

## บทที่ 2

### บทตรวจเอกสาร

#### ชีววิทยาของปาล์ม

ปาล์มมีต้นกำเนิดอยู่ที่ทางตะวันตกและตอนกลางของทวีปแอฟริกา ต่อมาได้แพร่เข้าไปในทวีปอเมริกาใต้โดยสันนิษฐานว่าเกิดขึ้นในยุคล่าอาณานิคม ปาล์มจัดอยู่ในตระกูล *Palme* หรือ *Palmaceae* เป็นตระกูลย่อยเดียวกันกับมะพร้าว คือ *Eliaes* โดยแบ่งเป็น 3 สายพันธุ์ คือ *Eliaes guineensis*, *Eliaes oleifera* และ *Eliaes odora* สำหรับสองสายพันธุ์หลังไม่นิยมปลูกเนื่องจากเติบโตช้าและให้ผลเล็ก พันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงเศรษฐกิจอยู่ในปัจจุบันคือ *Eliaes guineensis* อย่างไรก็ตามมีการค้นพบปาล์มป่าอีก 2 ชนิดในเขตลุ่มน้ำอะเมซอนทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นพันธุ์พื้นเมืองในแถบนั้น คือ *Eliaes oleifera* และ *Eliaes odora*

*Eliaes guineensis* เป็นลูกผสมระหว่างสายพันธุ์ *dura* ซึ่งมีกะลาที่หนา เนื้อในเมล็ดใหญ่ มีส่วนของเปลือก (mesocarp) 30-50% ของน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำมัน 17-18% กับสายพันธุ์ *tenera* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีกะลาหนานปานกลาง มีเยื่อรอบกะลา มีส่วนของเปลือก 60-95% ของน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำมัน 22-24% เนื้อในเมล็ดปานกลาง

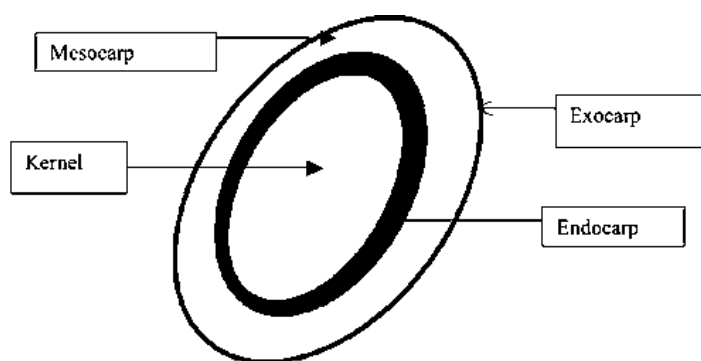
ปาล์มน้ำมันออกผลเป็นทะลาย รูปที่ 1 และ 2 แสดงลักษณะของผลปาล์ม จะเห็นว่าส่วนของผลมีเปลือกชั้นนอก (exocarp) และ ชั้นกลาง (mesocarp) ที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันซึ่งเมื่อคั้นออกมาได้ผลผลิตเรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil:CPO) โดยมีไขมันรวมประมาณ 73.2% และ 32.6% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

สำหรับชั้นในของผล (endocarp) จะหุ้มด้วยกะลา (shell) ภายในประกอบด้วยน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากที่ได้จากเปลือกนอก เมื่อคั้นออกมาเรียกผลผลิตส่วนนี้ว่าน้ำมันเมล็ดใน (kernel oil)



รูปที่ 1 ลักษณะของผลปาล์ม

ที่มา: <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]



รูปที่ 2 โครงสร้างของผลปาล์ม

ที่มา: <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]

## ความสำคัญทางเศรษฐกิจของปาล์มน้ำมัน

น้ำมันปาล์มในประเทศไทยมีการผลิตสูงเป็นอันดับ 4 ของโลก [1] รองจากมาเลเซีย อินโดนีเซีย และ ไนจีเรีย ในปี 2003 มีปริมาณการผลิต 600,000 ตัน และคาดว่าในปี 2004 จะสามารถผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 655,000 ตัน เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ใช้เพื่อการบริโภคอื่นๆ ดังนั้นมากกว่า 80% ของผลผลิตจึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน วานาสปาติ ไอศกรีม ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว เนยโกโก้ ขนมหั้ว ขนมห้าง ฯลฯ

จากการสำรวจในปี 1997 พบว่าความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (health foods) ในประเทศไทย มีมูลค่าสูงถึง 7,600 ล้านบาท และคาดว่าอัตราความต้องการเพิ่มขึ้น 10-20% ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสุขภาพอื่นพบว่า antioxidant vitamins โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $\beta$ -carotenes (provitamin A) และ vitamin E (tocopherols และ tocotrienols) มีปริมาณการนำเข้าสูงที่สุดเนื่องจากมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และเป็น ตัวกลางสำคัญที่รักษาสมดุลการทำงานของเซลล์ ปัจจุบันนำมาใช้เป็น active ingredient ของเวชภัณฑ์ (drug products) และ ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ [13] หลากหลายชนิด นอกจากนี้ยังปรากฏในรายงานด้วยว่า ผู้บริโภคนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติมากกว่าสารที่ได้จากการสังเคราะห์เช่นเดียวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในอีกหลายประเทศ ทำให้บริษัทต่างชาตินำมาใช้กำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการขาย ด้วยเหตุนี้ปาล์มน้ำมันจึงมีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อสกัดสารมูลค่าเพิ่มจากธรรมชาติดังกล่าว

เนื่องจากแหล่งพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดิบที่ได้มาจากฟอสซิลเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติของโลกที่มีปริมาณจำกัด จึงมีความพยายามค้นหาแหล่งพลังงานอื่นที่สามารถสร้างหรือเพาะปลูกขึ้นทดแทน ในการนี้ น้ำมันปาล์มนับว่ามีศักยภาพสูงยิ่งที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันสามารถนำน้ำมันปาล์มมาผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรมแล้ว

นอกจากนั้นน้ำมันปาล์มยังสามารถนำไปเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์อื่นอีกหลายชนิด เช่น กลีเซอรอลไขมันซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่ fatty acid, fatty alcohol ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงซักฟอก (detergent), fatty acid amides ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารลดแรงตึงผิว (surfactants) สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตเยื่อกระดาษ และ ไม้อัด fatty

amines ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโพลิเมอร์ น้ำมันหล่อลื่น glycerol ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง [4] สำหรับเศษเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ทะลาย ใบ และ กะลา ก็ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง [14] ได้อีกด้วย

### กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ดำเนินการโดยนำผลปาล์มทั้งทะลายเข้าสู่หม้ออบความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C ความดัน 45 psi เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นจึงบีบน้ำมันออกมา

ในปี 2002 Meireles [15] ทำการทดลองเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันปาล์มสายพันธุ์ *Guilielma speciosa* จากประเทศบราซิล โดยใช้ hexane เป็นตัวทำละลาย เปรียบเทียบกับการใช้ CO<sub>2</sub> ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤติ (supercritical fluid) พบว่า ผลผลิตที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีหลังมีปริมาณของกรด oleic และ ของกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าการสกัดด้วย hexane นอกจากนี้ยังรายงานว่า ความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการสร้างสภาวะเหนือจุดวิกฤติมีผลต่อส่วนประกอบของน้ำมันที่สกัดออกมาด้วย คือ เมื่อใช้ความดันสูง (30 MPa, 318K) ผลผลิตจะมีส่วนประกอบของ C16:0 และ C18:1 ในปริมาณสูงกว่าการใช้ความดันต่ำ (25 MPa, 323K)

### ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil: CPO)

น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์มากกว่า 90%, กรดไขมันอิสระ 3-5%, กลีเซอไรด์ชนิดอื่น และ minor component ที่ไม่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบเช่น  $\beta$ -carotenes (provitamin A), vitamin E (tocopherols และ tocotrienols) ประมาณ 1% สารประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเหล่านี้พบในน้ำมันปาล์มด้วยระดับความเข้มข้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น [3]

กรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่ คือ กรด palmitic (C16:0) และ กรด oleic (C18:1) ซึ่งพบในปริมาณ 44% และ 39.2% ของกรดไขมันรวม ตามลำดับ โดยที่มีกรดไขมันชนิดอื่นประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย เช่น กรด Lauric (C12:0) 0.2%, กรด myristic (C14:0) 1.1%, กรด stearic (C18:0) 4.5%, กรด linoleic (C18:2) 10.1%, และ อื่นๆอีก 0.9% [7]

อย่างไรก็ตามยังมีผู้รายงานถึงปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ในปี 2002 Moreira และคณะ [6] รายงานว่ากรด palmitic (C16:0) และกรด oleic (C18:1) ซึ่งพบในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณ 36.9% และ 45.3% ของกรดไขมันรวม ตามลำดับ ในขณะที่

Suresh และคณะ [16] รายงานว่าในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของกรด palmitic (C16:0) และกรด oleic (C18:1) อยู่ 46% และ 39% ตามลำดับ

นอกจากนี้ในปี 1985 Downes และคณะ [11] ได้รายงานถึงส่วนประกอบและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากพื้นที่ปลูกที่ต่างกัน คือ Malaysia, Ivory coast, Sumatra, Papua New Guinea, Solomon Island, New Britain และ Nigeria พบปริมาณของกรด palmitic และ กรด oleic อยู่ในช่วง 43.1-46.3% และ 36.7-40.8% ตามลำดับ นอกจากนี้ Downes และคณะ ได้เปรียบเทียบปริมาณของกรด palmitic ที่รายงานจาก madri, porim และ codex ว่ามีค่าอยู่ในช่วง 41.1-47, 41.8-46.8 และ 32-59% ตามลำดับ

### **คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบและการแยกสเตอรินและโอลีน**

คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตออกมาจะต้องมีคุณภาพได้มาตรฐาน จึงจะขายได้ราคาดี โดยการตัดสินคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบในระดับอุตสาหกรรมวัดจากกรดไขมันอิสระ (FFA) ความชื้นและสิ่งสกปรก เนื่องจากความชื้นและสิ่งสกปรกเป็นสาเหตุให้กรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น น้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพดีควรมีค่ากรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 5 ความชื้นควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.5 และ สิ่งสกปรกมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.05 [17] นอกจากนี้ การวัดคุณภาพน้ำมันปาล์มยังประกอบไปด้วยค่าต่างๆดังนี้

1. ค่าไอโอดีน (Iodine Value, IV) เป็นตัววัดปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์ม ค่าที่วัดมีหน่วยเป็นน้ำหนักเป็นกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน 100 กรัม ค่าไอโอดีนควรอยู่ระหว่าง 52-55

2. ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value, SP) เป็นค่าที่ใช้วัดความต้องการทำให้ไขมันกลายเป็นสบู่ ค่าที่วัดมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของ KOH ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน 1 กรัม ค่าสปอนนิฟิเคชันควรอยู่ระหว่าง 195-210

3. ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV) เป็นค่าที่ใช้วัดความหืนของน้ำมันปาล์ม โดยวัดเป็นค่าออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำมัน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ตามมาตรฐานค่านี้ไม่ควรเกิน 10

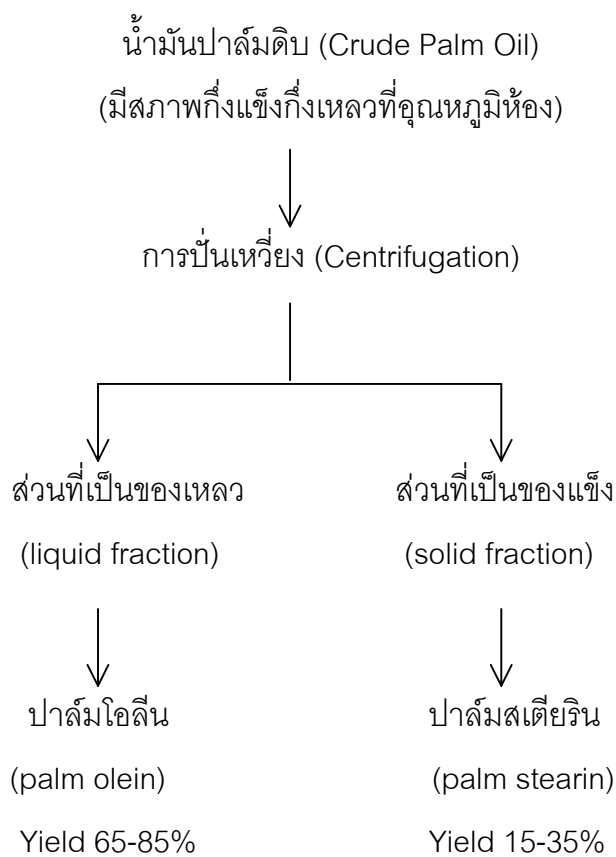
4. ปริมาณเหล็ก (Fe) หมายถึงปริมาณเหล็กที่เจือจางอยู่ในน้ำมันปาล์ม ค่ามาตรฐานไม่ควรเกิน 4 ส่วนในล้านส่วน

5. ทองแดง (Cu) หมายถึงปริมาณทองแดงที่เจือจางอยู่ในน้ำมันปาล์ม ค่ามาตรฐานไม่ควรเกิน 0.2 ส่วนในล้านส่วน

6. สารหนู (arsenic) มีได้ไม่เกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน
7. ตะกั่ว มีได้ไม่เกิน 0.2 ส่วนในล้านส่วน
8. ปริมาณสบู่ มีได้ไม่เกินร้อยละ 0.005

ในการแยกส่วนน้ำมันปาล์มดิบที่นิยมใช้ในปัจจุบันตามการรายงานของ Goh [18] คือ การแยกส่วนโดยใช้ความแตกต่างของจุดหลอมเหลวที่เรียกว่า Fractionation คือ การลดอุณหภูมิเพื่อเหนี่ยวนำให้สารมีสภาพอิ่มตัววดยิ่งเกิดเป็น nuclei ทำให้สารเกิดการตกผลึกแยกออกจากของแข็งซึ่งแบ่งเป็น 3 วิธีคือ dry fractionation, detergent fractionation และ Solvent fractionation โดยทั้ง 3 แบบเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างช้าๆ เหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกทำให้เกิดการแยกออกของสารที่จุดหลอมสูงกว่าสารที่จุดหลอมต่ำกว่า (ส่วนประกอบของแข็งนี้เรียกว่า stearin และส่วนประกอบเป็นของเหลวเรียกว่า olein)

น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-30°C) มีสภาพกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว ปริมาณ และ คุณลักษณะของของแข็งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และ polarity ของตัวกลางทำละลายที่เติมลงไป การแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกจากกันอาจทำได้ทั้งกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ หรืออาจใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้การแยกส่วนของน้ำมันปาล์มอาศัยทั้งกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ โดยส่วนที่ได้จากการกรองที่อุณหภูมิห้อง (25°C) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งเรียกว่า สเตียรีน (stearin) และส่วนที่ผ่านการกรองที่มีลักษณะเป็นของเหลวเรียกว่า โอลีน (olein) ดังแสดงในรูปที่ 3



**รูปที่ 3** กระบวนการทางฟิสิกส์เพื่อแยกสเตียรีนและโอเลอินจากน้ำมันปาล์มดิบ  
ที่มา : คู่มือน้ำมันปาล์มและการจัดสวน [3]

ในทางปฏิบัติการแยกทางฟิสิกส์นิยมใช้วิธีการกรอง (filtration) หรือ วิธีปั่นเหวี่ยง (centrifugation) และ การแยกทางเคมีอาจดำเนินการโดยใช้ตัวกลางทำละลายที่มี polarity ต่างกัน (แสดงข้อมูลในภาคผนวกที่ 6) หรือ ใช้สารซักฟอก (detergent) โดยปรากฏรายงานผลการศึกษาที่ผ่านมามีดังต่อไปนี้

ในปี 2002 Chow และ Ho [19] ทำการแยกสเตียรีนและโอเลอินจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ methanol และ chloroform เป็นตัวกลางทำละลาย และอาศัยการปั่นเหวี่ยง เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์พบว่า 84% ของน้ำหนักตัวอย่าง ประกอบด้วย neutral lipids (83% triglycerides, 8% diglycerides, 0.5% monoglycerides และ 8.0% free fatty acids) และ 14% เป็น complex lipids (6% glycolipids และ 10% phospholipids) เมื่อนำไป dry fractionation) และ การลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ (slow dry fractionation) ส่วนกระบวนการ

ที่ 2 อาศัยการลดอุณหภูมิเหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกร่วมกับการใช้สารซักฟอก (detergent fractionation) วิเคราะห์กรดไขมันพบว่าส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรด palmitic (C16:0) และ กรด oleic (C18:1)

ในปี 2004 Kellens และคณะ [20] รายงานปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ ที่ผ่านกระบวนการ refining, bleaching และ deodorized (RBD) และ สเตียรีนกับโอเลิน แยกจาก RBD ที่สภาวะอุณหภูมิต่างกัน คือ ที่ 9, 11, 13, 15 และ 18°C โดยวิเคราะห์ ปริมาณของกรดไขมันด้วย GC พบว่า ใน RBD มีปริมาณของกรด palmitic และ กรด oleic 44.2% และ 40.4% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ในสเตียรีนกับโอเลิน พบว่า ปริมาณของกรด palmitic และ กรด oleic อยู่ในช่วง 49-54% และ 34-38% กับ 3.7-4.6% และ 44-46%ตาม ลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณของกรด arachidic acid (C20:0) สูงถึง 7.5% ในสเตียรีนที่แยกจากอุณหภูมิ 11 °C ซึ่งไม่สามารถตรวจพบใน RBD

จากรายงานของ Goh ปี 2002 [18] แสดงคุณลักษณะของสเตียรีนแยกจากน้ำมัน ปาล์มดิบด้วย acetone โดยการกรอง ซึ่งกระบวนการทั้งหมดเริ่มต้นจากผสม acetone ลงใน น้ำมันอัตราส่วน 4:1 แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกที่ 0°C นำไปผ่านการกรอง หลังจากนั้นนำ สเตียรีนมาหลอมที่อุณหภูมิ 40°C ผสม acetone ลงในน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนเดิม แต่สภาวะ นี้ใช้อุณหภูมิเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกที่ 20-24°C แล้วนำไปกรอง พบว่า สเตียรีนที่ได้มีจุดหลอม เหลวสูง (55-60 °C) มีปริมาณของกรด palmitic มากกว่า 80% และมีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 10 แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ให้ผลได้ของสเตียรีนไม่ถึง 10%

Deffense และ Tirtiaux (1985) [10] ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ที่ได้จาก กระบวนการแยกที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการแรกอาศัยการลดอุณหภูมิเหนี่ยวนำให้เกิด การตกผลึกของของแข็งแยกออกจากส่วนของเหลว ซึ่งแบ่งย่อยได้ 2 วิธีการ คือ การลด อุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วด้วย Tritiaux จากผลการทดลองพบว่า สเตียรีน และ โอเลินที่ได้จาก แต่ละกระบวนการมีคุณลักษณะ ร้อยละผลได้ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่างกัน โดย สเตียรีนที่ได้จากกระบวนการที่ 2 มีลักษณะของผลึกที่เล็ก มีค่าใช้จ่ายสูง แต่ให้ร้อยละผลได้ ของโอเลินสูงถึง 77-83% ในขณะที่แบบที่แรกการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วให้ร้อยละผลได้ ของโอเลิน 60-63% และ การลดอุณหภูมิลงอย่างช้าด้วย Bernardini ซึ่งให้ร้อยละผลได้ของโอ เลิน 60-72% อย่างไรก็ตามไม่ว่าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วหรือช้าสเตียรีนที่ได้ก็มีลักษณะของ ผลึกที่ใหญ่



ปี 1977 Moreira และ คณะ [6] ศึกษาอิทธิพลของตัวกลางทำละลาย และ อุณหภูมิที่มีผลต่อการแยกสเตียรินออกจากโกลินของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวกลางทำละลาย 2 ชนิดผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างกัน 8 ระดับ (ไม่ระบุอัตราส่วน) และทดลองที่อุณหภูมิ 10-20°C แยกทั้งสองส่วนออกจากกันโดยวิธีปั่นเหวี่ยง พบว่า ส่วนของโกลินมีความเข้มข้นของวิตามินอี (tocopherols) แคโรทีน (carotenes) และ กรด linoleic สูงกว่าที่วัดได้ในน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น นอกจากนี้ได้ทำการทดลองถึงผลของอัตราส่วนของ ตัวกลางทำละลาย : น้ำมันปาล์มดิบ ต่อปริมาณของ olein โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนต่างกัน 7 อัตราส่วน คือ 0:1 (ไม่ใช่ตัวกลางทำละลาย), 1:1, 1:1.6, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 แยกแต่ละส่วนโดยใช้เครื่อง alfa – laval รุ่น LAPX202 ที่อุณหภูมิ 29 °C พบว่า การใช้อัตราส่วนของ ตัวกลางทำละลาย : น้ำมันปาล์มดิบ ที่ 2:1 ให้ปริมาณของ olein มากที่สุด คือ 73.1% ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้อัตราส่วนที่ 1:1 ซึ่งให้ปริมาณของโกลิน 72.5%

#### **ระดับความเป็นพิษของตัวกลางทำละลาย**

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ต้องตระหนักถึงเมื่อมีการใช้ตัวกลางทำละลายเพื่อแยกสเตียริน และ โกลินโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการนำผลผลิตมาใช้เพื่อการบริโภค คือ ระดับความเป็นพิษของสารตกค้าง ในทางสากลได้กำหนดระดับความเป็นพิษของสารประกอบชนิดต่างๆ เป็นค่า lethal dose 50 (LD<sub>50</sub>) ซึ่งหมายถึงปริมาณที่ทำให้สัตว์ทดลองตายจำนวนครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนเริ่มต้นที่ได้รับสารนั้นเพียงครั้งเดียว โดยกำหนดระยะเวลาเฝ้าสังเกตการตายภายใน 2 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากสัตว์ทดลองชนิดเดียวกันอาจมีน้ำหนักตัวแตกต่างกันหรือในบางกรณีอาจทำการทดสอบกับสัตว์ต่างชนิดกัน ดังนั้นการกำหนดมาตรฐานจึงต้องบ่งเป็นปริมาณของสารนั้นๆต่อน้ำหนัก รวมทั้งวิธีการได้รับสารของสัตว์ทดลองที่ใช้ เช่น LD<sub>50</sub> (oral) ของ benzene ในหนู (rat) เท่ากับ 4,900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้มาตรฐานสากลยังกำหนดระดับความเป็นพิษของสารไว้ 4 ระดับตั้งแต่มากไปหาน้อยดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับข้อมูลที่แสดงถึงระดับความเป็นพิษของตัวทำละลายแต่ละชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 7

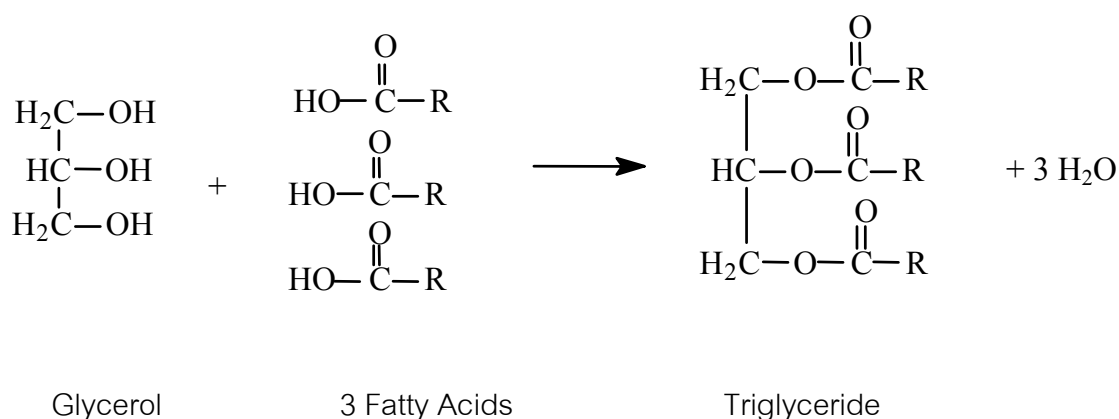
ตารางที่ 1 ระดับความเป็นพิษของสารเคมีเมื่อหนุ่ดลองได้รับทางปากเพียงครั้งเดียว

Toxicity rating	Commonly used term	mg/kg
1	Extremely toxic	1 or less
2	Highly toxic	1-50
3	Moderately toxic	50-500
4	Slightly toxic	500-5000
5	Practically non-toxic	5000-15,000
6	Relatively harmless	15,000 or more

ที่มา : <http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html> [21]

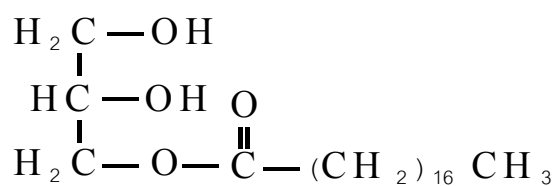
### คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของกลีเซอไรด์

กลีเซอไรด์เกิดจากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ระหว่างหมู่ alcohol (-OH) ของ glycerol และ carboxylic acid (-COOH) ของกรดไขมัน เมื่อนำ glycerol 1 mole ทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 1, 2 และ 3 mole ผลผลิตที่ได้ คือ โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride), ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5, 6 และ 7



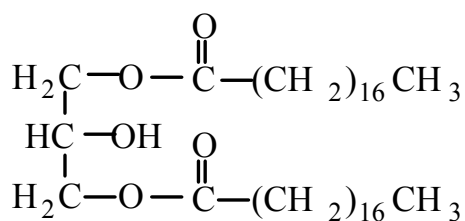
### รูปที่ 4 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification)

ที่มา : <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]

Monoglyceride ( $\alpha$  - monostearin)

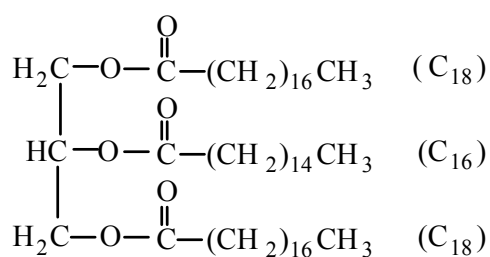
**รูปที่ 5** โครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride)

ที่มา: <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]

Diglyceride ( $\alpha, \alpha'$  - distearin)

**รูปที่ 6** โครงสร้างของไดกลีเซอไรด์ (diglyceride)

ที่มา: <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]

Triglyceride ( $\beta$  - palmityl distearin)

**รูปที่ 7** โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

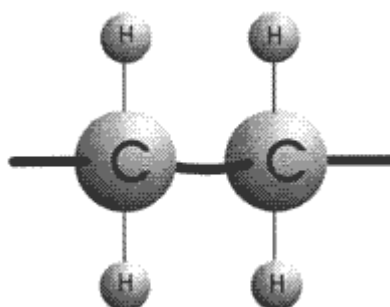
ที่มา: <http://www.mpopc.org.my/qrpof.htm> [12]

### ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของไตรกลีเซอไรด์

เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม ดังนั้นคุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์มจึงขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบซึ่งอาจแตกต่างกันได้ด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

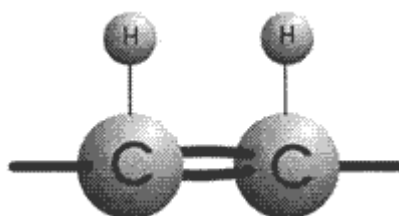
#### 1. ระดับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมัน

กลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว saturated fatty acid (ดังแสดงในรูปที่ 8) สูงจะมีจุดหลอมเหลว (melting point) สูงด้วย ดังนั้น tripalmitin (C16:0 เป็นองค์ประกอบ) และ tristearin (C18:0 เป็นองค์ประกอบ) จึงมีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในทางที่กลับกันกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว unsaturated fatty acid (ดังแสดงในรูปที่ 9) สูงจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้น triolein (C18:1 เป็นองค์ประกอบ) และ trilinolein (C18:2 เป็นองค์ประกอบ) จึงมีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง คุณสมบัตินี้สอดคล้องกับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 8 พันธะในกรดไขมันอิ่มตัว

ที่มา : [http://www.iseo.org/ffo\\_6-7.htm](http://www.iseo.org/ffo_6-7.htm) [22]



รูปที่ 9 พันธะในกรดไขมันไม่อิ่มตัว

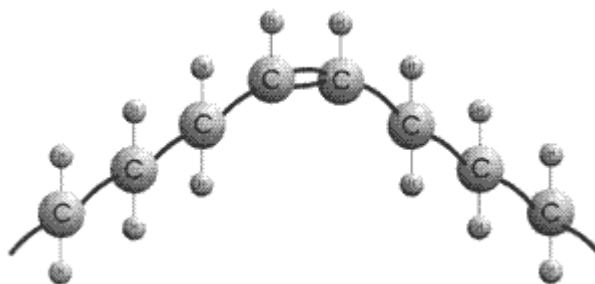
ที่มา : [http://www.iseo.org/ffo\\_6-7.htm](http://www.iseo.org/ffo_6-7.htm) [22]

## 2. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงหรือน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า (ดังแสดงในตารางที่ 2)

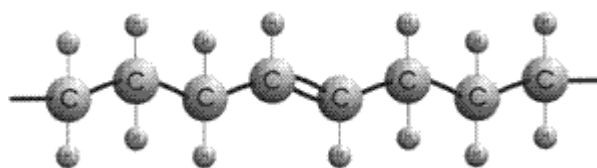
## 3. โครงสร้างไอโซเมอร์ (isomer)

สารที่เป็น isomer กัน คือ สารที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีโครงสร้างที่ต่างกัน ทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกันด้วย เช่น *Cis*-oleic acid (C18:1) มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า *Trans*-elaidic acid (C18:1) (ดังแสดงในตารางที่ 1) ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ได้แสดงโครงสร้างของสารที่เป็น isomer



รูปที่ 10 โครงสร้างไอโซเมอร์ชนิด Cis

ที่มา : [http://www.iseo.org/ffo\\_6-7.htm](http://www.iseo.org/ffo_6-7.htm) [22]



รูปที่ 11 โครงสร้างไอโซเมอร์ชนิด Trans

ที่มา : [http://www.iseo.org/ffo\\_6-7.htm](http://www.iseo.org/ffo_6-7.htm) [22]

## ตารางที่ 2 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ

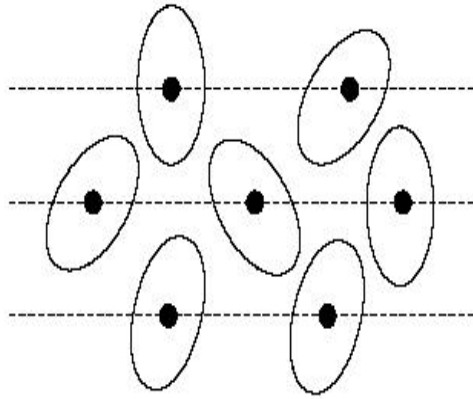
กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)
Lauric acid (C12:0)	44.2
Myristic acid (C14:0)	53.9
Palmitic acid (C16:0)	63.1
Stearic acid (C18:0)	69.6
<i>Cis</i> -Oleic acid (C18:1)	13.4
<i>Trans</i> -Elaidic acid (C18:1)	46.5*
Linoleic acid (C18:2)	-17

ที่มา : Biochemistry Lehninger [23]

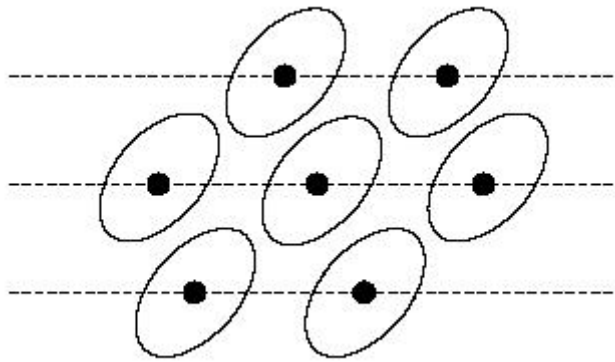
\*ที่มา : <http://www.abscott.com.au/chemistry.html> [24]

### อันยรูปของไตรกลีเซอไรด์

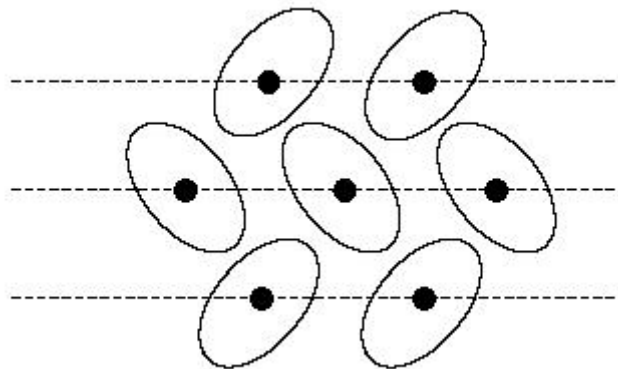
คุณลักษณะของไตรกลีเซอไรด์ในสเต็มยรินที่ได้จากกระบวนการแยกทางฟิสิกส์และเคมีอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติของไตรกลีเซอไรด์ โมเลกุล โครงสร้างดังกล่าวนี้เรียกว่าอันยรูป (polymorphism) การจัดเรียงนี้ตัวสามารถเกิดได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ตัวทำละลาย อัตราการตกผลึก และสารเจือปน เป็นต้น [25] แต่อย่างไรก็ตามการจัดเรียงตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่พบทั่วไปมี 3 แบบ [26] คือ alpha ( $\alpha$ ) เป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลเกาะกันอย่างหลวมๆ มีความเสถียรต่ำสุด แบบ beta ( $\beta$ ) เป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลเกาะกันแน่น และ แบบ beta-prime ( $\beta'$ ) เป็นวัฏภาคที่มีจุดหลอมเหลวสูงและยังมีความเสถียรสูงสุด ซึ่งโครงสร้างของการจัดเรียงตัวและจุดหลอมเหลวของผลึก ทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 12 และ รูปที่ 13 ตามลำดับ



การจัดเรียงผลึกแบบ alpha ( $\alpha$ )



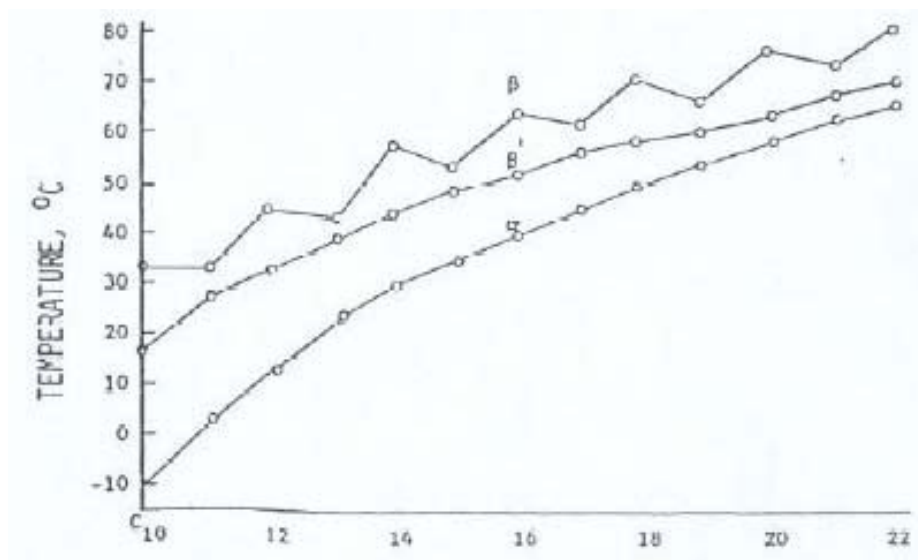
การจัดเรียงผลึกแบบ beta ( $\beta$ )



การจัดเรียงผลึกแบบ beta-prime ( $\beta'$ )

รูปที่ 12 แสดงการจัดเรียงผลึกของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : <http://class.fst.ohio-state.edu/fst821/Lect/polymor.pdf> [27]



จำนวนคาร์บอน

รูปที่ 13 แสดงจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ที่จำนวนคาร์บอนต่างๆ

ที่มา : <http://class.fst.ohio-state.edu/fst821/Lect/polymor.pdf> [27]

จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอันตรูปเริ่มเกิดจากอุณหภูมิต่ำไปสูง ดังนี้

Alpha ( $\alpha$ )  $\longrightarrow$  Beta-prime ( $\beta'$ )  $\longrightarrow$  Beta ( $\beta$ )  $\longrightarrow$  ของเหลว

พบว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวชนิดเดียวกันมักมีการจัดเรียงตัวของผลึกในลักษณะของ  $\beta$  ส่วนไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวต่างชนิดกันมักมีการจัดเรียงตัวของผลึกในลักษณะของ  $\beta'$  โดยอันตรูปนี้จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนและความสมมาตรของไตรกลีเซอไรด์ ในกรณีที่ไฮคาร์บอนเป็นเป็นจำนวนคู่และมีไตรกลีเซอไรด์ที่สมมาตรอันตรูปนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว ในทางกลับกันในกรณีที่ไฮคาร์บอนเป็นเป็นจำนวนคี่และมีไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่สมมาตรอันตรูปก็จะเกิดช้า [26]

ในปี 2005 Edward และ คณะ [28] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนสภาวะของอันตรูปจาก  $\beta' \longrightarrow \beta$  ของของผสม 5 ตัวอย่าง โดยของผสมที่ได้เกิดจากการนำเอา น้ำมันจากเมล็ด rapeseed, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันมะพร้าว มาผสมในอัตราส่วนต่างๆ (ไม่



ระบุอัตราส่วนที่ใช้ในการผสม) พบว่าการที่ของผสมจากตัวอย่างที่ 2 และ 5 มีปริมาณของกรด palmitic มากกว่าของผสมจากตัวอย่างที่ 1, 3 และ 4 ไม่ได้มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนสถานะของอันยรูป แต่อย่างไรก็ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของกรด stearic และ *trans-elaidic* ในของผสมตัวอย่างที่ 1, 3 และ 4 ก็เป็นการเพิ่มความเสถียรภาพให้กับอันยรูปแบบ  $\beta'$