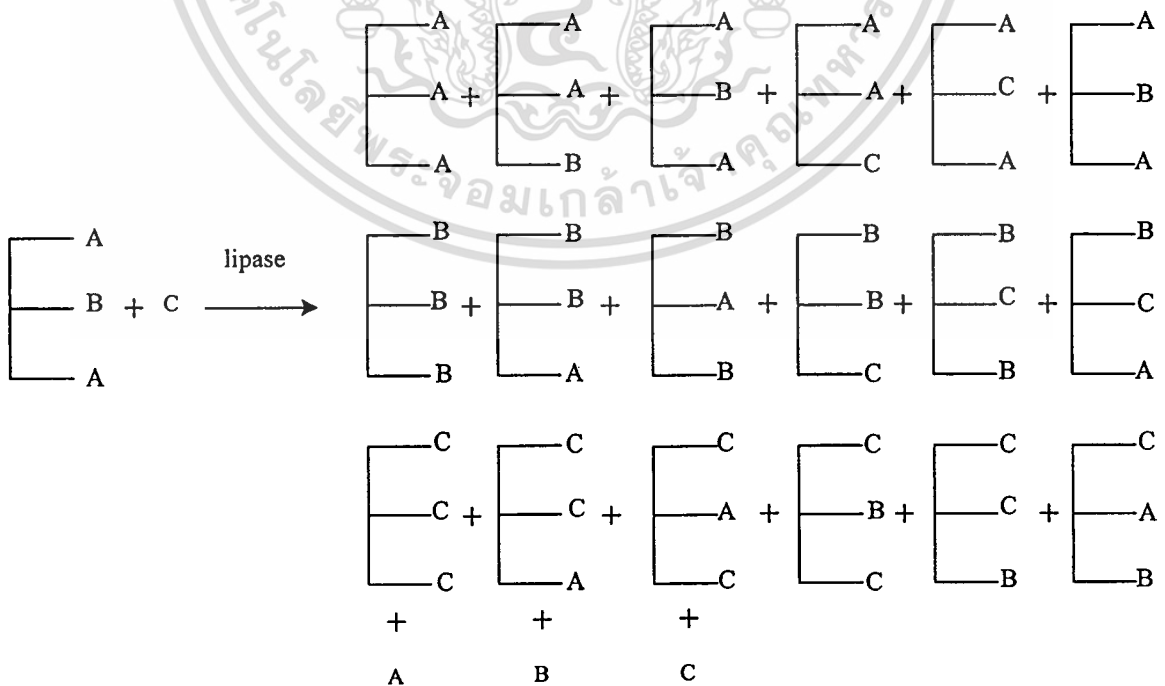
ไตรเอซิลกลีเซอรอล

ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอสเทอร์ด้วยไลเปสจากกรดไขมันต่างชนิด A, B = กรดไขมัน

2.7.4 ปฏิกิริยาสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลจากการแลกเปลี่ยนกรดไขมัน (Inter-esterification)

ปฏิกิริยาสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลจากการแลกเปลี่ยนกรดไขมัน (Inter-esterification) ระหว่างไตรเอซิลกลีเซอรอลกับไตรเอซิลกลีเซอรอล หรือ ระหว่างไดเอซิลกลีเซอรอล เป็น 3 ปฏิกิริยา คือ

2.7.4.1 ปฏิกิริยาไม่จำเพาะพันธะเอสเทอร์

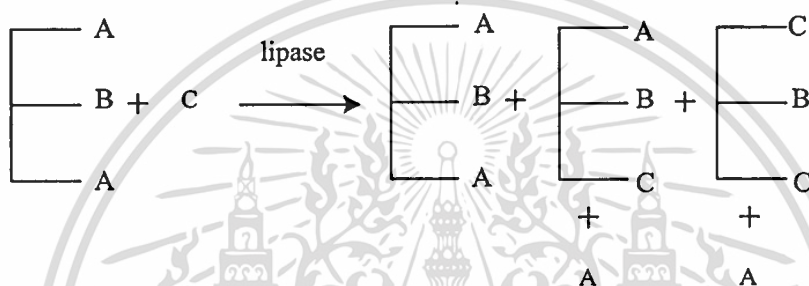


ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลแบบสุ่ม A,B,C = กรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปฏิกิริยาตามภาพที่ 2.6 นี้จะได้ไตรเอซิลกลีเซอรอลมากมายหลายแบบ มีไตรเอซิลกลีเซอรอลรูป A,B 6 รูป รูป A,C 6 รูป รูป B,C 6 รูป รวมทั้งหมด 18 รูป เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ ปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ข้ามชนิดของกรดไขมันรวมไปด้วยกัน ดังนั้นสำหรับในอุตสาหกรรมจะต้องพิจารณาคุณลักษณะของไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดผสมผสานนี้โดยละเอียด เช่น ค่าการหลอมเหลว ค่าความเป็นของแข็ง (solidifying) ค่าการกระจายในผิวอาหาร (spreadability)

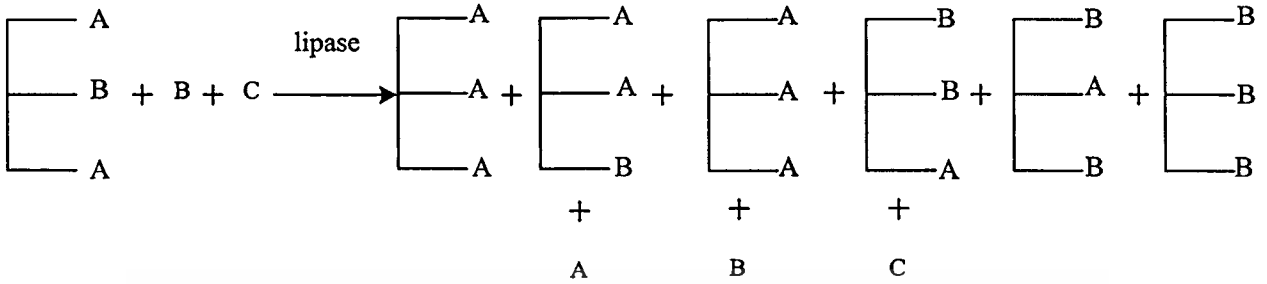
#### 2.7.4.2 ปฏิกิริยาจำเพาะพันธะเอสเทอร์ที่ 1,3



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลแบบจำเพาะตำแหน่ง 1,3 และ A,B,C =กรดไขมัน

ในปฏิกิริยาตามภาพที่ 2.7 นี้จะไตรเอซิลกลีเซอรอลเพียง 3 แบบ เนื่องจากมีความจำเพาะต่อพันธะเอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 1 และ 3 ในไตรเอซิลกลีเซอรอลได้เท่านั้น รวมทั้งกรดไขมันในไตรเอซิลกลีเซอรอลเดิมเป็นชนิด A ทั้งตำแหน่งที่ 1 และ 3 ปฏิกิริยานี้จึงจัดว่าเป็นปฏิกิริยาที่สร้าง ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่คาดคะเนได้ถึงลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น จุดหลอมเหลว ความเป็นของแข็ง ค่าการกระจายผิวหน้า เป็นต้น

### 2.7.4.3 ปฏิกริยาไลเปสที่มีความจำเพาะชนิดกรดไขมัน A และ B แต่ไม่จำเพาะตำแหน่ง



ภาพที่ 2.8 ปฏิกริยาสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลแบบจำเพาะชนิดกรดไขมัน A,B เมื่อ A,B,C = กรดไขมัน

กรณีปฏิกริยาดังภาพที่ 2.8 นี้คล้ายปฏิกริยาข้อ 2.7.1.1 จะได้ไตรเอซิลกลีเซอรอลมากถึง 6 รูป แต่จะมีเฉพาะรูปที่มีกรดไขมัน A และ B หรืออีกนัยหนึ่งคือสร้างเฉพาะรูปที่มีกรดไขมัน A,B เท่านั้น ส่วนกรดไขมันอิสระที่ถูกปล่อยออกมา คือ A,B,C ดังนั้นผลผลิตจะมีลักษณะสมบัติทางเคมีกายภาพที่จะต้องมีการศึกษาต่อไป

# บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 วัตถุประสงค์

3.1.1 เมล็ดมะละกอ ใช้เมล็ดมะละกอสุกพันธุ์แขกดำ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานอาหารสยามจำกัด (มหาชน) จังหวัดชลบุรี

#### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ

- เฮกเซน
- บีโตรีเลียมอีเทอร์
- ก๊าซไนโตรเจน
- ซิลิกาเจล
- อะซีโตน
- เอทานอล
- 2,7-ไดคลอโรฟลูออเรสซีน (2,7-dichlorofluorescein)

3.1.2.2 สารเคมีที่ใช้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

3.1.2.2.1 สารเคมีที่ใช้ทำให้ไขมันบริสุทธิ์บางส่วน

- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- ดินฟอกสี (bleaching Clay)
- แอคติเวทเตดคาร์บอน (activated Carbon)
- ซีไรท์ 545 (Celite 545)
- ซิลิกา

3.1.2.2.2 สารเคมีที่ใช้ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ก. การวิเคราะห์หาค่า Saponification

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **เอทานอล** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthale)

ข. การวิเคราะห์หา Unsaponifiable matter

- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

- ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether)

- นิวทรัลแอลกอฮอล์ (neutral alcohol)

ค. การวิเคราะห์ Acid Value

- ไดเอทิลอีเทอร์

- เอทานอล

- ฟีนอล์ฟทาลีน

- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ง. การวิเคราะห์ Peroxide Value

- กรดอะซิติก (acetic Acid)

- คลอโรฟอร์ม (chloroform)

- โปแตสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)

- โซเดียมโซโอซัลเฟต (sodium thiosulfate)

3.1.2.2.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันเมล็ด

มะละกอ

- เฮกเซน

- โบรอนไตรฟลูออไรด์ (borontrifluoride)

- เมทานอล (methanol)

- กรดไขมันมาตรฐาน C16 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C16:1 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C18:0 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C18:1 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C18:2 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C20:0 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C20:1 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- กรดไขมันมาตรฐาน C22:0 ในรูปเมทิลเอสเทอร์

- ก๊าซไนโตรเจน

3.1.2.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

- แพนคลีเอติกไลเปส (pancreatic lipase typeII, crude; from porcine pancrese, Sigma. Co. Ltd. USA.)

- เฮกเซน
- ทริสไฮโดรคลอริกบัฟเฟอร์ (Tris-HCl buffer pH7.6)
- เกลือน้ำดี (bile salt)
- แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride)
- ไดเอทิลอีเทอร์
- โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate)
- ปีโตรเลียมอีเทอร์
- กรดอะซีติก
- 2,7-ไดคลอโรฟลูออเรสซีน
- โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide)
- เมททานอล
- โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)
- กรดไขมันมาตรฐาน C14 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- กรดไขมันมาตรฐาน C16 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- กรดไขมันมาตรฐาน C18:0 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- กรดไขมันมาตรฐาน C18:1 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- กรดไขมันมาตรฐาน C18:2 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- กรดไขมันมาตรฐาน C18:3 ในรูปเมทิลเอสเทอร์
- ก๊าซไนโตรเจน

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

### 3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

- ตู้อบลมร้อน
- ถาดอะลูมิเนียม

### 3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ

- เครื่องบดของแห้ง
- Soxhlet Apparatus Buchi 810 เยอรมัน
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์
- ตู้อบลมร้อน
- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- แผ่นแก้วขนาด 20x20 เซนติเมตร
- TLC chamber
- ตู้ดูดควัน
- หัวฉีด
- ตู้แสง UV
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ

### 3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

#### 3.2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- เซนติฟิวจ์
- เทอร์โมมิเตอร์
- นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์
- แมกเนติกสเตอร์เรอร์
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- ไฮโดรมิเตอร์

### 3.2.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว (pycnometer)
- รีเฟรคโตมิเตอร์ Leica, 02940 ญี่ปุ่น
- เครื่องวัดสี Lovibond Tintometer
- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์

### 3.2.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- เซนติฟิวจ์
- เทอร์โมมิเตอร์
- นาฬิกาจับเวลา
- vortex mixer
- เครื่อง GC Shimudzu GC-9A ญี่ปุ่น

### 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง sn-2 และ sn-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- pH meter
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์
- อ่างควบคุมความร้อน
- เซนติฟิวจ์
- Nylaflo membrane
- เครื่อง GC Shimudzu GC-9A ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 สถานที่ดำเนินงาน

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.4 วิธีการดำเนินงาน

#### 3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

เมล็ดมะละกอที่ใช้ในการทดลองเป็นเมล็ดมะละกอสุกพันธุ์แขกดำซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูป นำเมล็ดมะละกอมาล้างทำความสะอาดแยกส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มไสๆ ออกทิ้ง นำส่วนที่เป็นเมล็ดไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เก็บเมล็ดมะละกออบแห้งในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป ก่อนการสกัดน้ำมันจะนำเมล็ดมะละกอแห้งมาบดลดขนาดด้วยเครื่องบดของแห้ง

#### 3.4.2 ศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อปริมาณน้ำมัน และปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ

การทดลองใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์สกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่ผ่านการบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่อง Soxhlet จากนั้นเปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัดได้ดังนี้

- ปริมาณน้ำมันดิบ
- ปริมาณ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Nguyen and Tarandjiiska, 1995)

นำแผ่นแก้วขนาด 20x20 เซนติเมตร เคลือบซิลิกาหนา 0.5 มิลลิเมตร อบแห้งนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำน้ำมันที่สกัดได้ (350-400 มิลลิกรัม) ผสมกับเฮกเซนในอัตราส่วนน้ำมันต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:10 นำไปฉีดบนแผ่นแก้ว 3 แผ่น ใส่ในภาชนะที่มี mobile phase ของปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซีโตนในอัตราส่วน 100:10 โดยปริมาตร 160-170 มิลลิลิตร ปล่อยให้สารเคลื่อนที่ แล้วจึงนำไปประเหย mobile phase ออก แผ่นแก้วด้วย 2,7-dichlorofluorescein 0.01 เปอร์เซ็นต์ นำไปส่องภายใต้แสงอุลตราไวโอเลตในที่มืด แต่ละแถบที่ปรากฏจะเป็นแถบขององค์ประกอบของไขมันต่างชนิดกัน จุดแถบของ TAG ซึ่งสามารถทราบโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ถ่ายใส่หลอดทดลองจากนั้นสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ ระเหยไดเอทิลอีเทอร์ออกให้หมด ชั่งน้ำหนักหาปริมาณของ TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลอง โดยวิธี t-test เพื่อเลือกชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมนำมาทำการศึกษาต่อในหัวข้อ 3.4.3

### 3.4.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

นำน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2 มาผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันและสมบัติทางเคมีกายภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ (crude oil)

#### 3.4.3.1 การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วน

(1) การกำจัดสารเหนียว (degumming) (Lyon and Becker, 1987)



(2) การทำให้บริสุทธิ์โดยการใช้เบส (Lyon and Becker, 1987)

น้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว 150 กรัม

ใส่ในบีกเกอร์สเตนเลส

← NaOH 44 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการค้นคว้าอย่างรวดเร็ว 15 นาที. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส

กวนอย่างช้า นาน 30 นาที

นำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส

นาน 1-4 ชั่วโมง

หมุนเหวี่ยงที่ 20,000xg

อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

(3) การฟอกสี (bleaching) (Lyon and Becker, 1987)

น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ 100 กรัม

← bleaching clay 2 เปอร์เซ็นต์

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

นาน 15 นาที

ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

← Celite 545 1 เปอร์เซ็นต์

กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5

น้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

(4) การกำจัดกลิ่น (deodorization) (McNeill *et al.*, 1986)

น้ำมันที่ผ่านการฟอกสี 100 กรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยง

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

พร้อมเขย่าตลอดเวลา นาน 20 นาที

Activated carbon 9 เปอร์เซ็นต์

← Silica 6 เปอร์เซ็นต์

หมุนเหวี่ยงที่ 8,000xg นาน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

↓  
น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

#### 3.4.3.2 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

นำน้ำมันมาตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ดังต่อไปนี้

- (1) Saponification value (AOAC, 1995)
- (2) Unsaponifiable matter (AOAC, 1995)
- (3) Acid value (AOAC, 1995)
- (4) Peroxide value (AOAC, 1995)

#### 3.4.3.3 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

นำน้ำมันมาตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

- (1) ความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ (AOAC, 1995)
- (2) การวัดสี (AOAC, 1995)
- (3) ความขุ่น (AOAC, 1995)
- (4) การค่าดัชนีหักเห (AOAC, 1995)

#### 3.4.3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันจะใช้วิธีที่รายงานโดย AOAC (1995) มีหลักการคือ เปลี่ยนกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF<sub>3</sub>) ในเมทานอลจากนั้นวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดย GC (สภาวะของการวิเคราะห์ดูรายละเอียดจากภาคผนวก ข)

#### 3.4.4 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่ตำแหน่ง *sn*-2 บนไตรเอซิลกลีเซอรอลจะใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Luddy *et al.* (1964) และ Seriburi and Akoh (1998) โดยนำไตรเอซิลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ละลายในเฮกเซน 0.25 มิลลิลิตร ผสม Tris-HCl บัฟเฟอร์ (pH 7.6) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร bile salt 0.05 เปอร์เซ็นต์ 0.25 มิลลิลิตร และ แคลเซียมคลอไรด์ 2.2 เปอร์เซ็นต์ 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้ว

เติม pancreatic lipase 5 มิลลิกรัม นำสารละลายมาบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยความเร็ว 360 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วจึงสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 3 มิลลิลิตร (ถ้าจำเป็น อาจเซนตริฟิวจ์ เพื่อลดการเกิดอิมัลชัน) จากนั้นกรองผ่าน Nyloflo membrane เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นอนุภาคของแข็ง กำจัดความชื้นโดยใช้โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส แล้วนำมาทำให้เข้มข้นภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างไปแยก 2-MAG ที่เกิดขึ้น จุดแถบของ 2-MAG จากแผ่น TLC ใส่ในหลอดทดลอง นำไปทำอนุพันธ์เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ตามวิธีที่รายงานโดย Pinsirodom และ Parkin (1999) ซึ่งมีหลักการคือ เปลี่ยนกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์โดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมเมทอริกไซด์ ก่อนการวิเคราะห์ด้วย GC (รายละเอียดของสภาวะการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ๓)

เอนไซม์ pancreatic lipase เป็นเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงต่อการย่อยสลายกรดไขมันที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอล MAG ที่เกิดจากปฏิกิริยาจึงถือได้ว่าเป็น 2-MAG ปริมาณของกรดไขมันที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลสามารถหาได้จากองค์ประกอบของกรดไขมันใน TAG เริ่มต้นและผลิตภัณฑ์ 2-MAG ที่เกิดจากการย่อยด้วยเอนไซม์ได้ *sn*-2-MAG ดังสูตร  $[(1.5 \times \text{TAG}) - (0.5 \times \text{sn-2-MAG})]$  (Becker *et al.*, 1993)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อปริมาณน้ำมัน และปริมาณ TAG ของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ

การทดลองใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ สกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอบนแห้งที่ผ่านการบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่อง Soxhlet จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันดิบและปริมาณ TAG ที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอและปริมาณ TAG ของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน

ชนิดตัวทำละลาย	ปริมาณน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ TAG (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
Hexane	20.46 <sup>a</sup> ±2.01	27.82 <sup>a</sup> ±1.35
Petroleum ether	23.29 <sup>a</sup> ±0.22	30.07 <sup>a</sup> ±1.64

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากเมล็ดมะละกอเมื่อใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์มีปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Raie และคณะ (1992) และ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) โดย Raie และคณะ (1992) ทดลองสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยตัวทำละลายเฮกเซนสามารถสกัดปริมาณน้ำมันได้ 25.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Nguyen และ Tarandjiiska (1995) สามารถสกัดปริมาณน้ำมันได้ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ จากตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากตัวทำละลายทั้งสองชนิด มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับปริมาณ TAG ซึ่งหาปริมาณได้โดยอาศัยหลักการแยกด้วย TLC จากนั้นจุดแถบของ TAG ถ่ายใส่หลอดทดลองสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ ชั่งน้ำหนักหาปริมาณ พบว่า ปริมาณ TAG ที่แยกได้จากน้ำมันเมล็ดมะละกอจากตัวทำละลายทั้งสองชนิด มีปริมาณใกล้เคียงกัน

อยู่ในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดลองใช้วิธีเดียวกันในการวิเคราะห์ปริมาณ TAG ในน้ำมัน การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธีทางการค้าซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น TAG ในปริมาณ 90-100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณ TAG ที่แยกได้จากน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณใกล้เคียงกันกับปริมาณ TAG ที่แยกได้จากน้ำมันเมล็ดมะละกอ แสดงให้เห็นว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น TAG ใกล้เคียงกับน้ำมันพืชทั่วไป สอดคล้องกับรายงานของ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) ที่ทดลองแยกชนิดของไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอ พบว่า มีปริมาณของ TAG ในปริมาณที่สูงที่สุด จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TAG ที่มีอยู่ในน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตัวทำละลายทั้งสองชนิด จะเห็นว่าปริมาณ TAG ที่แยกได้จากน้ำมันที่สกัดจากตัวทำละลายทั้งสองมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า ตัวทำละลายเฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์มีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายน้ำมันได้ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจุดเดือดของปิโตรเลียมอีเทอร์ต่ำกว่าเฮกเซน การใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์จึงส่งผลให้เวลาในการสกัดและแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันสั้นกว่าการใช้เฮกเซน ซึ่งการใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ในการสกัดน้ำมันใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แต่การใช้เฮกเซนต้องใช้เวลาในการสกัดนานประมาณ 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ การใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอยังมีแนวโน้มที่จะให้ปริมาณน้ำมันและปริมาณ TAG ที่สูงกว่าการใช้เฮกเซน ในขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายในการทดลองขั้นต่อไป

ในการผลิตน้ำมันบริโภคระดับอุตสาหกรรมทั่วไปนั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมัน คือ เฮกเซน เนื่องจากมีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีความเป็นพิษต่ำ จากผลการทดลอง หากมีการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมก็สามารถใช้ตัวทำละลายเฮกเซนในการสกัดน้ำมันได้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าตัวทำละลายทั้งสองมีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายได้ไม่แตกต่างกัน แต่ในการทดลองครั้งนี้ เลือกใช้ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ เนื่องจากเพื่อความสะดวกรวดเร็วและเหมาะสมในการทดลอง

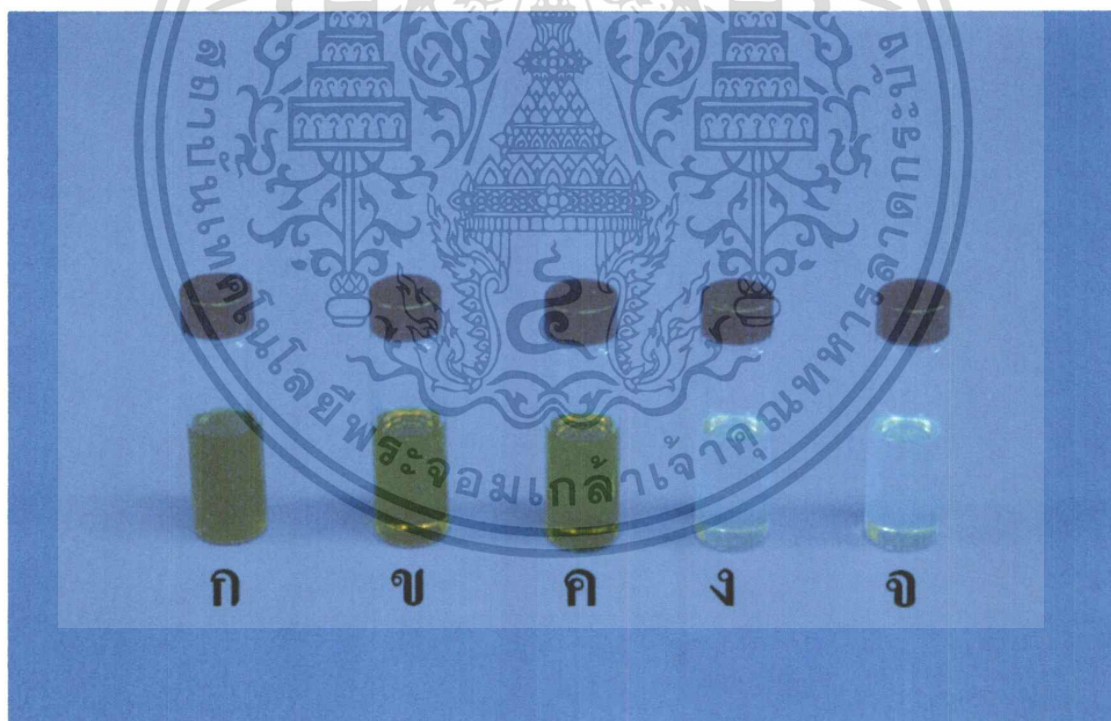
## 4.2 สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

จากการทดลองนำน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากปิโตรเลียมอีเทอร์มาผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนลักษณะปรากฏของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.1

ในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ น้ำมันดิบที่สกัดได้มีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 4.1 ก. น้ำมันดิบที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นหนืด สีเหลืองขุ่นมีตะกอนสีน้ำตาลอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำมันดิบที่สกัดได้นี้จึงยังถือได้ว่าเป็นน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ สารอื่นที่อาจเจือปนอยู่ในน้ำมันดิบได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนและไดเอซิลกลีเซอรอล ฟอสฟาไทด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน รงควัตถุ สเตอรอยด์ ไฮโดรคาร์บอน และวิตามิน เป็นต้น (เนื้อทอง วานานูวัธ, 2539) ในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์นั้นสารเจือปนดังกล่าวจะถูกกำจัดออกไป ทำให้ได้น้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น จากการทดลองเมื่อนำน้ำมันดิบมาผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยการกำจัดสารเหนียว ซึ่งเป็นขั้นตอนการแยกสารซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียวโดยใช้น้ำในการทำปฏิกิริยา จากนั้นแยกสารเหนียวออกจากน้ำมันโดยการหมุนเหวี่ยง น้ำมันที่ได้ในขั้นตอนนี้มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน ดังภาพที่ 4.1 ข. ส่วนยางเหนียวที่แยกได้มีสีน้ำตาลลักษณะขุ่นหนืด ซึ่งส่วนใหญ่อาจเป็นสารประกอบประเภทฟอสฟาไทด์ (เนื้อทอง วานานูวัธ, 2539) จากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้เป็นสบู่ซึ่งแยกออกได้โดยการกรองและหมุนเหวี่ยง น้ำมันเมสตีคมะละกอที่ได้ในขั้นตอนนี้ยังคงมีสีเหลืองใกล้เคียงกับน้ำมันเมสตีคมะละกอที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว ขั้นตอนต่อไปเป็นการฟอกสีและการกำจัดกลิ่น ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำมันเมสตีคมะละกอเมื่อผ่านการฟอกสีและกำจัดกลิ่นแล้ว มีลักษณะเป็นของเหลวใสแตกต่างจากน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการฟอกสีอย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 4.1 ง. และ จ



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของน้ำมันเมสตีคมะละกอในขั้นตอนต่างๆ ของการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วน ก. น้ำมันดิบจากเมสตีคมะละกอ ข. น้ำมันเมสตีคมะละกอผ่านการกำจัดสารเหนียว ค. น้ำมันเมสตีคมะละกอผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ ง. น้ำมันเมสตีคมะละกอผ่านการฟอกสี และ จ. น้ำมันเมสตีคมะละกอผ่านกำจัดกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนข้างต้นมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบของกรดไขมันเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ (crude oil) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2-4.4

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ

ชนิดของน้ำมันเมล็ดมะละกอ	Saponification value (mg KOH/g)	Unsaponifiable matter (g/kg max)	Acid value (mg KOH/g)	Peroxide value (mEq/kg)
น้ำมันเมล็ดดิบ	190 <sup>a</sup> ±4.01	2.86 <sup>a</sup> ±0.24	4.93 <sup>a</sup> ±0.15	8.77 <sup>a</sup> ±0.91
น้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน	205 <sup>b</sup> ±7.02	1.40 <sup>b</sup> ±0.17	1.58 <sup>b</sup> ±0.22	3.16 <sup>b</sup> ±0.11

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ เมื่อพิจารณาค่า saponification value ซึ่งหมายถึง จำนวนน้ำหนักของสารโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นมิลลิกรัมที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสอย่างสมบูรณ์ของไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม เป็นกลางพอดี เป็นค่าที่ใช้ชี้บ่งให้ทราบถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุล ไขมันที่มีกรดไขมันสายสั้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะใช้ค่าในการไฮโดรไลสิสมาก ค่า saponification value จะสูง ในทางตรงข้ามถ้ากรดไขมันโมเลกุลใหญ่ จะใช้ค่าในการไฮโดรไลสิสน้อย ค่า saponification value จะต่ำ จากผลการทดลองน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอและน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่า saponification value เท่ากับ 190 และ 205 มิลลิกรัมโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่า น้ำมันทั้งสองมีค่า saponification value แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากในน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอนอกจากจะมีองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นส่วนใหญ่แล้ว ยังมีสารอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ได้แก่ เอสเทอร์ของกรดไขมันอื่นๆ นอกเหนือจากไตรเอซิลกลีเซอรอล เช่น โมโนเอซิลกลีเซอรอล ไดเอซิลกลีเซอรอล สเตอรอยด์, ไขมันเชิงซ้อน (complex lipid), และฟอสโฟลิปิด (เนื้อทอง วนานัวร์, 2539) เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันที่เกิดพันธะเอสเทอร์ เป็นสารอื่นนอกเหนือจากไตรเอซิลกลีเซอรอลอาจเป็นกรดไขมันสายยาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อนำ

น้ำมันดิบมาผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนซึ่งสามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ดังกล่าวออกไป จึงมีผลให้ค่า saponification value ของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่ามากกว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ สอดคล้องกับค่า unsaponifiable matter ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารที่ปนอยู่ในไขมันที่เหลืออยู่ภายหลังจากการทำปฏิกิริยา saponification ได้แก่สารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่า unsaponifiable matter ต่ำกว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ แสดงว่า กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์สามารถกำจัดสารที่ไม่ใช่ไตรเอซิลกลีเซอรอลออกจากน้ำมันดิบได้ทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์มากขึ้น นอกจากนี้กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วนยังมีผลต่อค่า acid value และ peroxide value ของน้ำมันเมล็ดมะละกออีกด้วย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีค่า acid value และ peroxide value เท่ากับ 4.93 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ 8.77 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนที่มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 1.58 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ 3.16 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากในกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วนมีขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยการทำปฏิกิริยากับด่าง และขั้นตอนการกำจัดกลิ่นซึ่งเป็นขั้นตอนที่สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระ เปอร้ออกไซด์ สเตอรอล อัลดีไฮด์ คีโตนได้ จึงส่งผลให้ในน้ำมันที่ผ่านการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วนมีค่าดังกล่าวต่ำกว่าในน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค (2533) ซึ่งกำหนดให้น้ำมันและไขมันธรรมชาติหรือน้ำมันดิบ และน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีมีค่า acid value ไม่เกิน 4.0 และ 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ และค่า peroxide value ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอมีค่า peroxide value เป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนค่า acid value ของน้ำมันเมล็ดมะละกอมีค่าค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องการทดลองซึ่งเป็นการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเท่านั้นแตกต่างจากการผลิตระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีขั้นตอนกระบวนการที่เหมาะสมเพียงพอต่อการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ ดังนั้น หากมีการพัฒนาการผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีการควบคุมกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ก็จะส่งผลให้ค่า acid value ของน้ำมันเมล็ดมะละกอมีค่าลดลงได้และเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ พบว่า มีปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้

เห็นว่า กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วนมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้เพียงเล็กน้อย โดยขึ้นด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ

ชนิดของน้ำมันเมล็ดมะละกอ	ความหนาแน่น หรือความถ่วงจำเพาะที่ 25°C	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ดัชนีหักเห	สี
น้ำมันดิบ	0.8774 <sup>a</sup> ±0.002	9.44 <sup>a</sup> ±0.09	1.4558 <sup>a</sup> ±0.00005	11A
น้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน	0.9058 <sup>b</sup> ±0.001	1.00 <sup>b</sup> ±0.02	1.4600 <sup>b</sup> ±0.00005	1

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ ความชื้น และดัชนีหักเห แตกต่างจากน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเห ซึ่งเป็นค่าที่จำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิด โดยไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเหของไขมันและน้ำมันสูงขึ้น จากตารางที่ 4.3 น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนสามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ไขมันออกไปจึงทำให้น้ำมันดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีหักเหสูงกว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Raie และคณะ (1992) และ Chan และคณะ (1978) ซึ่งทดลองสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอศึกษาค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีหักเห พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.8900-0.9130 และ 1.4600-1.4627 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันและน้ำมันชนิดอื่นดังตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับน้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดฝ้าย

เมื่อพิจารณาค่าสีที่วัดจากเครื่อง Lovibond พบว่า น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีค่าสีเท่ากับ 11A ซึ่งอยู่ในช่วง predominantly yellow fats หรือน้ำมันที่มีสีเหลืองต่างจากน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน ซึ่งมีค่าสีเท่ากับ 1 ซึ่งอยู่ในช่วง light colored fats จะเห็นได้ว่า ค่าสีที่วัดได้สอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่า น้ำมันเมื่อผ่านการฟอกสีซึ่งเป็นขั้นตอนการกำจัดรงควัตถุที่สีต่างๆ น้ำมันที่ได้จึงมีสีที่ใสขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นในไขมันหรือน้ำมันจะมี

ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (ลักษณะ รุณะ ไกรกานต์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2540) จากผลการทดลอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่าปริมาณความชื้นสอดคล้องกับรายงานข้างต้น ส่วนในน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 9.44 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนซึ่งมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 1.00 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุดิบและการปนเปื้อนระหว่างการสกัดจึงทำให้น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอมีปริมาณความชื้นสูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบ

กรดไขมัน	น้ำมันเมล็ดมะละกอ (ดิบ) (เปอร์เซ็นต์)	น้ำมันเมล็ดมะละกอ (ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน) (เปอร์เซ็นต์)
กรดปาล์มิติก (C16:0)	16.37 <sup>a</sup> ±0.29	16.24 <sup>a</sup> ±0.06
กรดปาล์มิโตเลอิก (C16:1)	0.32 <sup>a</sup> ±0.12	0.29 <sup>a</sup> ±0.005
กรดสเตียริก (C18:0)	4.54 <sup>a</sup> ±0.07	4.52 <sup>a</sup> ±0.02
กรดโอเลอิก (C18:1)	73.73 <sup>a</sup> ±0.10	74.20 <sup>a</sup> ±0.08
กรดไลโนเลอิก (C18:2)	2.87 <sup>a</sup> ±0.02	2.70 <sup>a</sup> ±0.004
กรดอาราซิดิก (C20:0)	0.37 <sup>a</sup> ±0.01	0.39 <sup>a</sup> ±0.01
กรดไอโคซีโนอิก(C20:1)	0.44 <sup>a</sup> ±0.004	0.70 <sup>b</sup> ±0.02
กรดบีฮีนิก (C22:0)	0.22 <sup>a</sup> ±0.006	0.20 <sup>a</sup> ±0.03
อื่นๆ	1.14	0.76

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอและน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนด้วยเครื่อง GC สามารถตรวจพบกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังนี้ คือ กรดปาล์มิติก กรดปาล์มิโตเลอิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก กรดอาราซิดิก กรดไอโคซีโนอิก และกรดบีฮีนิกในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบกรดโอเลอิกในปริมาณที่สูงที่สุด รองลงมาคือกรดปาล์มิติก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chan และคณะ (1978) Raie และคณะ (1992) และ Strocchi (1977) ที่ทดลองสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอนำมาศึกษา องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่อง GC พบว่า มีปริมาณกรดโอเลอิกในปริมาณสูงที่สุดอยู่ในช่วงระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63.3-73.0 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกรดปาล์มิติกมีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 15.13-17.80 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกามีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันมะกอก สอดคล้องกับรายงานของ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) เมื่อพิจารณาระหว่างน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอและน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน จะเห็นได้ว่า ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นกรดโอโคซีโนอิก (C20:1) ซึ่งสามารถตรวจพบในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมากกว่าน้ำมันดิบ แต่โดยรวมสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์บางส่วนไม่มีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันใน น้ำมันเมล็ดมะละกอ

#### 4.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ โดยนำ TAG บริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ pancreatic lipase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงต่อการย่อยสลายกรดไขมันที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอล MAG ที่เกิดจากปฏิกิริยาจึงถือได้ว่าเป็น 2-MAG จากนั้นนำมาแยกชนิดของไขมันโดยอาศัยหลักการของ TLC ชุดแถบของ 2-MAG นำไปทำอนุพันธ์เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ ก่อนการวิเคราะห์ด้วย GC ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงชนิดและปริมาณกรดไขมันของไตรเอซิลกลีเซอรอล และ 2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล จากการวิเคราะห์ด้วย GC ส่วนชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 ได้จากการคำนวณจากสูตร  $1.5 \times \text{TAG} - 0.5 \times 2\text{-MAG}$  (Becker *et al.*, 1993) จะเห็นได้ว่ากรด โอเลอิกที่อยู่ตำแหน่ง *sn*-2 มีปริมาณสูงที่สุดถึง 83.9 โมลเปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรดไขมันชนิดอื่น รองลงมาคือ กรดไลโนเลอิก (4.78 โมลเปอร์เซ็นต์) กรดปาล์มิติก (2.58 โมลเปอร์เซ็นต์) และกรดไลโนเลนิก (2.34 โมลเปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ สำหรับที่ตำแหน่ง *sn*-1,3 กรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่งดังกล่าวสูงที่สุดคือ กรดโอเลอิก (64.7 โมลเปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ กรดปาล์มิติก (27.0 โมลเปอร์เซ็นต์) และกรดสเตียริก (6.78 โมลเปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถคาดคะเนได้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ ได้แก่ ไตรโอเลอีน (OOO) 1,3-ไดปาล์มิโตโอเลอีน (POP) 1,3-ไดโอลิโอลิโนเลอีน

ตารางที่ 4.5 แสดงชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่สำคัญซึ่งอยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลและปริมาณ TAG จากน้ำมันเมล็ดมะละกอ

กรดไขมัน	TAG	โมลเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของ TAG	
		<i>sn</i> -2	<i>sn</i> -1,3
กรดไมริสติก (C14:0)	0.24 ± 0.00	0.02 ± 0.03	0.27 ± 0.02
กรดปาล์มิติก (C16:0)	18.8 ± 0.13	2.58 ± 0.50	27.0 ± 0.26
กรดสเตียริก (C18:0)	4.96 ± 0.03	1.31 ± 0.59	6.78 ± 0.28
กรดโอเลอิก (C18:1)	71.1 ± 0.09	83.9 ± 3.60	64.7 ± 1.80
กรดไลโนเลอิก (C18:2)	2.89 ± 0.00	4.78 ± 0.26	1.95 ± 0.13
กรดไลโนเลนิก (C18:3)	1.91 ± 0.01	2.34 ± 0.87	1.69 ± 0.43

ค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

โมลเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-1,3 ได้จากการคำนวณโดยสมการ  $[(1.5 \times \text{TAG}) - (0.5 \times \text{sn-2-MAG})]$  (Becker *et al.*, 1993)

(OLO) 1,3-ไดปาล์มิตอไลโนเลนิน (PLP) 1,3-ไดโอลิโอปาล์มิติน (OPO) สอดคล้องกับรายงานของ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) ที่ทดลองแยกกลุ่มของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอโดยอาศัยหลักการ TLC เทียบกับมาตรฐานซึ่งสามารถพบไตรเอซิลกลีเซอรอลในลักษณะดังกล่าวใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยผลการทดลองของ Nguyen และ Tarandjiiska (1995) สามารถบอกได้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบมากที่สุดคือน้ำมันจากเมล็ดมะละกอประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (S) 1 โมเลกุล และกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่ตำแหน่งเดียว (M) 2 โมเลกุล (SMM) ในปริมาณสูงที่สุดคือ 38 โมลเปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กรดไขมันอิ่มตัว 2 โมเลกุล และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง (D) 1 โมเลกุล 34.5 โมลเปอร์เซ็นต์ (SSD)

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการที่น้ำมันเมล็ดมะละกอมีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิกสูงซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการและดีต่อสุขภาพเนื่องจากเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (MUFA) ซึ่งมีรายงานว่า MUFA สามารถช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลได้เช่นเดียวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (PUFA) (Gurr, 1999) ทำให้น้ำมันจากเมล็ดมะละกอน่าจะเป็นน้ำมันที่มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นตัวเติม สำหรับการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้าง ที่ให้ลักษณะเฉพาะของสมบัติทางหน้าที่ และสมบัติทางโภชนาการ ตัวอย่างเช่น ในการผลิตมันเนยโกโก้เทียม (coco butter equivalent) จะเริ่มต้นด้วยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไตรโอเลอิกสูงๆ ซึ่งได้จากน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันหรือน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่ง *sn*-1,3 เกิดปฏิกิริยาเอซิโดไลซิส (acidolysis) (ประพันธ์

เอกลส... ไม่ว่าจะฉีกใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีนศิริโรดม, 2544) นอกจากนี้ ไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่มุ่งใช้ประโยชน์ในเชิงการแพทย์ ได้แก่ TAG ที่มีกรดไขมันสายกลาง (C8 หรือ C10) อยู่บนตำแหน่ง *sn*-1,3 และกรดโอเลอิกอยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 เป็นไขมันดัดแปลงโครงสร้างที่เหมาะสมกับบุคคลที่มีปัญหาเกี่ยวกับการดูดซึมกรดไขมันสายยาว ในการผลิตไขมันดัดแปลงโครงสร้างดังกล่าวสามารถใช้ไขมันที่มีองค์ประกอบของไตรโอเลอีนในปริมาณสูง ดังนั้นจึงควรมีงานวิจัยและพัฒนาเพื่อนำไปสู่การผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอและไขมันดัดแปลงโครงสร้างต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ คือปิโตรเลียมอีเทอร์ เนื่องจากมีแนวโน้มที่ให้ปริมาณน้ำมัน และ TAG จากน้ำมันเมล็ดมะละกอมากกว่าการใช้เฮกเซน นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการสกัดและแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันได้เร็วกว่าการใช้เฮกเซนถึง 1 ชั่วโมง โดยสกัดได้ปริมาณน้ำมัน 23.29 เปอร์เซ็นต์ และ TAG 30.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอและน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีค่า acid value, peroxide value, unsaponifiable matter, ความชื้น และค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า น้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ ซึ่งมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 1.58 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม 3.16 มิลลิกรัมสมมูลเพอร็อกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม 1.40 กรัมต่อกิโลกรัม 1 เปอร์เซ็นต์ และ 1.46 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์บางส่วนมีปริมาณลดลงเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำมันดิบจากเมล็ดมะละกอ

3. จากการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยเครื่อง GC พบว่า มีชนิดของกรดไขมันและปริมาณของกรดไขมันใกล้เคียงกับน้ำมันมะกอก โดยพบปริมาณกรดโอเลอิกในปริมาณสูงที่สุด (74.20 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือกรดปาล์มิติก (16.24 เปอร์เซ็นต์)

4. จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง  $sn-2$  และ  $sn-1,3$  ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอ พบว่า ที่ตำแหน่ง  $sn-2$  มีปริมาณของกรดโอเลอิกในปริมาณที่สูงที่สุด (83.9 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือกรดไลโนเลอิก (4.78 เปอร์เซ็นต์) และกรดปาล์มิติก (2.58 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ สำหรับที่ตำแหน่ง  $sn-1,3$  พบกรดโอเลอิกในปริมาณสูงที่สุด (64.7 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กรดปาล์มิติก (27.0 เปอร์เซ็นต์) และกรดสเตียริก (6.78 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

## บรรณานุกรม

- กองบรรณาธิการ LAB.TODAY. 2544. การทำอนุพันธ์ Derivatization สำหรับการวิเคราะห์โดย GC. LAB.TODAY. ตุลาคม : 84-89.
- นันทวัน บุญประภัสร์. 2542. สมุนไพรไม้พุ่มบ้าน. ประชาชน, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- เนื่อทอง วนานุวัช. 2539. น้ำมัน ไขมันและผลิตภัณฑ์. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม. 2544. ไขมันดัดแปลงโครงสร้าง. อาหาร. 31(2) : 94-104.
- ปราณี อานเป็รื่อง. 2543. เอ็นไซม์ทางอาหาร. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2540. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2541ก. ชี้อมูลด้านการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2541ข. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2539/40. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุวรรณ อินทร์คงแก้ว. 2539. การปลูกมะละกอ. (ม.ป.ท.).
- หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพร. 2544. มะละกอ. หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพร. ณ สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2544. [Online]. Available : <http://www.medplant.mahidol.ac.th/micro/papaya-1.htm>.
- AOAC. Official Method of Analysis. 1995. 16<sup>th</sup> ed. The association of analysis chemists, Arlington, Virginia.
- Becker, C.C., Rosenquist, A. and Holmer, G. 1993. Regiospecific analysis of triglycerols using allyl magnesium bromide. Lipid. 28 : 147-149.

เอกสาร Bockisch, M. 1998. Fat and Oils Handbook. AOCS Press, Illinois. อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Carlson D.K. Chaudhry A. and Bagby M.O. 1990. Analysis of oil and meal from *Lesquerella fendleri* seed. J. Am. Oil Chem. Soc. 67: 438-442.
- Carlson D.K. and Kleiman R. 1993. Degumming and bleaching of *Lesquerella fendleri* seed oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 70 : 579-582.
- Carr, A.R. 1978. Refining and degumming system for edible fats and oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 55 : 765-771.
- Chan. H. T., Heu, R.A., Tang, C.S., Okazaki, E.N. and Ishizaki, S.M. 1978. Composition of papaya seed. J. Food Sci. 43 : 255-256.
- El-Tayeb, O., Kucera, M., Marquis, V.O. and Kucerova, H. 1974. Contribution to the knowledge of Nigerian medicinal plant III. Study on *Carica papaya* seeds as a source of a reliable antibiotic, the BITC. Planta Med. 26: 79-89.
- Gavin M.A. 1987. Edible oil deodorization. J. Am. Oil Chem. Soc. 55 : 783-791.
- Gurr M.I. 1999. Lipid in Nutrition and Health: A Reappraisal. Bridgwater, England.
- Luddy, F. E., Barford, R. A., Herb, S. F., Magidman, P. and Riemenschneider, R.W. 1964. Pancreatic lipase hydrolysis of triglycerides by a semimicro technique. J. Am. Oil Chem. Soc.. 41 : 693-696.
- Lyon, C.K. and Becker, R. 1987. Extraction and refining of oil from Amaranth seed. J. Am. Oil Chem. Soc. 64 : 233-236.
- Marfo. E.K. and Oke, O.L. 1986. Chemical studies on papaya seed: III. Nutritional evaluation. Nutr. Reports Int. 33 : 989-1000.
- Marfo, E.K., Oke, O.L. and Afolabi, O.A. 1986. Some studies on proteins of *Carica papaya* seed. Food Chem. 22 : 267-277.
- McNeill, J. Kakuda J. and Kamel B. 1986. Improving the quality of used frying oils by treatment with activated carbon and silica. J. Am. Oil Chem. Soc. 62 : 1564-1567.
- Nawar, W.W. 1985. Lipid. In Food Chemistry, 2<sup>nd</sup> ed, Fennema, O.R. ed. Marcel Dekker. Inc., NewYork.
- Nguyen, H. and Tarandjiiska, R. 1995. Lipid classes, fatty acids and triglycerides in papaya seed oil. Fett Wiss. Technol. 97 : 20-23.
- Pinsirodom, P. and Parkin, K.L. 1999. Fatty acid and product selectivities of potato tuber lipid acyl hydrolase in esterification reactions with glycerol in organic media. J. Am.

- Raie, M.Y., Sohail, K., Ahmad, M. and Qureshi, E.E. 1992. Lipid studies of *Carica papaya*.  
Pakistan J. Sci. Indust. Res. 35 : 43-45.
- Richardson L.L. 1978. Use of bleaching clay in processing edible oils. J. Am. Oil Chem.  
Soc. 55 : 777-780.
- Seriburi, V. and Akon C.C. 1998. Enzymatic interesterification of lard and high-oleic sunflower  
oil with *Candida antarctica* lipase to produce plastic fat. J. Am. Oil Chem. Soc.  
75 : 1339-1345.
- Strocchi, A., Lercker, G., Bonaga, G. and Maye, A. 1977. Composition of papaya seed oil.  
Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse. 54 : 429-431.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์หาค่า Saponification value (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 1-2 กรัม ใส่ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Potassium hydroxide ใน Ethyl alcohol 0.5 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร
3. นำไปรีฟลักซ์ 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
4. หยดสารละลาย Phenolphthalein 1 เปอร์เซ็นต์ ใน Ethyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ 2-3 หยด
5. นำไปไตเตรทกับสารละลายไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล จนถึงจุดยุติสีชมพูจางหายไป จดปริมาตรสารที่ใช้ไปในการไตเตรท
6. ทำการวิเคราะห์ห่อีกครั้งโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง (blank)
7. คำนวณค่า Saponification value จากสูตร

$$\text{ค่า Saponification value} = \frac{56.1 \times N \times (B - S)}{W} \text{ mg KOH / g}$$

- เมื่อ S คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
- B คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำกลั่น (blank) (มิลลิลิตร)
- N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก เป็นนอร์มอล
- W คือ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

## ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์หาค่า Unsaponifiable matter (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัมใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Potassium hydroxide ใน Ethanol 2 นอร์มอล จำนวน 50 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
3. ล้างขวดรีฟลักซ์ด้วยสารละลาย Ethyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์จำนวน 20 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร และ Petroleum ether 50 มิลลิลิตร เทใส่กรวยแยก
4. เขย่าอย่างแรงแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ชั้นบนเป็นชั้น Ether ชั้นล่างเป็นสบู่และ Alcohol
5. ไขชั้นของสบู่และ Alcohol (ชั้นล่าง) ใส่กรวยแยก เติม Petroleum ether 50 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทำซ้ำ 3 ครั้ง
6. ไขชั้นบนที่ได้ไปรวมกับชั้น Ether (ชั้นบน) ทั้งหมดใส่กรวยแยก เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น นำชั้น Ether (ชั้นบน) เติมสารละลาย Ethyl alcohol 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
7. ไขชั้น Ether (ชั้นบน) ทั้ง 3 ครั้งใส่กรวยแยก เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทำซ้ำ 5 ครั้ง แล้วทดสอบชั้นล่างให้เป็นกลางโดยทดสอบกับ Phenolphthalein
8. นำชั้น Ether (ชั้นบน) ทั้งหมดถ่ายใส่ขวด
9. นำไประเหยเอา Petroleum ether ออก แล้วทิ้งไว้ใน โถดูดความชื้น
10. เติมสารละลาย Ethyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
11. นำไปไตเตรทกับสารละลาย Potassium hydroxide ใน Ethanol 1 นอร์มอล โดยใช้ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรสารที่ใช้ไปในการไตเตรท
12. คำนวณค่า Unsaponifiable matter จากสูตร

$$\text{Unsaponifiable matter} = \frac{N \times V \times 100 \times 282}{W \times 100} \quad \text{g / kg max}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรสารละลาย Potassium hydroxide ใน Ethanol 1 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Potassium hydroxide เป็นนอร์มอล

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์หาค่า Acid value (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสม Ethyl alcohol : Diethyl ether (1:1) จำนวน 100 มิลลิลิตร
3. หยดสารละลาย Phenolphthalein 1 เปอร์เซ็นต์ ใน Ethyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ 2-3 หยด
4. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน Potassium hydroxide เข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทีละหยดจนได้สารละลายสีชมพูคงตัวนาน 30 วินาที จดปริมาตรสารที่ใช้ไปในการไตเตรท
5. คำนวณค่าของกรดจากสูตร

$$\text{Acid value} = \frac{56.1 \times N \times a}{W} \text{ mg KOH / g max}$$

เมื่อ a คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน Potassium hydroxide เข้มข้น 0.1 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Potassium hydroxide เป็น Normality

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

## ภาคผนวก ง

## การวิเคราะห์หาค่า Peroxide value (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสม HOAc:CHCl<sub>3</sub> (3:2) จำนวน 50 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายอิมตัว Potassium iodide 1 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ 1 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate 0.01 นอร์มอล จนสารละลายสีเหลืองหายไปเกือบหมด
6. เติมน้ำแข็ง 0.1 เปอร์เซ็นต์ 0.5 มิลลิลิตร สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
7. ไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินจางหายไปและจดปริมาตรที่ใช้ไปในการไตเตรท
8. ทำการวิเคราะห์อีกครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง (blank)
9. คำนวณค่า Peroxide value จากสูตร

$$\text{ค่า Peroxide value} = \frac{100 \times (S - B) \times N}{W} \text{ m Eq / kg}$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate 0.01 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate 0.01 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำกลั่น (blank) (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate เป็นนอร์มอล

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

## ภาคผนวก จ

## การวัดค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หรือความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักขวดหาค่าความถ่วงจำเพาะที่แห้งและบันทึกน้ำหนักไว้
2. เปิดจุกเติมน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จนเต็มแล้วจุ่มไว้ในอ่างควบคุมความร้อนที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
3. ขกขวดออกมาเช็ดให้แห้งสนิทแล้วชั่งน้ำหนัก
4. หลอมตัวอย่างน้ำมันและกรองผ่านกระดาษกรองปรับอุณหภูมิให้ได้  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เทลงในขวดอย่าให้มีฟองอากาศ
5. ปิดจุกแล้ววางในอ่างควบคุมความร้อนที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
6. ขกขวดออกมาเช็ดให้แห้งสนิทแล้วชั่งน้ำหนัก
7. คำนวณค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หรือความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน จากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน (25 องศาเซลเซียส)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมัน}}{\text{น้ำหนักน้ำ}}$$

**ภาคผนวก ฉ**  
**การวัดสี (AOAC, 1995)**

**วิธีการ**

1. หลอมตัวอย่างน้ำมันและกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 2
2. เทตัวอย่างน้ำมันลงในหลอดแก้วใสสำหรับใส่ตัวอย่างให้มีความสูงประมาณ 2/3 ของความสูงของหลอด แล้วนำหลอดตัวอย่างมาใส่ในช่องสำหรับใส่ตัวอย่างของเครื่อง Lovibond
3. กดสวิตช์แหล่งกำเนิดแสง
4. เลือกแผ่นวงล้อเทียบสี 1 คู่ ที่มีสีอยู่ในช่วงที่ครอบคลุมสีของน้ำมันของตัวอย่างใส่ลงในช่องสำหรับใส่แผ่นวงล้อเทียบสีทั้งสองข้างของเครื่อง Lovibond แล้วหมุนให้ตรงกับสีของตัวอย่าง แผ่นวงล้อเทียบสีมีทั้งหมด 4 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นประกอบด้วยหมายเลขดังนี้

แผ่นที่ 1 : 1, 5, 9, 11A, 11B, 11C, 17, 21

แผ่นที่ 2 : 3, 7, 11, 11A, 11B, 11C, 15, 19, 23

แผ่นที่ 3 : 25, 29, 33, 37, 41, 45

แผ่นที่ 4 : 27, 31, 35, 39, 43

หมายเลขภายในแผ่นวงล้อเทียบสีสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มสี ดังตารางที่ ฉ1 ตารางที่ ฉ1 แสดงกลุ่มเลขหมายภายในวงล้อเทียบสีน้ำมันของสีแต่ละสี

Light Colored Fats	Predominantly Yellow Fats	Dark Fats (Red Cast)	Very Dark Fats (Predominantly Green)	Very Dark Fats (Predominantly Red)
1	11	13	21	31
3	11A	15	23	33
5	11B	17	25	35
7	11C	19	27	37
9			29	39
				41
				43
				45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**  
**การวัดค่าดัชนีหักเห (AOAC, 1995)**

**วิธีการ**

1. ปรับอุณหภูมิน้ำมันให้ได้ 20 องศาเซลเซียส หรือ 25 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นไขมันปรับอุณหภูมิให้ได้ 40 องศาเซลเซียส
2. หยคน้ำมันที่กรองผ่านกระดาษกรองแล้วลงบนปริซึมด้านล่าง Butyrefractometer
3. ปิดฝาแล้วปรับเลนส์จนอ่านค่าได้ชัดเจนที่อุณหภูมิคงที่ที่  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส
4. กำหนดค่าดัชนีหักเหจากค่าที่อ่านได้โดยใช้ตารางที่ ข1

**ตารางที่ ข1 แสดงค่าดัชนีหักเหที่อ่านได้จาก Butyrefractometer**

Reading	Index of Refraction	Reading	Index of Refraction
40.0	1.4524	50.5	1.4596
40.5	1.4527	51.0	1.4600
41.0	1.4531	51.5	1.4603
41.5	1.4534	52.0	1.4607
42.0	1.4538	52.5	1.4610
42.5	1.4541	53.0	1.4613
43.0	1.4545	53.5	1.4616
43.5	1.4548	54.0	1.4619
44.0	1.4552	54.5	1.4623
44.5	1.4555	55.0	1.4626
45.0	1.4558	55.5	1.4629
45.5	1.4562	56.0	1.4633
46.0	1.4565	56.5	1.4636
46.5	1.4569	57.0	1.4639
47.0	1.4572	57.5	1.4642
47.5	1.4576	58.0	1.4646
48.0	1.4579	58.5	1.4649
48.5	1.4582	59.0	1.4652
49.0	1.4586	59.5	1.4656
49.5	1.4590	60.0	1.4659
50.0	1.4593	60.5	1.4662

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reading	Index of Refraction	Reading	Index of Refraction
61.0	1.4665	70.5	1.4726
61.5	1.4668	71.0	1.4729
62.0	1.4672	71.5	1.4732
62.5	1.4675	72.0	1.4735
63.0	1.4678	72.5	1.4738
63.5	1.4681	73.0	1.4741
64.0	1.4685	73.5	1.4744
64.5	1.4688	74.0	1.4747
65.0	1.4691	74.5	1.4750
65.5	1.4694	75.0	1.4753
66.0	1.4697	75.5	1.4756
66.5	1.4700	76.0	1.4759
67.0	1.4701	76.5	1.4762
67.5	1.4707	77.0	1.4765
68.0	1.4710	77.5	1.4768
68.5	1.4713	78.0	1.4771
69.0	1.4717	78.5	1.4774
69.5	1.4720	79.0	1.4777
70.0	1.4723	79.5	1.4780

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันโดยใช้ Gas Liquid Chromatography (AOAC, 1995)

## วิธีการ

1. การเตรียมเมทริลเอสเทอร์โดยทำปฏิกิริยากับโบรอนไตรฟลูออไรด์
  - 1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 25 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง
  - 1.2 ใส่ methanolic NaOH ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล 1.5 มิลลิลิตร
  - 1.3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
  - 1.4 ใส่โบรอนไตรฟลูออไรด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ใน เมททานอล 2 มิลลิลิตร
  - 1.5 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปล่อยให้หลอดทดลองเหลือ 30-40 องศาเซลเซียส
  - 1.6 ใส่เฮกเซน 1 มิลลิลิตร โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 5 มิลลิลิตร เขย่า แล้วปล่อยให้ไว้ให้แยกชั้น
  - 1.7 นำส่วนบนที่แยกได้ไปฉีด GC

## 2. สภาวะของเครื่อง GC

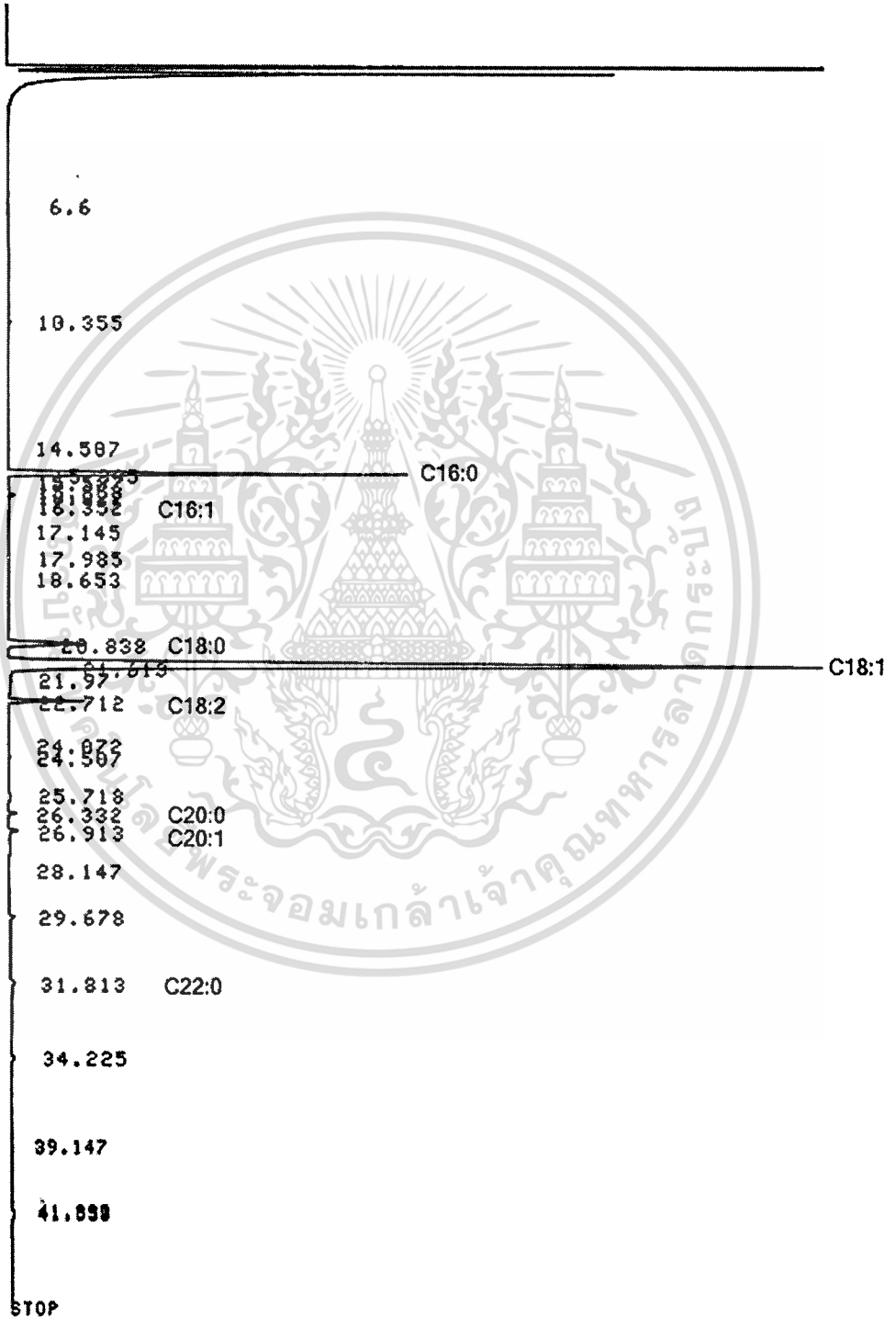
เครื่อง GC	Shimudzu GC-9A
คอลัมน์	SUPELLOWAX-10
อุณหภูมิคอลัมน์	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวฉีด	240 องศาเซลเซียส
detector	flame ionization detector (FID)
ก๊าซตัวพา	ไนโตรเจน
ปริมาณที่ฉีด	1.5 ไมโครลิตร

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC ดีเทคเตอร์ชนิด flame ionization ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวพา ในการวิเคราะห์จะใช้ capillary column ชนิด SUPELLOWEX 10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ควบคุมอุณหภูมิหัวฉีดและดีเทคเตอร์เท่ากับ 240 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นตั้งให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 240 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด เป็นสภาวะที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบกรดไขมัน

**หมายเหตุ** หน่วยงานที่วิเคราะห์ คือ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถ.พระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

S. TEST		WIDTH	4	SLOPE	57.75
TESTING	40 sec	DRIFT	0	MIN. AREA	50
SLOPE	57.75	T. DBL	0	STOP. TH	90
LIST WIDTH(1)		ATTEN	2	SPEED	5
ANALYSIS PARAMETER	FILE 1	METHODs	41	FORMATs	0
		SPL. WT	100	IS. WT	1

START



ภาพที่ ข1 ตัวอย่าง GC Chromatogram ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมล็ดคมะละกอก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่บนตำแหน่ง *sn*-2 และ *sn*-1,3 ของไตรเอซิลกลีเซอรอลจากน้ำมันเมล็ดมะละกอโดยใช้ Gas Liquid Chromatography (Pimsirodom and Parkin, 1999)

หลังจากนำน้ำมันเมล็ดมะละกอมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์และแยกแถบของ 2-MAG แล้วนำมาทำการการทดลองต่อไปนี้

### 1. การเตรียมเมทิลเอสเทอร์โดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมเมทริกซ์

1.1 นำแถบซิลิกาที่มี 2-MAG ที่เกิดจากปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสใส่ในหลอดทดลองเติมโซเดียมเมทริกซ์ในเมทธานอลความเข้มข้น 0.5 โมล 2 มิลลิลิตร

1.2 บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

1.3 เติมเฮกเซน 1 มิลลิลิตร และ โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 4 มิลลิลิตร เขย่านาน 2 นาที

1.4 หมุนเหวี่ยงที่ 2,000xg นาน 3-5 นาที

1.5 แยกส่วนใสที่ได้ไปฉีด GC

### 2. สภาพของเครื่อง

เครื่อง GC	Hewlett-Packard 6890
คอลัมน์	HP-INNOWAX
อุณหภูมิคอลัมน์	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวฉีด	240 องศาเซลเซียส
detector	flame ionization detector (FID)
ก๊าซตัวพา	ไนโตรเจน

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC คือเทคนิคชนิด flame ionization ในการวิเคราะห์จะใช้ capillary column ชนิด HP-INNOWAX ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ควบคุมอุณหภูมิหัวฉีดและดีเทคเตอร์เท่ากับ 220 และ 230 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นตั้งให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 220 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 18 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นตั้งให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 250 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที นาน 4 นาที เป็นสภาวะที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบของกรดไขมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แล้ว

**หมายเหตุ** หน่วยงานที่วิเคราะห์ คือ ห้องปฏิบัติการของ Prof. Dr.Kirk L. Parkin, Department of Food Science University of Wisconsin-Madison ประเทศสหรัฐอเมริกา

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวจิตติมา อินทภรณ์ เกิดวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร จากมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2542 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วทม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้