



การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และพฤติกรรมการ  
ตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร



การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และ  
พฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต  
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

CHARATERIZATION OF FATTY ACID AND TRIACYLGLYCEROL COMPOSITIONS,  
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND CRYSTALLIZATION AND MELTING  
BEHAVIOR OF COCONUT TESTA OIL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science FOOD TECHNOLOGY  
Department of FOOD TECHNOLOGY  
Silpakorn University  
Academic Year 2022  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเยื่ออะลามะพรั่ว

โดย นางสาวอรพรรณ ศิริจิตร

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. โสภาค สอนไว

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

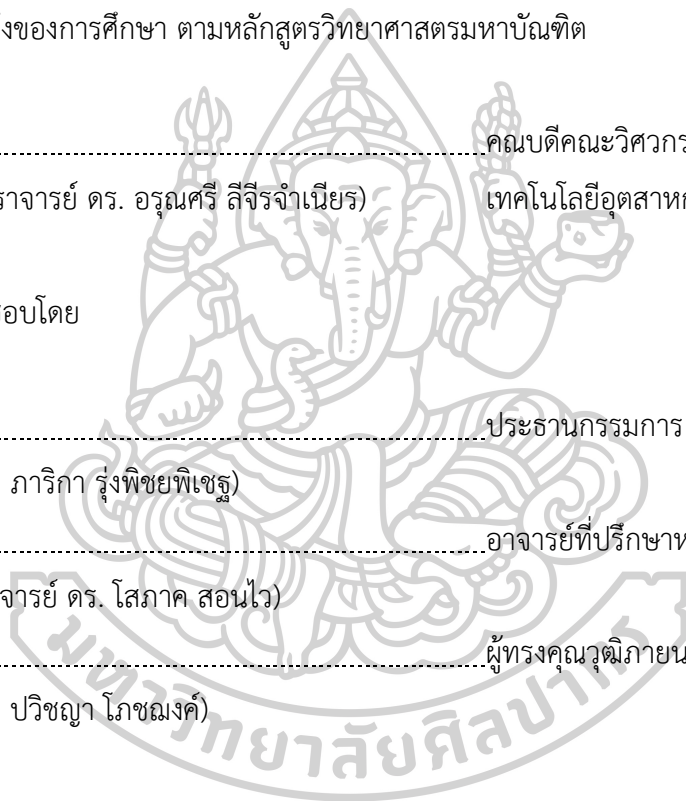
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจิระจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ภาวิกา รุ่งพิชัยพิเชฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. โสภาค สอนไว)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(อาจารย์ ดร. ปวีณา โภชฌงค์)



640920032 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, น้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว, คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ, กรดไขมัน, ไตรกลีเซอไรด์, การตกผลึก, การหลอมเหลว, สารประกอบฟีนอลิก, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

นางสาว อรพรรณ ศิริจิตร: การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และพฤติกรรมตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. โสภาค สอนไว

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้รับการรายงานว่ามีความประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมัน มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง และ ลดอาการป่วยเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบส่งผลให้ความต้องการบริโภคน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพิ่มสูงขึ้น ในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยทั่วไปแล้วส่วนของเยื่อกะลามะพร้าวไม่ได้นำมาใช้ในการสกัดน้ำมันด้วย ทำให้เกิดเยื่อกะลาเป็นของเหลือทิ้งในปริมาณมาก ซึ่งเยื่อกะลามะพร้าวเป็นเยื่อสีน้ำตาลที่ห่อหุ้มติดกับเนื้อมะพร้าว ปกติแล้วจะถูกนำไปขายในราคาต่ำเพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์หรือถูกทิ้งโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ทั้งที่ในเยื่อกลานั้นมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว (CTO) ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ พฤติกรรมตกผลึกและการหลอมเหลว ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ผลิตจากส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าว ได้แก่ เนื้อมะพร้าว, เนื้อมะพร้าวติดเยื่อกะลามะพร้าว และน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี พบว่า CTO มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) และค่าไอโอดีน (IV) สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ แต่มีค่าสaponification (SV) ที่ต่ำกว่าสืบเนื่องไปยังองค์ประกอบกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างจากตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ โดย CTO มีกรดไขมันชนิดปาล์มมิติก โอลิสิก และลิโนเลอิก ในปริมาณสูง ส่งผลต่อองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ด้วยเช่นกันโดย CTO ประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิด LaLaO, LaMM, LLaO, LaMO, LaMP, MPL และ LaOO สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ จึงส่งผลไปยังพฤติกรรมตกผลึกและการหลอมเหลว โดย CTO มีช่วงการตกผลึกและหลอมเหลวที่กว้าง และยังพบว่าที่อุณหภูมิ 25-26 °C CTO มีค่าปริมาณไขมันแข็ง (SFC) อยู่ในช่วง 6-10 % ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ และการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (RSA) พบว่าค่า TPC และ RSA มีความสัมพันธ์กัน โดย RSA เพิ่มขึ้นตามปริมาณ TPC โดยที่ CTO มีปริมาณ TPC เท่ากับ 1.52 mg GAE/ 100g และ RSA 25.16 % จากการศึกษาลักษณะสัณฐานและโครงสร้างของผลึก

พบว่า ผลึกของ CTO มีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ และมีโครงสร้างผลึกรูปแบบ  $\beta'$  เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติและคุณสมบัติที่ต่างไปจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ จึงควรมีการสกัดน้ำมันจากเยื่อกะลามะพร้าวมาใช้ในทางการค้าเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์



640920032 : Major FOOD TECHNOLOGY

Keyword : virgin coconut oil, coconut testa oil, physicochemical properties, fatty acid, triglyceride, crystallization, melting, phenolic compound, Antioxidant activity

MISS Auraphan SIRICHITRA : Charaterization of fatty acid and triacylglycerol compositions, physicochemical properties and crystallization and melting behavior of coconut testa oil Thesis advisor : Associate Professor Sopark Sonwai

Virgin coconut oil has been reported to provide many health benefits such as increasing the fat metabolite, having high antioxidant, being anti-cancer and decreasing the chance of having cardiovascular disease. As a result, the consumption of virgin coconut oil has increased. In the process of virgin coconut oil production, the coconut testa is removed from the coconut kernel and only the kernel is used to extract the oil. This leads to a large amount of coconut testa being discarded as waste. In general, the testa, which has a high oil content, is either used as low-value feed ingredient or simply discarded. This research aimed to study the physicochemical properties, fatty acid and triglyceride compositions, crystallization and melting behavior, total phenolic content and antioxidant activity of coconut testa oil (CTO) in comparison with virgin coconut oil that produced from coconut kernel (CKO), virgin coconut oil from coconut kernel with testa (VCO) and refined coconut oil (CNO). It was found that CTO had highest free fatty acid (FFA) and iodine value (IV) but lowest in saponification value (SV) resulted from different fatty acid and triglyceride compositions compared with other oil samples. CTO showed high content of palmitic, oleic and linoleic acids, highest content of LaLaO, LaMM, LLaO, LaMO, LaMP, MPL and LaOO. It exhibited wide range of crystallization and melting temperature. At 25-26 °C, solid fat content of CTO was in a range 6-10 % which was highest. CTO had 1.52 mg GAE/100 g total phenolic content (TPC) and 25.16 % radical scavenging activity (RSA), which were highest amongst other samples. The fat crystal size of CTO was smallest and its polymorphism was  $\beta'$  crystal structure same as other samples. Therefore, CTO with its higher antioxidant activity and different properties compare with regular virgin coconut oil and refined coconut oil, should be extracted oil from coconut testa for utilization of this by-product from coconut oil



production



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความกรุณาจาก รศ.ดร. โสภาค สอนไว ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ แนวทางในการดำเนินการวิจัย พร้อมทั้งตรวจสอบและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และตรวจสอบให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบริษัททรอปิคานา ออยล์ จำกัด และโครงการทุนพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่อ อุตสาหกรรมที่ให้ทุนวิจัยสนับสนุนการจัดดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวศิริจิตรที่ให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

นางสาว อรพรรณ ศิริจิตร



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะพร้าว.....	3
2.2 น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil).....	5
2.2.1 องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าว.....	8
2.3 เยื่อกะลามะพร้าว.....	12
2.4 สารประกอบฟีนอลิก.....	13
2.5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมัน.....	15
2.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	15
2.5.1.1 การตกผลึก (Crystallization).....	15

2.5.1.2 โครงสร้างผลึก (Polymorphism).....	18
2.5.1.3 จุดหลอมเหลว (Melting point) .....	20
2.5.2 คุณสมบัติทางเคมี .....	21
2.5.2.1 ปฏิกริยาไลโปไลซิส (Lipolysis).....	21
2.5.2.2 ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation).....	22
2.5.2.3 ปฏิกริยาการหืน (Rancidity) .....	25
บทที่ 3 .....	26
วิธีดำเนินการวิจัย .....	26
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	26
3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน.....	26
3.3 การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์.....	27
3.3.1 การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมัน .....	27
3.3.2 การศึกษาองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride).....	27
3.4 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ.....	28
3.4.1 การศึกษาหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA).....	28
3.4.2 การศึกษาหาค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) .....	28
3.4.3 การศึกษาหาค่าสaponification (Saponification value: SV).....	28
3.4.4 การศึกษาหาปริมาณความชื้น (Moisture content: MC).....	29
3.5 การศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลว .....	29
3.6 การศึกษาค่าปริมาณไขมันแข็งในรูปผลึก (Solid fat content: SFC) .....	29
3.7 การศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal crystallization).....	30
3.8 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content: TPC).....	30
3.8.1 การสกัดสารประกอบฟีนอลิก .....	30
3.8.2 การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด.....	31

3.9 การศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Radical scavenging ability: RSA).....	31
3.10 การศึกษาลักษณะพื้นฐานและโครงสร้างของผลึก .....	31
3.10.1 การศึกษาลักษณะพื้นฐานผลึก .....	31
3.10.2 การศึกษาโครงสร้างผลึก.....	32
3.11 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	32
บทที่ 4 .....	33
ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล .....	33
4.1 องค์ประกอบกรดไขมัน .....	33
4.2 องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์.....	35
4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ.....	38
4.4 พฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลว.....	40
4.4.1 พฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลววิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC.....	40
4.4.2 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกและพฤติกรรมการหลอมเหลว.....	44
4.4.3 พฤติกรรมการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ .....	46
4.5 การศึกษาปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....	47
4.6 การศึกษาลักษณะพื้นฐานและโครงสร้างของผลึก .....	49
4.6.1 ลักษณะพื้นฐานและขนาดของผลึก.....	49
4.6.2 ลักษณะโครงสร้างผลึก.....	51
บทที่ 5 สรุป.....	53
รายการอ้างอิง .....	54
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	65
ภาคผนวก ค.....	68

ภาคผนวก ง ..... 70

ภาคผนวก จ ..... 71

ภาคผนวก ฉ ..... 72

ภาคผนวก ช ..... 73

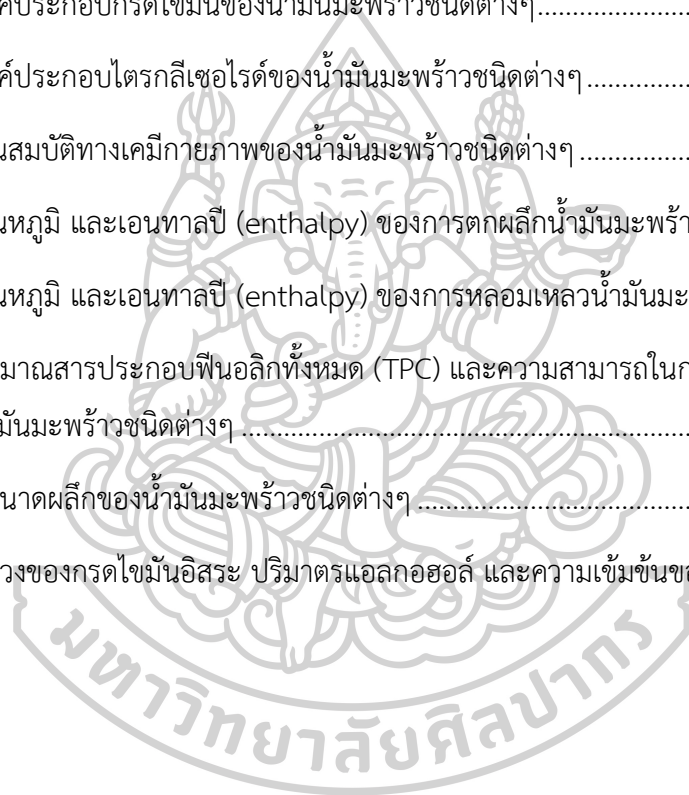
ภาคผนวก ซ ..... 75

ประวัติผู้เขียน ..... 77



## สารบัญตาราง

	หน้า
<u>ตารางที่ 1</u> องค์ประกอบกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	10
<u>ตารางที่ 2</u> องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	11
<u>ตารางที่ 3</u> อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ .....	20
<u>ตารางที่ 4</u> องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ.....	34
<u>ตารางที่ 5</u> องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	36
<u>ตารางที่ 6</u> คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	39
<u>ตารางที่ 7</u> อุณหภูมิ และเอนทัลปี (enthalpy) ของการตกผลึกน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ.....	42
<u>ตารางที่ 8</u> อุณหภูมิ และเอนทัลปี (enthalpy) ของการหลอมเหลวน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	44
<u>ตารางที่ 9</u> ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (RSA) ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	49
<u>ตารางที่ 10</u> ขนาดผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	51
<u>ตารางที่ 11</u> ช่วงของกรดไขมันอิสระ ปริมาตรแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง .....	63



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว.....	4
ภาพที่ 2 วิธีสกัดน้ำมันมะพร้าวแบบต่างๆ .....	7
ภาพที่ 3 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์.....	8
ภาพที่ 4 ไตรกลีเซอไรด์เชิงเดี่ยว (a) และ ไตรกลีเซอไรด์ผสม (b) .....	9
ภาพที่ 5 เยื่อกะลามะพร้าว .....	12
ภาพที่ 6 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไป.....	13
ภาพที่ 7 สารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไปที่พบในน้ำมันมะพร้าว.....	14
ภาพที่ 8 กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก.....	15
ภาพที่ 9 แผนภาพการละลายและสภาพอิมิตัวยิ่งยวด.....	16
ภาพที่ 10 พื้นที่ผิวสัมผัสของผลึก.....	18
ภาพที่ 11 การจัดเรียงตัวของผลึกรูปแบบต่างๆ hexagonal (a); orthorhombic (b) และ triclinic (c).....	19
ภาพที่ 12 โครงสร้างของหมู่กลีเซอรอลและโครงสร้างความยาวของสายโซ่ผลึกไตรกลีเซอไรด์.....	20
ภาพที่ 13 ปฏิกริยาไลโปไลซิส .....	21
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนชั้นพลังงานของ sensitizer .....	24
ภาพที่ 15 กลไกการเกิดปฏิกิริยา photosensitized oxidation .....	24
ภาพที่ 16 เทอร์โมแกรมการตกผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	41
ภาพที่ 17 เทอร์โมแกรมการหลอมเหลวของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ .....	43
ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกของน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิต่างๆ .....	45
ภาพที่ 19 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกของน้ำมันมะพร้าวหลังตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C เวลา 4 ชั่วโมง.....	47



ภาพที่ 20 ผลึกของน้ำมันมะพร้าวหลังจากตกผลึกที่ 12 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยายของ  
เลนส์ไคว้วตู่เท่ากับ 10 เท่า..... 50

ภาพที่ 21 ลักษณะโครงสร้างผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ..... 52



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (virgin coconut oil) คือน้ำมันที่สามารถสกัดได้จากเนื้อมะพร้าว โดยไม่ใช้สารเคมีและไม่ใช้ความร้อนสูง ทำให้ได้น้ำมันที่ใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมของมะพร้าว และมีสมบัติที่ดีของน้ำมันมะพร้าวอยู่ครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทำได้โดยนำเนื้อมะพร้าวที่แกะออกจากกะลาแล้วฝานเอาเยื่อกะลาหรือเทสต์ (testa) ซึ่งเป็นส่วนเยื่อหรือเปลือกบางสีน้ำตาลหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ที่หุ้มอยู่รอบนอกเนื้อมะพร้าว และติดอยู่กับกะลาออก แล้วนำเนื้อมะพร้าวไปตากแห้งหรืออบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C จนได้ระดับความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นนำไปบีบอัดแบบเย็นด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรส (hydraulic press) หรือ สกรูเพรส (screw press) จนได้น้ำมันแล้วนำมากรองทำให้ได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ จากกระบวนการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเยื่อกะลาจะเป็นของเหลือ (by-product) ซึ่งมักจะถูกขายในราคาถูกสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือบางที่ถูกทิ้งไปโดยไม่ใช้ประโยชน์ ทั้งที่เยื่อกะลานั้นสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ การบริโภคน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไม่ทำให้เกิดการสะสมของไขมันเพราะโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันมะพร้าวประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีอะตอมของคาร์บอน 6-12 ตัว ( $C_6-C_{12}$ ) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความยาวขนาดกลาง (medium chain fatty acids: MCFAs) ที่ร่างกายสามารถเผาผลาญเปลี่ยนไปเป็นพลังงานทั้งหมด (Appaiah et al., 2014) และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีกรดลอริก ( $C_{12}$ ) อยู่มากถึง 45-50 % (Sonwai et al., 2017) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายในการต้านเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยังอุดมไปด้วยสารไฟโตสเตอรอล (phytosterols) ต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง และลดการป่วยเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (Duthie et al., 2000) ส่วนน้ำมันที่สกัดได้จากส่วนของเยื่อกะลานั้นนอกจากจะมีประโยชน์ตามที่กล่าวมาเช่นเดียวกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แล้ว ยังมีประโยชน์เพิ่มจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่มากในเยื่อกะลา (Appaiah et al., 2014; Zhang et al., 2016)

บริษัท ทropicana ออยล์ จำกัด เป็นหนึ่งในผู้ผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์รายใหญ่ของไทย มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 280 ตันต่อปี ที่ผ่านมามีบริษัทผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยไม่ได้มีการฝานหรือฉีกเอาเยื่อกะลาออก ทำให้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ของบริษัทมีสีเหลืองทองแตกต่างจาก

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยี่ห้ออื่นเนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำมันเยื่อกะลาปนอยู่ ทางบริษัทต้องการหาจุดขายของผลิตภัณฑ์นี้ที่แตกต่างจากของบริษัทคู่แข่งที่ผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากส่วนของเนื้อมะพร้าวเท่านั้น ทำให้น้ำมันของคุณคู่แข่งใส ไม่มีสี รวมถึงบริษัทต้องการผลิตน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวออกจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัท ซึ่งที่ผ่านมาในอดีตนั้นมีการใช้น้ำมันจากเยื่อกะลามะพร้าวรักษาอาการปวดฟันจากฟันผุ ซึ่งเป็นภูมิปัญญาชาวบ้าน และได้มีรายงานจากงานวิจัยว่าน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (Appaiah และคณะ, 2014; Zhang และคณะ, 2016) ซึ่งตรงนี้น่าจะใช้เป็นจุดขายของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ของบริษัทได้ บริษัทจึงมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำมันจากน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวของบริษัท

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ พฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึกของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว เปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้า

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว เปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้า

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

น้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ พฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ที่แตกต่างจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตจากส่วนของเนื้อมะพร้าว

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ พฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ของบริษัท ทropicana ออยล์ จำกัด ที่ผลิตจากส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าว ได้แก่ เยื่อกะลา, เนื้อมะพร้าว และเนื้อมะพร้าวติดเยื่อกะลา, น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้ายี่ห้ออื่นๆ 4 ยี่ห้อ รวมถึงน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี

## บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 มะพร้าว

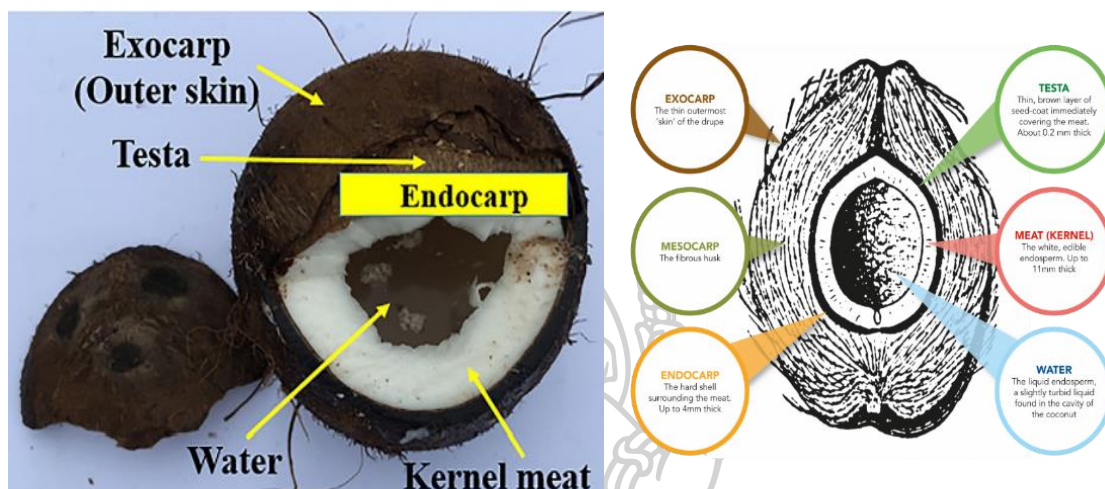
มะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์ม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera*. L. มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาตามหมู่เกาะทางอเมริกาใต้ และแพร่หลายทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น มะพร้าวเป็นพืชที่แพร่หลายในหลายประเทศ เช่น ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ศรีลังกา พม่า อินเดีย และประเทศไทย ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตมะพร้าวอันดับที่ 9 ของโลก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งสิ้นประมาณ 1.2 ล้านไร่ สามารถผลิตมะพร้าวได้ประมาณ 895,000 ตัน (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ, 2562) โดยในประเทศไทยจังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกมะพร้าวที่สำคัญ ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, สุราษฎร์ธานี, นครศรีธรรมราช และชลบุรี ข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตรรายงานว่าเมื่อปี พ.ศ. 2565 มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจซึ่งมีมูลค่าส่งออกเติบโตก้าวกระโดดจากปีที่ผ่านมาถึง 128 % โดยตั้งแต่เดือนมกราคมถึงพฤศจิกายนมีการส่งออกมะพร้าวถึง 689,034 ตัน คิดเป็นมูลค่า 17,748 ล้านบาท ประเภทมะพร้าวที่มีการส่งออก ได้แก่ มะพร้าวน้ำหอม, กะทิ, มะพร้าวอบแห้ง, น้ำมันมะพร้าว และน้ำตาล (ไทยรัฐออนไลน์, 2565)

มะพร้าวถือเป็นแหล่งของพืชน้ำมันที่สำคัญของโลก โดยเนื้อมะพร้าวแห้ง (copra) เป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ในการบริโภคเป็นอาหาร (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544; สมานวนกิจ หลวง, 2497) โดยมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบถึง 65-75 % (DebMandal et al., 2011) สำหรับกลุ่มสินค้าผลิตภัณฑ์มะพร้าว น้ำมันมะพร้าวเป็นสินค้าที่มีสัดส่วนการบริโภคสูงที่สุด โดยผู้เชี่ยวชาญคาดว่ามูลค่าตลาดน้ำมันมะพร้าวจะยังคงมีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 6.37 ในระหว่างปี 2561-2568 (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ, 2562)

สายพันธุ์มะพร้าวที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปมี 2 สายพันธุ์ ได้แก่

- มะพร้าวพันธุ์สูง : มะพร้าวสายพันธุ์นี้เติบโตช้า และมักจะผสมข้ามสายพันธุ์เนื่องจากระยะเวลาการเติบโตของดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียต่างกัน และจะออกผลภายใน 6-10 ปี หลังจากการเพาะ และมีอายุยืนถึง 120 ปี โดยจัดเป็นมะพร้าวเศรษฐกิจที่มักจะใช้เนื้อมะพร้าวแก่ในการประกอบอาหารหรือนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืช

- มะพร้าวพันธุ์แคระ : มะพร้าวสายพันธุ์นี้มีโอกาสผสมตัวเองสูง และจะออกผลภายใน 4-5 ปี หลังจากเพาะ ตัวอย่างของมะพร้าวพันธุ์แคระ เช่น มะพร้าวน้ำหอม ซึ่งนิยมนำมารับประทานสด หรือใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม และส่งออกสู่ต่างประเทศ (Habtemariam, 2019; ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว

ที่มา: Habtemariam (2019) และ APCC (2009)

ส่วนประกอบโดยประมาณของผลมะพร้าวเป็นดังนี้ เปลือก 38 % , เนื้อมะพร้าว 52 % และ น้ำมะพร้าว 10 % มะพร้าวนั้นนิยมนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหาร และเครื่องดื่ม ซึ่งอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และยังมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางอีกด้วย ผลมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายส่วน โดยส่วนที่รับประทานได้ของผลมะพร้าว คือ ส่วน endosperm ได้แก่ เนื้อ และน้ำของมะพร้าว ซึ่งส่วนของเนื้อมะพร้าวนั้นสามารถขูดออกมาแล้วนำไปคั้น หรือ สกัด ด้วยน้ำได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำกะทิ และส่วน mesocarp นั้นเป็นส่วน ของเส้นใย หรือ กาบมะพร้าว ซึ่งมีการนำมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ ส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าวในทางยา เช่น สารสกัดจากเส้นใยของกะลา เนื้อมะพร้าว น้ำมะพร้าว และ กะทิ ในการบรรเทาอาการท้องเสีย อาการอักเสบรวมไปถึงโรคเบาหวานอีกด้วย (Habtemariam, 2019) มากไปกว่านี้เนื้อมะพร้าวแห้ง (copra) เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการสกัดน้ำมัน ซึ่งสามารถสกัดได้หลากหลายวิธี โดยน้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้นั้นสามารถจำแนกได้ตาม วัตถุดิบ และกระบวนการสกัด

## 2.2 น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil)

น้ำมัน และไขมันเป็น 1 ใน 5 อาหารหลัก 5 หมู่ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทำงานต่างๆ ภายในร่างกาย น้ำมัน และไขมันสามารถแบ่งตามองค์ประกอบของกรดไขมันได้ดังนี้ 1.) ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated) 2.) ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated) และ 3.) ไขมันอิ่มตัว (saturated) (Narayanankutty et al., 2018)

น้ำมันมะพร้าวเป็นอีกหนึ่งน้ำมันที่มีการใช้กันมากทั้งในครัวเรือน และอุตสาหกรรม น้ำมันมะพร้าวอุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid: SFA) และกรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acid: MCFA) ที่มีอะตอมของคาร์บอน 6–12 ตัว ซึ่งสามารถเผาผลาญเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ทั้งหมดไม่สะสมในร่างกาย (Appaiah et al., 2014; Hassanien, 2019) น้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดผลิตจากส่วนที่ต่างๆ กันของผลมะพร้าว โดยกระบวนการที่ต่างกัน ได้แก่

- น้ำมันมะพร้าว (copra oil: CO) คือ น้ำมันที่สกัดจาก copra หรือ เนื้อมะพร้าวตากแห้ง ที่ผ่านการทำแห้งด้วยการอบด้วยตู้อบ หรือตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์เพื่อกำจัดความชื้น
- น้ำมันที่ผ่านกรรมวิธี (refined, bleached และ deodorized: RBD) คือ น้ำมันมะพร้าว เช่นเดียวกับ CO ต่างกันที่ต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดอย่างน้อย 3 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาด (refined) ฟอกสี (bleached) และกำจัดกลิ่น (deodorized)
- น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (virgin coconut oil: VCO) คือ น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีที่มีความร้อนสูง และปราศจากการใช้สารเคมี
- น้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว (coconut testa oil: CTO) คือ น้ำมันที่สกัดจากส่วนของ testa หรือ เยื่อกะลามะพร้าว (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าว (Habtemariam, 2019; Hassanien, 2019; นิศากร วรวิทย์ยานันท์ et al., 2550)

กระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าวนั้นมีหลากหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 2 วิธี หลักๆ ได้แก่ วิธีสกัดแบบแห้ง และวิธีสกัดแบบเปียก

1.) วิธีสกัดแบบแห้ง คือ ก่อนการสกัดน้ำมันเนื้อมะพร้าวจะถูกนำไปทำให้แห้ง โดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ หรือ วิธีการทำแห้งอื่นๆ ที่เหมาะสม เนื่องจากในเนื้อมะพร้าวมีส่วนของน้ำอยู่ถึง

ประมาณ 50 % ก่อนการสกัดน้ำมันเนื้อมะพร้าวต้องมีความชื้นไม่เกิน 6 % และสำหรับการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ในขั้นตอนการทำแห้งจะต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60-70 °C จากนั้นนำเนื้อมะพร้าวที่ผ่านการทำแห้งมาบีบสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบแบบสกรู (Jayathilaka et al., 2022; Lalita et al., 2006)

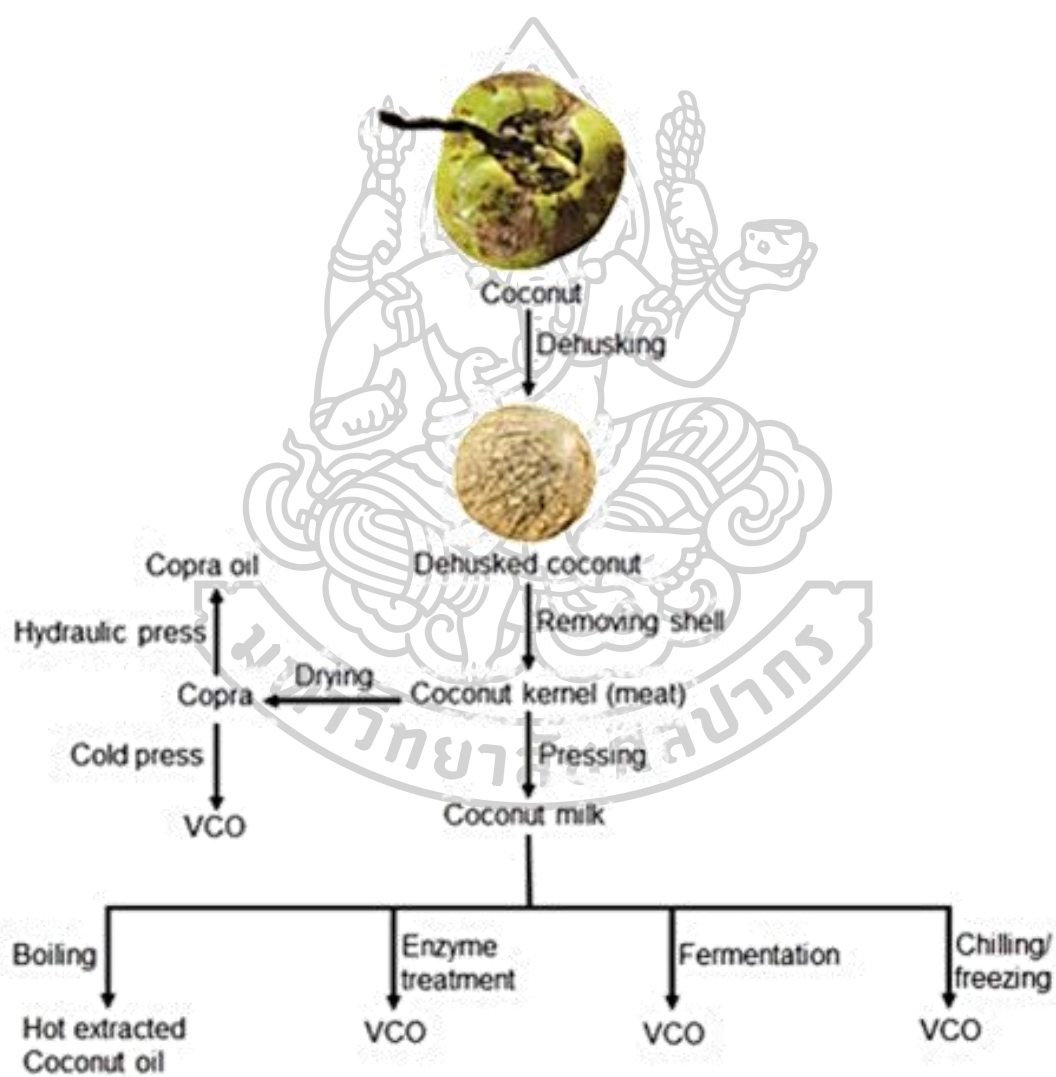
2.) วิธีสกัดแบบเปียก คือ น้ำมันมะพร้าวที่ได้จะสกัดโดยตรงจากส่วนของกะทิ ซึ่งจัดเป็นอิมัลชันที่ประกอบไปด้วย ไขมัน น้ำตาล โปรตีน และสารประกอบฟีนอลิก การสกัดแบบเปียกนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกหลากหลายวิธีดังนี้

2.1) การสกัดแบบเย็น หรือ chilling & centrifugation (C&C) คือ วิธีสกัดที่ไม่มีการใช้ความร้อนเลย โดยเริ่มจากแช่เย็นกะทิที่อุณหภูมิ 2-10 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง จนถึงหนึ่งคืนแล้วกำจัดส่วนของน้ำทิ้งไป จากนั้นนำส่วนของน้ำมันที่แยกได้มาละลายที่อุณหภูมิ 30-60 °C และปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดน้ำที่อาจยังหลงเหลืออยู่ สุดท้ายทำการกรองน้ำมันที่สกัดได้เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ซึ่งวิธีการสกัดนี้เป็นวิธีที่ง่าย และมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าวิธีอื่นๆ (Hassanien, 2019; Jayathilaka & Seneviratne, 2022; Seneviratne et al., 2009)

2.2) การสกัดแบบร้อน คือ การนำกะทิมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-125 °C อย่างน้อย 60 นาที หรือ จนกว่าส่วนของน้ำจะระเหยออกจนหมด ในระหว่างการให้ความร้อนส่วนของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในกะทิจะเสื่อมสภาพ และตกตะกอนลงมาด้านล่างของภาชนะ ความร้อนจากวิธีสกัดนี้สามารถช่วยปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกสู่น้ำมันได้ดีกว่าวิธีสกัดแบบแห้ง (Hassanien, 2019; Jayathilaka & Seneviratne, 2022)

2.3) การหมัก (fermentation: FER) คือ การสกัดน้ำมันโดยอาศัยการทำงานของเชื้อแบคทีเรียตามธรรมชาติ กะทิจะถูกเก็บเอาไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรือ สามารถเก็บได้สูงสุดถึง 45 °C 8-12 ชั่วโมง หรือ นานกว่านั้น เมื่อแบคทีเรีย และเอนไซม์เริ่มทำงานน้ำมันจะค่อยๆ แยกชั้นออกมาจนสามารถดูดแยกออกมาได้ และทำการกรองเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมเป็นลำดับสุดท้าย ในกระบวนการหมักสามารถเติมเชื้อแบคทีเรีย หรือ ปล่อยให้เกิดการหมักโดยธรรมชาติก็ได้ จากรายงานของ Masyithah (2017) ได้มีการใช้เชื้อแบคทีเรีย *Saccharomyces cerevisiae* และ *Lactobacillus plantarum* (strain 1041 IAM) ในการสกัดน้ำมันจากกะทิ นอกจากนี้ก็ยังมีการใช้เชื้อ *L. plantarum*, และ *L. delbrueckii* ในการกระบวนการหมักด้วยเช่นกัน (Hassanien, 2019)

2.4) การสกัดด้วยเอนไซม์ คือ การใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำมันออกจากเซลล์ของเนื้อมะพร้าว น้ำมันสามารถพบได้ในเซลล์พืช ซึ่งผนังเซลล์ของพืชประกอบขึ้นจากคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แมนแนน กาแลคโตแมนแนน อะราบิโนกาแลคแทน เพคติน และโปรตีน (Shah et al., 2005) โดยประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณ 10 % ซึ่ง 50 % ของคาร์โบไฮเดรตเป็นเซลลูโลส และ 75 % ของเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสชนิดแอลฟา ( $\alpha$ -cellulose) (Rosenthal et al., 1996) ในการสกัดน้ำมันจึงสามารถใช้เอนไซม์ในการย่อยผนังเซลล์พืชเพื่อปลดปล่อยน้ำมันที่อยู่ภายในได้



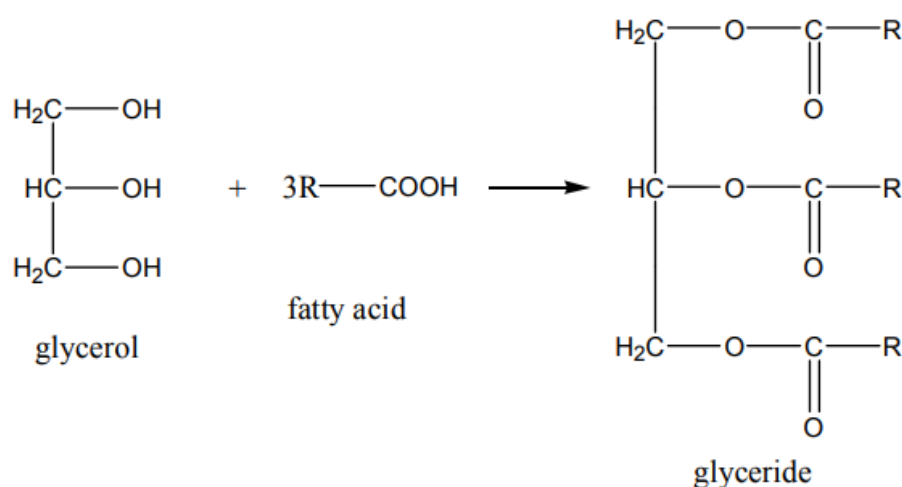
ภาพที่ 2 วิธีสกัดน้ำมันมะพร้าวแบบต่างๆ

ที่มา: Jayathilaka and Seneviratne (2022)



### 2.2.1 องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าว

ไขมัน และน้ำมันเป็นสารประกอบกลุ่มลิพิด ซึ่งสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติจากการประกอบกันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ หรือ ไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับ กรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งกรดไขมันที่มาประกอบกันนั้นสามารถเป็นได้ทั้งชนิดอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว กรดไขมันตามธรรมชาติมีหลากหลายชนิด ทำให้ไขมัน และน้ำมันมีความหลากหลายตามไปด้วย

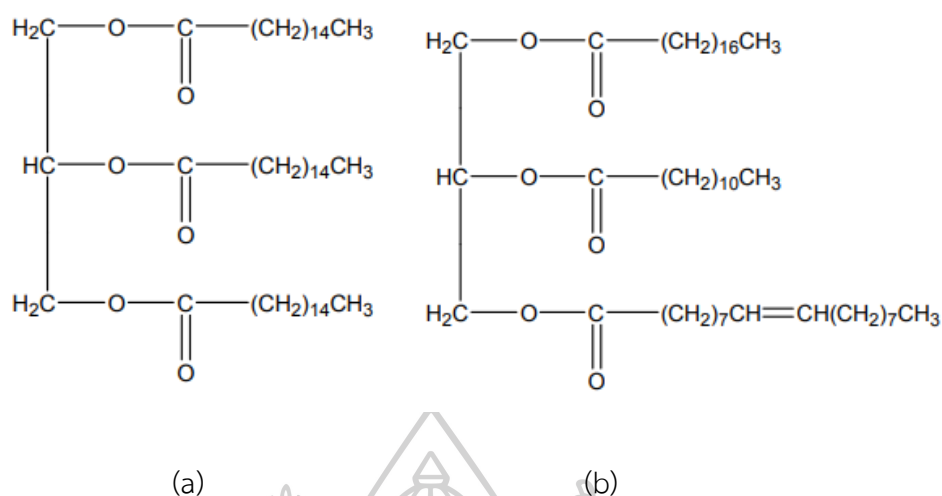


ภาพที่ 3 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: สมหมาย ปะติตั้งโช (2562)

ไตรกลีเซอไรด์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์เชิงเดี่ยว และ ไตรกลีเซอไรด์เชิงผสม โดยไตรกลีเซอไรด์เชิงเดี่ยวจะประกอบไปด้วยกรดไขมันเดียวกันทั้ง 3 ชนิด ในขณะที่ไตรกลีเซอไรด์เชิงผสมนั้นจะประกอบไปด้วยกรดไขมันที่ต่างชนิดกัน ไขมัน และน้ำมันที่พบตามธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นไตรกลีเซอไรด์เชิงซ้อน (สมหมาย ปะติตั้งโช, 2562) คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ และชนิดของกรดไขมันแต่ละตำแหน่ง (Pham et al., 1998)

น้ำมันมะพร้าวอุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (> 90 %) (Chatterjee et al., 2020) กรดไขมันที่พบมากได้แก่ กรดไขมันสายสั้น และกรดไขมันสายกลาง และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เพียงเล็กน้อยเท่านั้นทำให้น้ำมันมะพร้าวมีความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรยากาศ



ภาพที่ 4 ไตรกลีเซอไรด์เชิงเดี่ยว (a) และ ไตรกลีเซอไรด์ผสม (b)

ที่มา: สมหมาย ปะติตั้งโช (2562)

น้ำมันมะพร้าวอุดมไปด้วยกรดไขมันสายสั้น และสายกลางทำให้มวลโมเลกุลเฉลี่ยรวมของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักน้อย ส่งผลให้น้ำมันมะพร้าวมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่ต่ำ ( $\approx 24-27^{\circ}\text{C}$ ) และเริ่มมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างไปจากน้ำมันส่วนใหญ่ คือ น้ำมันจะไม่ค่อยๆ อ่อนตัวลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่จะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งสู่ของเหลวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิแคบ ซึ่งคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของเนยโกโก้ (Rahman, 2000)

กรดไขมันหลักที่พบในน้ำมันมะพร้าว ได้แก่ กรดลอริก ( $\text{C}_{12}$ ) กรดไมริสติก ( $\text{C}_{14}$ ) และกรดปาล์มมิติก ( $\text{C}_{16}$ ) (Rohman et al., 2021) โดยกรดไขมันที่มีสัดส่วนสูงที่สุด คือ กรดลอริก ซึ่งพบมากถึง 45-50 % (Sonwai et al., 2017) และชนิดของกรดไขมันที่พบมากที่สุดคือ กรดไขมันสายกลาง (MCFAS) ได้แก่ กรดคาโปรอิก ( $\text{C}_6$ ) กรดคาพโรลิก ( $\text{C}_8$ ) กรดคาพริก ( $\text{C}_{10}$ ) และกรดลอริก ( $\text{C}_{12}$ ) ซึ่งกรดไขมันสายกลางเหล่านี้ร่างกายสามารถเผาผลาญเปลี่ยนไปเป็นพลังงานได้ทั้งหมด และนอกจากนี้ยังสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว และไวรัส เป็นต้น ซึ่งเป็นผลจากการมีอยู่ของกรดคาพริก และกรดลอริก (Appaiah et al., 2014; Jadhav et al., 2022) ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ ได้แก่ CO, VCO และ RBD ไม่ได้แตกต่างกันมาก ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวชนิด CTO มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวชนิด CO และ VCO และมีปริมาณของกรดไขมันสายกลาง

ต่ำกว่า (Appaiah et al., 2014) องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

กรดไขมัน (%)	CO <sup>a</sup>	RBD <sup>b</sup>	VCO <sup>c</sup>	CTO <sup>d</sup>
กรดคาโพรอิก (C <sub>6</sub> )	-	0.02	0.40-0.60	-
กรดคาไพโรลิก (C <sub>8</sub> )	9.6	7.24	5.00-10.00	1.6-3.9
กรดคาพริก (C <sub>10</sub> )	6.4	5.25	4.50-8.00	2.2-3.8
กรดลอริก (C <sub>12</sub> )	51.5	50.9	43.00-53.00	32.4-42.9
กรดไมริสติก (C <sub>14</sub> )	19.1	21.3	16.00-21.00	20.2-20.9
กรดปาล์มมิติก (C <sub>16</sub> )	6.9	9.22	7.50-10.00	11.3-14.1
กรดสเตียริก (C <sub>18</sub> )	1.1	0.38	2.00-4.00	1.2-1.6
กรดโอเลอิก (C <sub>18:1</sub> )	4.3	4.81	5.00-10.00	12.2-17.8
กรดลิโนเลอิก (C <sub>18:2</sub> )	1.1	0.81	1.00-2.50	5.3-10.6

หมายเหตุ: “-” หมายถึง ไม่มีการรายงานไว้

ที่มา: <sup>a</sup> Akinnuga et al. (2014); <sup>b</sup> P K et al. (2015); <sup>c</sup> APCC (2009) และ <sup>d</sup> Appaiah et al. (2014)

ไตรกลีเซอไรด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันมะพร้าว โดยมีสัดส่วนมากถึง 90-95 % (Rahman, 2000) ซึ่งองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์นั้นจะมีโครงสร้างอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับชนิด และ ปริมาณของกรดไขมันด้วย ไตรกลีเซอไรด์ที่พบมากในน้ำมันมะพร้าวได้แก่ไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (medium chain triglyceride: MCT) ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 3 โมเลกุล จับกับแกนหลักของโมเลกุลกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์สายกลางนั้นจะประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีความยาวของสายโซ่คาร์บอน 6-12 ตัว (Babayana, 1988) ไตรกลีเซอไรด์หลักที่พบในน้ำมันมะพร้าว ได้แก่ CaCaLa, CaLaLa, LaLaLa และ LaLaM (Ca: กรดคาพริก; La: กรดลอริก และ M: กรดไมริสติก) โดยไตรกลีเซอไรด์ที่มีสัดส่วนสูงที่สุดคือไตรกลีเซอไรด์ชนิด LaLaLa ซึ่งพบมากถึง 22-25 % (Marina et al., 2009) องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

ไตรกลีเซอไรด์ (%)	RBD	VCO
CpCaCa	1.03	-
CpCpLa	1.36	0.81
CpCaLa	3.20	3.67
CaCaLa	11.57	14.32
CaLaLa	16.47	18.59
LaLaLa	19.63	21.88
LaLaM	17.27	17.20
LaLaO	2.28	1.97
LaMM	10.60	9.62
LaPL	0.22	-
LaMO	2.18	1.70
LaMP	5.35	4.74
MPL	0.87	0.44
LaOO	1.59	1.09
LaPP	1.93	1.68
LaSO	0.11	-
MOO	0.68	0.27
MPO	0.91	0.63
OOO	0.51	0.46
POO	0.36	0.11
POP	0.41	0.14

หมายเหตุ: Cp: กรดคาไพริก; Ca: กรดคาพริก; La: กรดลอริก; M: กรดไมริสติก; P: กรดปาล์มมิติก;  
S: กรดสเตียริก; O: กรดโอเลอิก และ L: กรดลิโนเลอิก

“-” หมายถึง ไม่มีการรายงานไว้

ที่มา : P K and A.G (2015)

### 2.3 เยื่อกะลามะพร้าว

เยื่อกะลามะพร้าว (coconut testa) เป็นเยื่อบางๆ สีน้ำตาลที่ห่อหุ้มติดกับเนื้อมะพร้าวมีความหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะพร้าว เช่น มะพร้าวอบแห้ง กะทิ และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สาเหตุที่ในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะพร้าวต้องกำจัดเยื่อกะลามะพร้าวทิ้งไปเนื่องจากเยื่อกะลามะพร้าวจะส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์หมองลง และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Appaiah et al., 2014; Appaiah et al., 2022) ที่ผ่านมามีรายงานทางสถิติกล่าวถึงปริมาณของเยื่อกะลามะพร้าวที่เกิดขึ้นในเกาะไหหลำ พบปริมาณของเยื่อกะลามะพร้าวต่อปีมากถึง 23.7 พันตัน ซึ่งโดยปกติแล้วเยื่อกะลามะพร้าวจะถูกนำไปขายในราคาต่ำเพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ หรือ ถูกทิ้งไปโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ (Zhang et al., 2016)



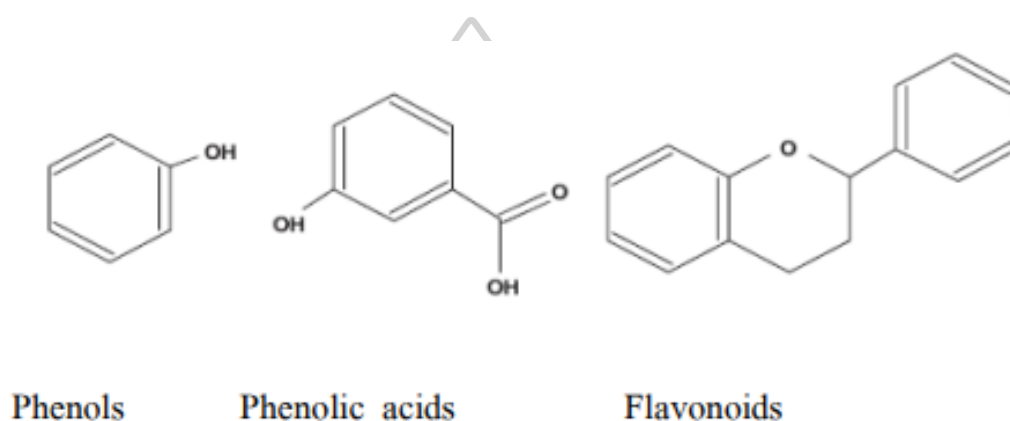
ภาพที่ 5 เยื่อกะลามะพร้าว

ที่มา: Appaiah et al. (2022)

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเยื่อกะลามะพร้าวมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยนำมาใช้ทดแทนแป้งสาลี ซึ่งพบว่าสามารถทดแทนได้มากถึง 30% โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และผ่านการยอมรับของผู้บริโภคด้วย มากไปกว่านี้ยังมีการนำมาใช้ผสมในอาหารปลา ซึ่งมีการเติมเยื่อกะลามะพร้าวเข้าไป 5 % ผลที่ได้คืออัตราการเติบโตของปลาเพิ่มสูงขึ้น (Appaiah et al., 2022) นอกจากนี้รายงานวิจัยของ Appaiah et al. (2014) ได้กล่าวว่าเยื่อกะลามะพร้าวนั้นอุดมไปด้วยไขมัน หรือ น้ำมัน ซึ่งพบถึง 34.7 % ในเยื่อกะลามะพร้าวจากมะพร้าวสด และ 59 % ในเยื่อกะลามะพร้าวจากเนื้อมะพร้าวอบแห้ง (copra) และยังพบว่าในน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีปริมาณของสารโทโคฟีรอล และสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าน้ำมันที่สกัดจากเนื้อมะพร้าว และนอกจากนี้สารสกัดจากเยื่อกะลามะพร้าวยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงอีกด้วย

## 2.4 สารประกอบฟีนอลิก

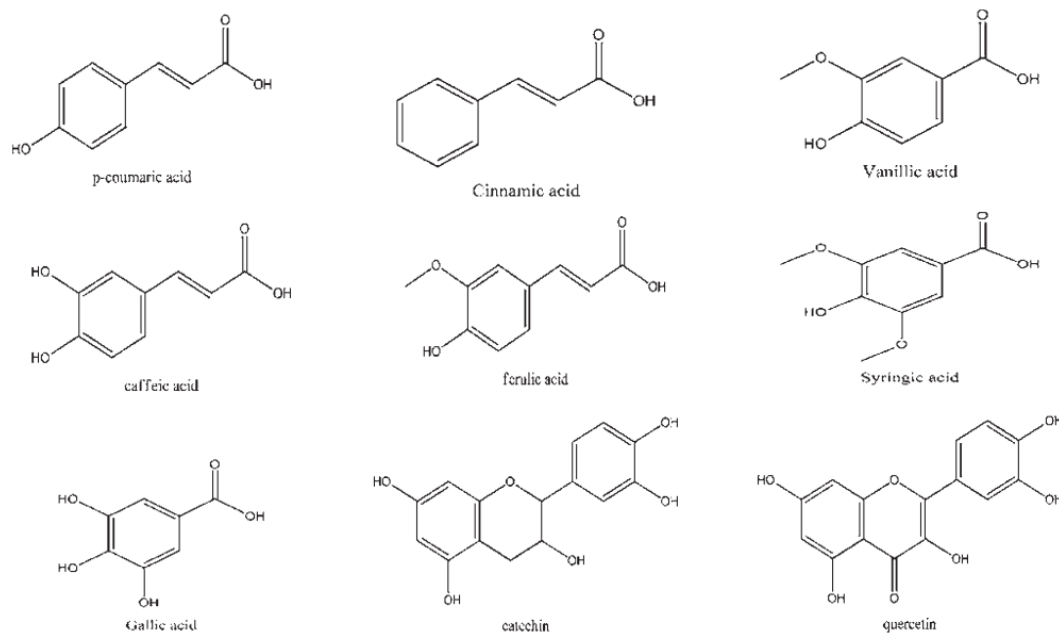
สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารเมทาบอลิต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) หลักที่พบได้ในส่วนต่างๆ ของพืชทั้งส่วนที่รับประทานได้ และไม่ได้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่พบนี้นั้นชนิด และปริมาณที่แตกต่างกันไปตามพันธุ์พืช การปลูก สภาพแวดล้อม และวิธีการแปรรูปของพืชนั้นๆ สารประกอบฟีนอลิกนั้นมีตั้งแต่โครงสร้างอย่างง่าย ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งเรียกโดยรวมว่าสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) เช่น ฟลาโวนอยด์ แทนนิน และแอนโทไซยานินส์ เป็นต้น



ภาพที่ 6 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไป

ที่มา: เนตรนภา เมยกลาง (2557)

โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกมีลักษณะเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงเบนซีนที่ประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อย 1 หมู่ รวมถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (Zhang et al., 2016) สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การต้านจุลินทรีย์ และการต้านการอักเสบ เป็นต้น (Hamad, 2021) ที่ผ่านมามีหลายงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันมะพร้าว พบว่าน้ำมันมะพร้าวประกอบไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกหลากหลายชนิด ซึ่งชนิด และปริมาณจะแตกต่างกันออกไปตามวิธีการสกัดน้ำมัน และส่วนของเนื้อมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัด โดยพบว่าน้ำมันมะพร้าวชนิด VCO ที่ใช้วิธีสกัดแบบร้อน และแบบการหมักจะมีสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวชนิด CO และ RBD สารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไปที่มักพบในน้ำมันมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 7 (Hassanien, 2019)

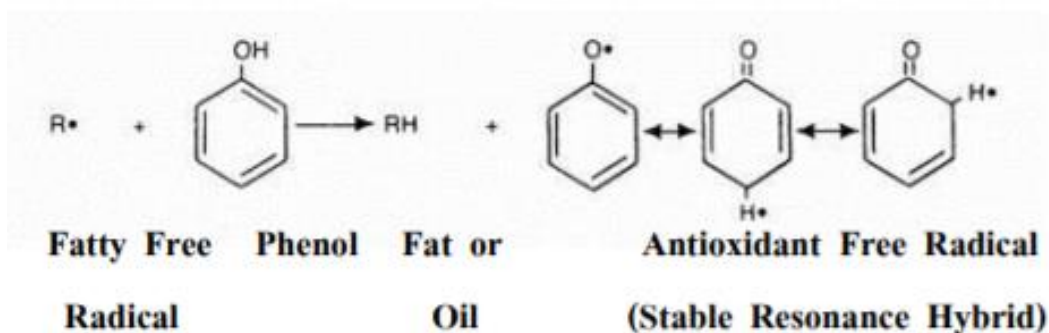


ภาพที่ 7 สารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไปที่พบในน้ำมันมะพร้าว

ที่มา: Hassanien (2019)

สารประกอบฟีนอลิกถือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระหลักที่สามารถพบได้ในพืช ซึ่งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกโดยหลักมาจากคุณสมบัติความเป็นรีดอกซ์ (redox) หรือ ความสามารถในการรับ หรือ ให้อิเล็กตรอน (Zheng et al., 2001) ทำให้อนุมูลอิสระเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ และหยุดการก่อตัวใหม่ของอนุมูลอิสระ (เนตรนภา เมยกลาง, 2557)

กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีหลากหลายกลไก เช่น การกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenging), การยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen ( $^1O_2$ ), การแย่งจับกับโลหะ (metal chelating) และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition) เป็นต้น (อชิป สกุลเผือก, 2559) ตัวอย่างกลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกแสดงดังภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีอิเล็กตรอนหนาแน่น และอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปได้ทั่วทั้งโครงสร้าง (delocalization) เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ตัวมันเองก็ยังคงเสถียรอยู่ และไม่เกิดเป็นอนุมูลอิสระต่อไป (Pietta, 2000)



ภาพที่ 8 กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: เนตรนภา เมยกลาง (2557)

## 2.5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมัน

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดถึงพฤติกรรม และคุณลักษณะต่างๆ ของไขมันและน้ำมัน ซึ่งโดยปกติแล้วการจะระบุ หรือ แยกแยะชนิดของไขมันและน้ำมันนั้น จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพมากกว่า 1 คุณสมบัติ องค์ประกอบต่างๆ ของไขมันและน้ำมันนั้นจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของพืช หรือ สัตว์ รวมถึงสภาพอากาศ ดินที่ใช้ปลูก และอาหารที่ใช้เลี้ยงดูสัตว์ เป็นต้น

### 2.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

#### 2.5.1.1 การตกผลึก (Crystallization)

การตกผลึกเป็นกระบวนการแยกส่วนของแข็งออกจากของเหลว เมื่อสารละลายถูกทำให้เข้มข้น และมีอุณหภูมิเย็นลงตัวถูกละลายจะแยกออกจากสารละลาย และก่อตัวเป็นผลึกบริสุทธิ์ (เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด, 2555) การตกผลึกของไขมันนั้นมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ช็อกโกแลต มارجารีน และผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรด เป็นต้น (Sato, 2001)

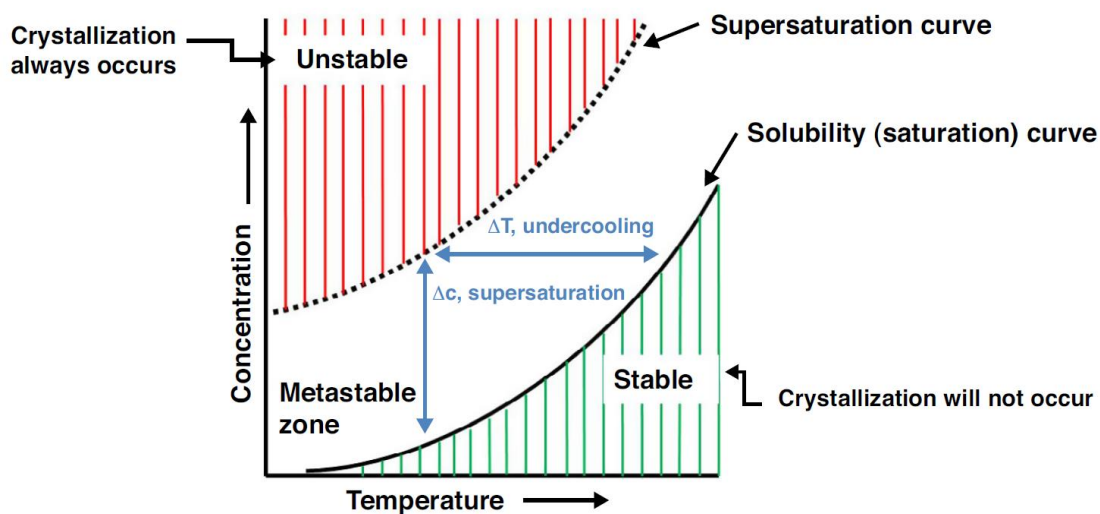
กลไกการตกผลึกของไขมันนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1.) แรงขับ (driving force) 2.) การเกิดนิวเคลียส (nucleation) และ 3.) การเติบโตของผลึก (crystal growth)

1.) แรงขับ (Driving force): การที่จะตกผลึกได้นั้นจำเป็นต้องมีแรงขับเพื่อก่อให้เกิดการสร้างนิวเคลียส (nucleus) ซึ่งเป็นผลึกที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยสภาวะที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดนิวเคลียสได้



นั้นประกอบด้วย 2 สภาวะ คือ สภาวะความเย็นยิ่งยวด (supercooling) เป็นสภาวะที่สารละลายมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง แต่ยังไม่มีการเกิดผลึกขึ้น และสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturated) (Rogers et al., 2012) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่

- ช่วงเสถียร (stable zone): ช่วงที่ระบบยังไม่อิ่มตัว ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายยังอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟการละลาย (solubility curve) คือ ระบบยังสามารถละลายตัวถูกละลายเพิ่มได้อีก เป็นช่วงที่ไม่สามารถตกผลึกได้
- ช่วงกึ่งเสถียร (metastable zone): เป็นช่วงที่ระบบมีความเข้มข้นสูงขึ้น สามารถเกิดการตกผลึกได้ แต่จำเป็นต้องมีการเติมตัวล่อผลึก หรือ ผลึกที่มีขนาดเล็กลงไป
- ช่วงไม่เสถียร (unstable zone หรือ labile zone): เป็นช่วงที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าเส้นกราฟ supersaturation ในช่วงนี้สามารถเกิดการตกผลึกได้เอง (เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด, 2555)



ภาพที่ 9 แผนภาพการละลายและสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด

ที่มา: Patel et al. (2015)

2.) การเกิดนิวเคลียส (Nucleation): การเกิดนิวเคลียสเริ่มจากการที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเคลื่อนที่เข้ามารวมกันจนกลายเป็นเอ็มบริโอ (embryo) และขยายขนาดขึ้นเรื่อยๆ จนเกินขนาดวิกฤต (critical size) และกลายเป็นนิวเคลียส (Ribeiro et al., 2015) กลไกการเกิดนิวเคลียสสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

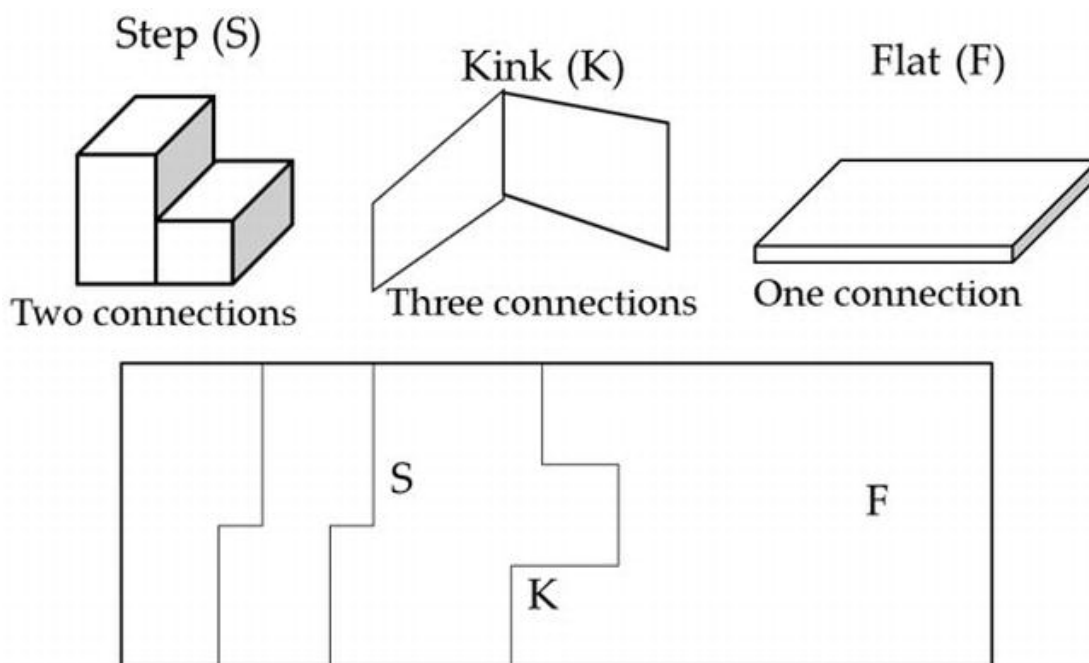
2.1) การเกิดนิวเคลียสแบบปฐมภูมิ (primary nucleation): เป็นการเกิดนิวเคลียสครั้งแรกในสารละลาย สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

- Homogeneous: เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของตัวทำละลายชนิดเดียวกันจนกลายเป็นนิวเคลียส ซึ่งเป็นกลไกที่ยากจะเกิดขึ้นในอุตสาหกรรม
- Heterogeneous: เป็นการเกิดนิวเคลียสที่มีโมเลกุลอื่นๆ นอกจากโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาปะปน ซึ่งเป็นกลไกที่สามารถพบได้มากกว่ากลไกแบบ homogeneous

2.2) การเกิดนิวเคลียสแบบทุติยภูมิ (secondary nucleation): เป็นการเกิดนิวเคลียสใหม่ขึ้นในสารละลายที่มีผลึกเกิดขึ้นแล้ว ซึ่งอาจเกิดได้จากการที่องค์ประกอบขนาดเล็กมากๆ ของผลึกหลุดออกมาจากพื้นผิว ทำให้กลายมาเป็นนิวเคลียสขึ้นใหม่ ซึ่งสามารถล่อโมเลกุลของตัวถูกละลายที่เหมือนกันมารวมตัวจนกลายเป็นผลึกขึ้นได้ เรียกกระบวนการนี้ว่าการล่อผลึก (seeding) (Ribeiro et al., 2015; เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด, 2555)

3.) การเติบโตของผลึก (Crystal growth): เมื่อนิวเคลียสเติบโตจนกลายเป็นผลึก ผลึกนั้นๆ จะแสดงผิวหน้าที่ต่างกันไป กลไก และอัตราการเติบโตของผลึกไม่ได้ขึ้นกับปัจจัยภายนอกเท่านั้น เช่น สภาพอุณหภูมิต่ำยิ่งยวด และสิ่งเจือปน แต่ยังขึ้นกับปัจจัยภายใน เช่น โครงสร้าง และพันธะของผลึก

พื้นผิวหน้าของผลึกมี 3 แบบ ซึ่งจำแนกตามจำนวนพื้นผิวที่โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่เข้ามาสร้างพันธะ และเติบโตขึ้นได้ ถ้าพื้นผิวหน้าของผลึกสามารถเชื่อมพันธะกับโมเลกุลได้ 3 ทิศทาง เรียกว่า kink (K) ถ้ามี 2 ทิศทาง เรียกว่า step (S) และถ้ามี 1 ทิศทาง เรียกว่า flat (F) ซึ่งการเติบโตของผลึกเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการเกิดนิวเคลียส โดยโมเลกุลของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่เข้ามารวมกันที่พื้นผิวหน้าของผลึกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะที่แข็งแรง และเติบโตขยายใหญ่ขึ้น (Boistelle et al., 1988; Kamila et al., 2019)

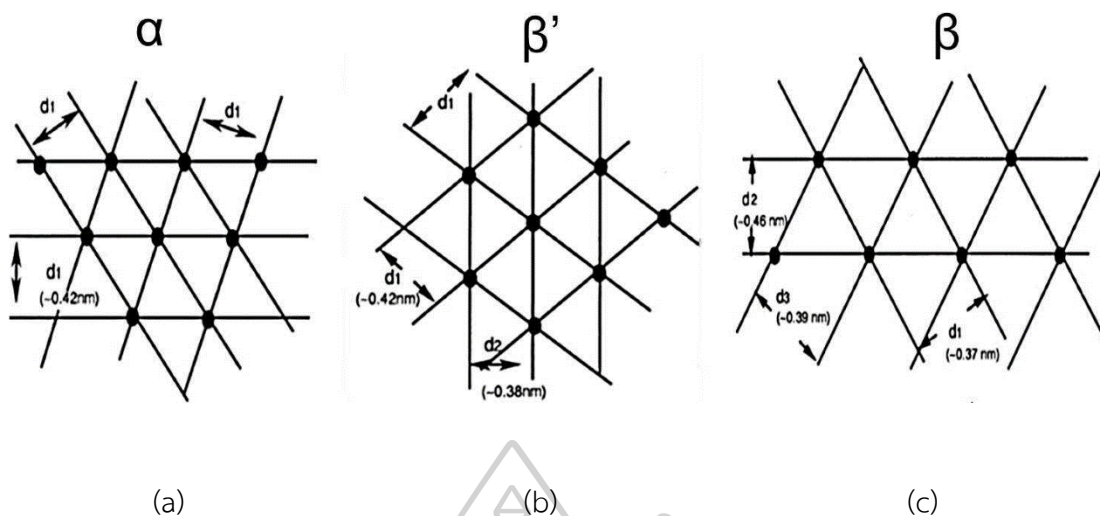


ภาพที่ 10 พื้นที่ผิวสัมผัสของผลึก

ที่มา: Kamila et al. (2019)

### 2.5.1.2 โครงสร้างผลึก (Polymorphism)

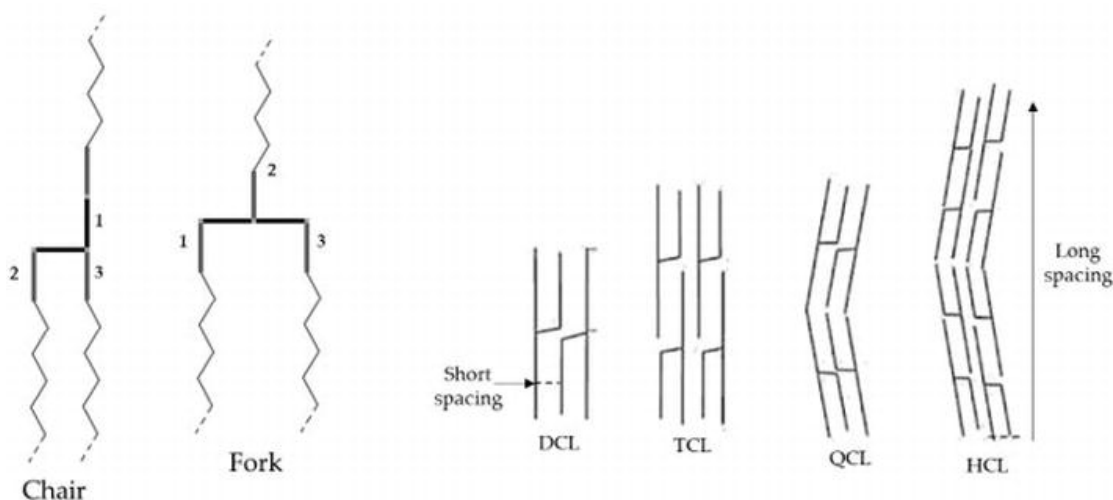
การตกผลึกของไขมันนั้นสามารถเกิดได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งผลึกแต่ละรูปแบบนั้นถือเป็นคุณลักษณะทางกายภาพสำคัญที่ส่งต่อคุณลักษณะต่างๆ ของไขมันและน้ำมัน องค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมันคือไตรกลีเซอไรด์ โดยไตรกลีเซอไรด์สามารถตกผลึกได้ 3 รูปแบบ หลักๆ ได้แก่  $\alpha$   $\beta'$  และ  $\beta$  ผลึกรูปแบบ  $\alpha$  เป็นผลึกที่มีความเสถียรต่ำที่สุด มีโครงสร้างผลึกพื้นฐานเป็นแบบ hexagonal ผลึกรูปแบบ  $\beta'$  มีความเสถียรสูงชันกว่ารูปแบบ  $\alpha$  มีโครงสร้างผลึกพื้นฐานแบบ orthorhombic ผลึกรูปแบบ  $\beta'$  มีคุณสมบัติที่นุ่มนวล มีความสามารถในการเติมอากาศ และมีความสามารถในการเป็นครีม ผลึกรูปแบบ  $\beta$  เป็นรูปแบบที่มีความเสถียรสูงที่สุดมีโครงสร้างผลึกพื้นฐานแบบ triclinic ซึ่งอุณหภูมิจุดหลอมเหลวนั้นจะสูงขึ้นตามความเสถียรของรูปแบบผลึก ( $\alpha > \beta' > \beta$ ) (Kamila et al., 2019; Maria Aliciane Fontenele et al., 2015)



ภาพที่ 11 การจัดเรียงตัวของผลึกรูปแบบต่างๆ hexagonal (a); orthorhombic (b) และ triclinic (c)

ที่มา: Maria Aliciane Fontenele et al. (2015)

โครงสร้างของผลึกไขมันนั้นยังแตกต่างกันตามความยาวของสายโซ่คาร์บอนของกรดไขมัน โดยความยาวของสายโซ่ (chain length) เริ่มจากสายคู่ (DCL), สามสาย (TCL), สี่สาย (QCL) และห้าสาย (HCL) นอกจากนี้โครงสร้างของหมู่กลีเซอรอลยังมีผลต่อการเปลี่ยนสถานะของไขมันและน้ำมันอีกด้วย โครงสร้างของหมู่กลีเซอรอลที่พบมี 2 แบบ ได้แก่ แบบส้อม (fork type) กรดไขมันที่ตำแหน่ง sn-1 และ sn-3 เป็นชนิดเดียวกันทำให้ไตรกลีเซอไรด์มีรูปแบบที่สมมาตร และแบบเก้าอี้ (chair type) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์มีรูปแบบที่ไม่สมมาตรกัน โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์แต่ละตัวเรียงซ้อนกันเป็นชั้น โดยสายโซ่คาร์บอนจะเรียงคู่ขนานกัน และเรียงตั้งฉากกับหมู่กลีเซอรอล โดยระยะห่างระหว่างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์นั้นมีทั้งแบบ short spacing และ long spacing ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิจุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมัน (Kamila et al., 2019; Maria Aliciane Fontenele et al., 2015)



ภาพที่ 12 โครงสร้างของหมู่กลีเซอรอลและโครงสร้างความยาวของสายโซ่ฟอสโฟลิพิดไตรกลีเซอไรด์  
ที่มา: Kamila et al. (2019)

### 2.5.1.3 จุดหลอมเหลว (Melting point)

อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนจากสถานะของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ของแข็งในผลึกรูปแบบ  $\beta$  ซึ่งเป็นผลึกรูปแบบที่เสถียรที่สุดถูกทำลาย (BTSA, 2019) ซึ่งอุณหภูมิจุดหลอมเหลวจะสูง หรือ ต่ำ จะมีลักษณะช่วงการหลอมเหลวที่แคบ หรือ กว้างนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอน จำนวนพันธะคู่ และรูปแบบสายกรดไขมันแบบ cis หรือ trans โดยรูปแบบ trans จะมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า (สมหมาย ปะติตั้งโช, 2562) ตัวอย่างอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของกรดไขมันทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ

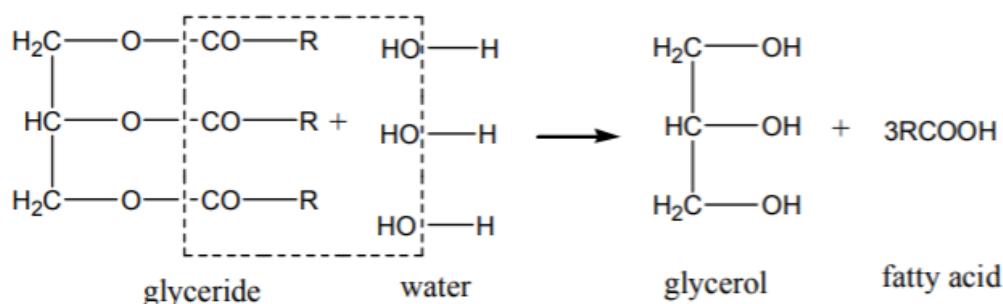
สูตรโมเลกุล	ชื่อกรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	กรดลอริก	45
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	กรดปาล์มมิติก	63
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	กรดโอเลอิก	13
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	กรดลิโนเลอิก	-5
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	กรดลิโนเลนิก	-11

ที่มา: Layne (2019)

## 2.5.2 คุณสมบัติทางเคมี

### 2.5.2.1 ปฏิกริยาลิพไลซิส (Lipolysis)

ปฏิกริยาลิพไลซิส คือ ปฏิกริยาที่ไขมันและน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์ หรือ ถูกแยกสลายได้ด้วยน้ำ เมื่อมีสภาวะที่อุณหภูมิสูง มีกรด ต่าง แสง หรือ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่ง อาจเรียกปฏิกริยานี้ได้ว่าเป็นปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของลิปิด หรือ hydrolytic rancidity ผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกริยานี้ คือ กรดไขมัน 3 โมเลกุล และกลีเซอรอล 1 โมเลกุล (วิภาวรรณ ศรีมุข, 2546; สมหมาย ปะติตั้งโช, 2562) กรดไขมันที่ได้จะกลายเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งมีความเสถียรน้อยลงเมื่อเทียบกับตอนที่ประกอบกันเป็นไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สามารถถูกออกซิไดส์กลายเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นเหม็นหืนแก่ไขมันและน้ำมันได้ง่ายกว่า (คณิศา กิตติรัตนไพบูลย์ et al., 2552) ด้วยเหตุนี้ทำให้กรดไขมันอิสระจึงกลายเป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของไขมันและน้ำมัน นอกจากนี้กรดไขมันอิสระยังเป็นโปรออกซิแดนท์ (pro-oxidant) หรือ สารเร่งการเกิดปฏิกริยาออกซเดชันอีกด้วย (Chew et al., 2020)



ภาพที่ 13 ปฏิกริยาลิพไลซิส

ที่มา: สมหมาย ปะติตั้งโช (2562)

### 2.5.2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

ไขมันและน้ำมันประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ก็ประกอบไปด้วยกรดไขมัน โดยกรดไขมันนั้นก็มีทั้งชนิดอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว พันธะคู่ในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และก่อให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์แก่ไขมันและน้ำมัน

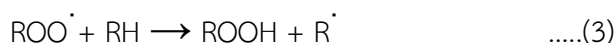
กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลไก ได้แก่ autoxidation และ photosensitized oxidation ซึ่งกลไก autoxidation จะเป็นกลไกที่มักพบไขมันและน้ำมันสำหรับรับประทาน และในผลิตภัณฑ์อาหาร (Choe et al., 2006)

- Autoxidation: เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันประเภทที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถเกิดการออกซิเดชันได้เองอัตโนมัติ กลไกการเกิดปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชั้น

1.) ชั้นเริ่มต้น (initiation): อะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ติดกับคาร์บอนที่เชื่อมกันด้วยพันธะคู่ในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ความร้อน ไอออนของโลหะหนัก และรังสี UV เป็นต้น ทำให้เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมไป และก่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมา แสดงดังสมการที่ 1



2.) ชั้นทวีคูณ (propagation): สารอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาชั้นแรกจะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่ในรูปแบบ ground state หรือ  $^3O_2$  (triplet oxygen) เกิดเป็นสารประกอบชนิด peroxy radical ที่เป็นสารตั้งต้นสำคัญของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องจากความดันบรรยากาศปกติ (Aidos et al., 2002) สารประกอบ peroxy radical นี้จะเข้าไปดึงไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลอื่นๆ มาและก่อตัวเป็นสารประกอบชนิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ปฏิกิริยาในชั้นนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือ เรียกว่าเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ แสดงดังสมการที่ 2 และ 3



3.) ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination): เมื่อไม่เหลือสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทั้งอะตอมของไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมทั้งเมื่อสภาวะไม่เหมาะสม เช่น ความร้อนไม่พอกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา (Velasco et al., 2004) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ และปฏิกิริยาก็จะหยุดลง แสดงดังสมการที่ 4 และ 5



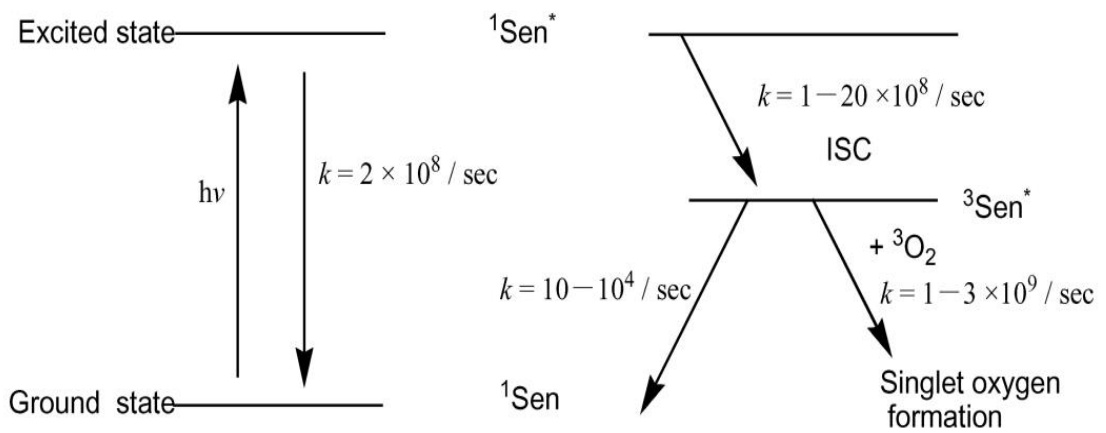
- Photosensitized oxidation: เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสง สารกระตุ้นการรับแสง (sensitizer) เช่น คลอโรฟิลล์ และออกซิเจนในบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา คือ  $^1O_2$  ซึ่งเป็นสารที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

กลไกของปฏิกิริยา photosensitized oxidation เริ่มจากการที่ sensitizer ที่อยู่ในสถานะเชิงเดี่ยว ( $^1Sen$ ) ดูดกลืนพลังงานแสงอย่างรวดเร็วแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ชั้นพลังงานกระตุ้น ( $^1Sen^*$ ) และกลับลงมาสู่ชั้นพลังงานเดิมโดยการปลดปล่อยแสงซึ่งสามารถปลดปล่อยได้ 2 แบบ ได้แก่ internal conversion และ intersystem crossing การปลดปล่อยแบบ internal conversion จะทำให้ได้พลังงานความร้อน และแสงฟลูออเรสเซนส์ ในขณะที่การปลดปล่อยแบบ intersystem crossing จะทำให้ sensitizer อยู่ในสถานะกระตุ้นที่สาม ( $^3Sen^*$ ) ซึ่งสถานะนี้เป็นสถานะเริ่มต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีกลไก 2 แบบ ได้แก่

- แบบที่ 1 คือ  $^3Sen^*$  สามารถเข้าไปดึงไฮโดรเจนอะตอม หรือ อิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นๆ ได้ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมา

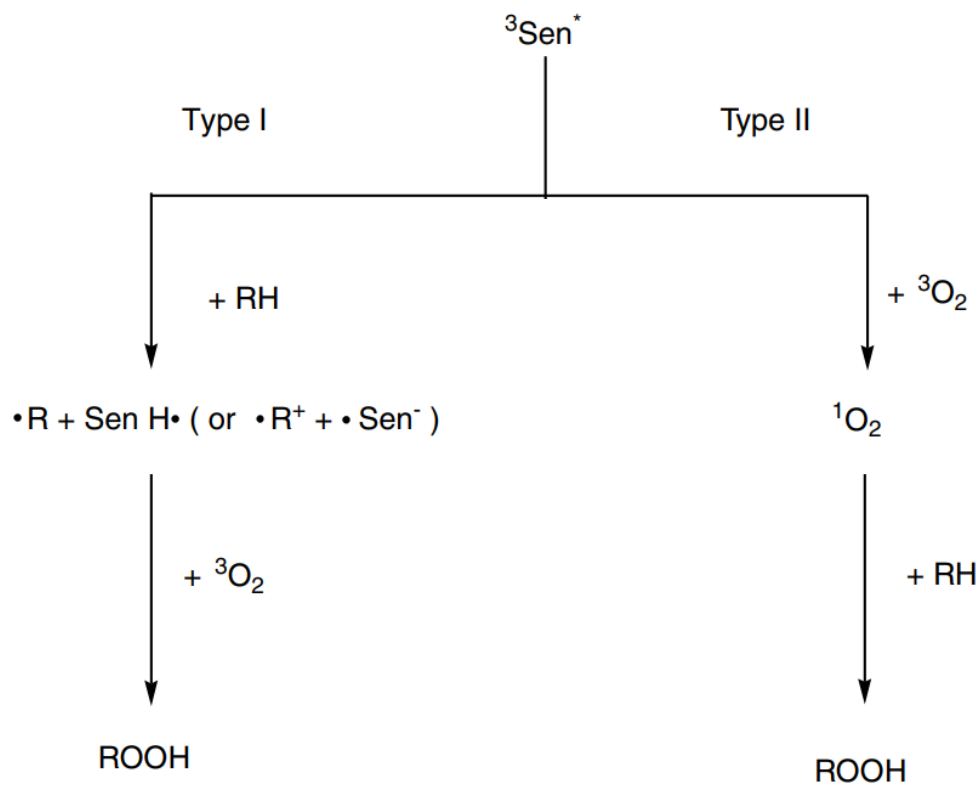
- แบบที่ 2 คือ  $^3Sen^*$  สามารถปลดปล่อยพลังงานให้แก่  $^3O_2$  เพื่อสร้าง  $^1O_2$  และกลับสู่สถานะพื้น (Choe & Min, 2006)





ภาพที่ 14 การเปลี่ยนชั้นพลังงานของ sensitizer

ที่มา: Choe and Min (2006)



ภาพที่ 15 กลไกการเกิดปฏิกิริยา photosensitized oxidation

ที่มา: Choe and Min (2006)

### 2.5.2.3 ปฏิกริยาการหืน (Rancidity)

การหืน คือ การที่ไขมัน หรือน้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ หรือ กลิ่นหืน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ปฏิกริยาการหืนนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.) oxidative rancidity และ 2.) hydrolytic rancidity

1.) Oxidative rancidity: เป็นการหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อพันธะคู่ในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะในกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนซึ่งมีจำนวนพันธะคู่อยู่ในปริมาณมาก สัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ และอาจถูกเร่งด้วยอนุมูลที่เพิ่มขึ้น หรือ แสง ก็เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบ peroxy radical ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการเข้าไปออกซิไดส์โมเลกุลต่างๆ จนเกิดเป็นอนุมูลอิสระ (Gibson et al., 2018; อธิป สกุลเผือก, 2559) และเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปจนเกิดเป็นสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และสารประกอบอื่นๆ ที่ทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ หรือ กลิ่นหืนนั่นเอง (Feiner, 2016)

2.) Hydrolytic rancidity: เป็นการหืนจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของลิปิด หรือ lipolysis ปฏิกิริยา hydrolytic rancidity นั้นจัดอยู่ในหมวดหมู่ของปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเอนไซม์ (enzymatic oxidation) ได้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไขมัน หรือน้ำมัน สัมผัสกับความชื้น หรือ น้ำ และถูกเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปส อาจมีตัวเร่งอื่นๆ ด้วย เช่น กรด ต่าง แสง และอนุมูลที่สูง แต่ในบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องมีเอนไซม์ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้ ได้แก่ กรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ กรดไขมันสายสั้น เช่น กรดบิวทิริก เป็นกรดไขมันที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์คล้ายกลิ่นนมบูด (Zeece, 2020; คณิศา กิตติรัตน์ไพบูลย์ et al., 2552)

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตจากส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าว ได้แก่ เยื่อกะลามะพร้าว (Coconut testa oil, CTO), เนื้อมะพร้าว (Coconut kernel oil, CKO) และทั้งส่วนของเนื้อและเยื่อกะลามะพร้าวรวมกัน (Virgin coconut oil, VCO) ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ทรอปีคานา ออยล์ จำกัด น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้ายี่ห้ออื่นๆ จำนวน 4 ยี่ห้อ ได้แก่ 1.) ยี่ห้อ naturel (CM1) จากบริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) 2.) ยี่ห้อ i-nature (CM2) จากบริษัท เอิร์ธบอร์น จำกัด 3.) ยี่ห้อ agrilife จากบริษัท อะกรีไลฟ์ (ประเทศไทย) จำกัด 4.) ยี่ห้อ greencase จากบริษัท เอิร์ธบอร์น จำกัด และน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี (Refined coconut oil, CNO) ยี่ห้อหยก จากบริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สารมาตรฐาน (standard reagents) สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ โดยเทคนิค high performance liquid chromatography (HPLC) และวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันโดยเทคนิค gas chromatography (GC) จาก Larodan AB (สวีเดน) ตัวทำละลายอินทรีย์ และสารเคมี จาก Labscan Asia Co. Ltd. (ประเทศไทย), Thermo Fisher Scientific Inc. (ออสเตรเลีย) และ Macron Fine Chemicals (สหรัฐอเมริกา) สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเกรดวิเคราะห์ (AR) หรือ เกรดโครมาโตกราฟี

##### 3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน

นำตัวอย่างน้ำมันแต่ละตัวอย่างมาให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 80 °C คนผสมแต่ละตัวอย่างน้ำมันให้เข้ากัน จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman no.4 และเก็บบรรจุในขวดแก้ว เขียนก้ำกับริสต์ตัวอย่าง และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะนำมาใช้วิเคราะห์ และก่อนการนำมาใช้ ให้ความร้อนตัวอย่างน้ำมันที่ 80 °C และเขย่าผสมให้เข้ากัน เพื่อเป็นการหลอมเหลวผลึกไขมันทั้งหมด

### 3.3 การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์

#### 3.3.1 การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมัน

ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันด้วยเครื่อง Shimadzu gas chromatography ร่วมกับ detector ชนิด flame ionization (GC-FID) เตรียมตัวอย่างน้ำมันให้อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester) ตามวิธีการของ AOAC official method 969.33 (AOAC, 1995) คอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ DB-WAX capillary column (ความยาว 30 เมตร, เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.320 มิลลิเมตร และ พิล์มหนา 0.50 ไมโครเมตร) โดย carrier gas ที่ใช้คือแก๊สฮีเลียม ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ความดันเริ่มต้นอยู่ที่ 93.2 kPa ที่อุณหภูมิ 120 °C แก๊สที่ช่วยในการจุดไฟ (makeup gas) ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน และแก๊ส air zero อุณหภูมิ injector เท่ากับ 210 °C อุณหภูมิของเตาอบโปรแกรมไว้ที่ 120 °C เป็นเวลา 3 นาที และค่อยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 °C ด้วยอัตรา 10 °C ต่อนาที และคงไว้เป็นเวลา 30 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 240 °C ด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาที และคงเป็นเวลา 30 นาที split ratio เท่ากับ 100:1 ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ในการฉีดเท่ากับ 1 ไมโครลิตร และอุณหภูมิ detector เท่ากับ 280 °C ระบุพีคของกรดไขมันโดยเทียบกับระยะเวลาที่เกิดพีค (retention time) ของสารมาตรฐาน ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างน้ำมันแต่ละตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จะแสดงเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ เมื่อคิดให้พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันทั้งหมดเป็นร้อยละ 100

#### 3.3.2 การศึกษาองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

ศึกษาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ด้วยเทคนิค HPLC (Shimadzu LC-20 AD, Shimadzu Crop, Kyoto, Japan) ร่วมกับคอลัมน์ reverse phase C-18 จำนวน 2 คอลัมน์ (Inertsil ODS-3; 4.6 × 250 mm; 5 μm particle size; by GL Sciences Inc., Japan) โดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 35 °C ใช้ตัวทำละลายหรือวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นอะซีโตน 63 % ต่อ อะซีโตรไนโตรล 37 % ที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ในการฉีดเท่ากับ 20 ไมโครลิตร ของ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำมันที่ละลายอยู่ใน 60:40 % (v/v) ของอะซีโตน และเตตระไฮโดรฟิวแรน (tetrahydrofuran) ระบุพีคของไตรกลีเซอไรด์โดยเทียบ retention time กับสารมาตรฐาน ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างน้ำมันแต่ละตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จะแสดงเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ เมื่อคิดให้พื้นที่ใต้กราฟของไตรกลีเซอไรด์ทั้งหมดเป็นร้อยละ 100

### 3.4 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

#### 3.4.1 การศึกษาหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA)

ศึกษาหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีการของ AOCS official Method Ca 5a-40 (AOCS, 1989) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ก ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 7.05xx กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลาย ได้แก่ เอทานอลปริมาณ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร และทำการไตเตรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จนกระทั่งสารละลายมีสีชมพูอ่อนคงอยู่เป็นเวลา 30 วินาที และทำ blank โดยบันทึกปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

#### 3.4.2 การศึกษาหาค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

ศึกษาหาค่าไอโอดีนตามวิธีการของ AOCS official Method Cd 1d-92 (AOCS, 1993) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ข ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 3.0xxx กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมไซโคลเฮกเซน และกรดกลูเซิลอะซิติก (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และเติมสารละลาย Wijs ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกปิด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วให้นำมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากันแล้วทำการไตเตรตสารละลายผสมกับโซเดียมไฮโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) โดยใช้น้ำแ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ระหว่างไตเตรตให้ทำการเขย่าแรงๆ จนหมดสีน้ำเงิน และทำ blank โดยบันทึกปริมาณของโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้

#### 3.4.3 การศึกษาหาค่าสaponification value: SV)

ศึกษาหาค่าสaponification value คัดแปลงจากวิธีการของ AOCS Official Method Cd 3-25 (AOCS, 2013) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ค ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 1.2xxx-1.3xxx กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอทานอลิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ethanolic KOH) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 60 นาที ผ่านระบบควบแน่น (condenser) จากนั้นปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และทำการไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการไตเตรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี และทำ blank โดยบันทึกปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

### 3.4.4 การศึกษาหาปริมาณความชื้น (Moisture content: MC)

ศึกษาหาปริมาณความชื้นตามวิธีการของ AOCS Official Method Ca 2c-25 (AOCS, 1997) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ง ซึ่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 5.0xxx กรัม ลงในถ้วยวัดความชื้น ที่ถูกทำให้แห้ง และเย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $130 \pm 5$  °C เป็นเวลา 30 นาที นำออกมาพักให้ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก อบซ้ำเรื่อยๆ จนกว่าน้ำหนักที่หายไปจะไม่เกิน 0.20 % ต่อระยะเวลาการอบแห้ง 30 นาที

### 3.5 การศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลว

ศึกษาอุณหภูมิในการตกผลึกและการหลอมเหลวของตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC 8000 PerkinElmer ตามวิธีการของ AOCS Official Method Cj 1-94 (AOCS, 1998) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก จ บรรจุตัวอย่าง 3-4 มิลลิลิตร ลงในถาดอะลูมิเนียม (aluminium pan) (ความจุ 30 ไมโครลิตร) และปิดผนึกอย่างแน่นหนา ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิที่ 20 °C ถึง 80 °C ที่อัตรา 30 °C ต่อนาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงจนถึง -60 °C ที่อัตรา 10 °C ต่อนาที หลังจากคงอุณหภูมิที่ -60 °C เป็นเวลา 30 นาที ตัวอย่างถูกให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 80 °C ที่อัตรา 5 °C ต่อนาที เทอร์โมแกรมของการตกผลึกและการหลอมเหลวถูกสร้างขึ้นระหว่างการทำให้เย็นลง และการให้ความร้อนตามลำดับ เทอร์โมแกรมได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่มาพร้อมกับเครื่อง DSC (Pyris software, Perkin-Elmer, Shelton, CT, USA)

### 3.6 การศึกษาค่าปริมาณไขมันแข็งในรูปผลึก (Solid fat content: SFC)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลง SFC ที่อุณหภูมิช่วง 10-27.5 °C โดยใช้เครื่อง pulse-nuclear magnetic resonance (p-NMR) spectrometer (Minispec-mq20, BRUKER, Karlsruhe, Germany) ตามวิธีการของ AOCS method Cd 16-81 (AOCS, 1998) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ฉ ตัวอย่างน้ำมันถูกหลอมเหลว และบรรจุลงในหลอด NMR ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร บรรจุตัวอย่างให้มีความสูงประมาณ 4.0 เซนติเมตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิต่ำเหลือ 0 °C อย่างรวดเร็ว คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 60 นาที

จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิไปยังอุณหภูมิที่ต้องการวัด และคงไว้ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมินั้นๆ เป็นเวลา 30-35 นาที ทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SFC (แกน y) และอุณหภูมิ (แกน x)

### 3.7 การศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal crystallization)

ศึกษาลักษณะเส้นกราฟการตกผลึกของตัวอย่างน้ำมัน โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่า SFC ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วัด SFC ด้วยเครื่อง p-NMR โดยบรรจุตัวอย่างน้ำมันลงในหลอด NMR ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร บรรจุตัวอย่างให้มีความสูงประมาณ 4.0 เซนติเมตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที และลดอุณหภูมิลงด้วยอ่างน้ำเย็น (cooling bath) ที่ตั้งอุณหภูมิเท่ากับ 12 °C เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างในหลอด NMR สูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 0.5 °C ให้นำหลอด NMR ออกจากอ่างน้ำเย็นแช่หลอดให้แห้ง และใส่ลงในเครื่อง p-NMR อย่างรวดเร็ว SFC จะถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องทุกๆ 1 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง ทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ SFC (แกน y) และเวลา (แกน x)

### 3.8 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content: TPC)

#### 3.8.1 การสกัดสารประกอบฟีนอลิก

สกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่างน้ำมันดัดแปลงตามวิธีการของ Ghani et al. (2018) และ Marina et al. (2009) ซึ่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 10.0xxx กรัม ตวงเฮกเซนปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างน้ำมันกับเฮกเซนให้เข้ากัน เทสารละลายลงในกรวยแยก (separatory funnel) ทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิกด้วยเมทานอลความเข้มข้น 80 % (v/v) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร สกัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง (3×20 มิลลิลิตร) สกัดครั้งละ 2 นาที จากนั้นไขสารละลายใส่ด้านล่าง (เมทานอล) ลงในปีกเกอร์ นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน (rotary evaporator) (model R-114; Buchi, Flawil, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 40 °C ละลายสารประกอบฟีนอลิกที่เหลือจากการระเหยตัวทำละลายลงในเมทานอลความเข้มข้น 80% และเก็บไว้สำหรับการศึกษาต่อไป

### 3.8.2 การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีการของ Ghani et al. (2018) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ข ปีเปตสารละลายสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้มา 0.3 มิลลิลิตร ผสมกับสาร Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10 % (v/v) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 7.5 % (w/v) ปริมาตร 1.3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร (vortex) จากนั้นเก็บหลอดทดลองในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาแล้วจึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (model Genesys 10 series; Spectronic Unicam, USA) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัมของ gallic acid equivalent (GAE) ต่อ 100 กรัม น้ำมัน

### 3.9 การศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Radical scavenging ability: RSA)

ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างน้ำมัน โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging assay ตามวิธีการของ Plangklang et al. (2021) ซึ่งระบุไว้ในภาคผนวก ข เตรียมตัวอย่างสารละลายสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัม ต่อ 100 ไมโครลิตร ปีเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย methanolic DPPH ความเข้มข้น 0.05 mM ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร แล้วคำนวณค่า RSA ในรูปร้อยละ DPPH inhibition

### 3.10 การศึกษาลักษณะพื้นฐานและโครงสร้างของผลึก

#### 3.10.1 การศึกษาลักษณะพื้นฐานผลึก

ศึกษาลักษณะพื้นฐานผลึก ได้แก่ ลักษณะรูปร่าง และขนาดของผลึก ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ polarized light microscopy (PLM) (Carl Zeiss Primo Star, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany) ร่วมกับกล้องดิจิตอล และกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุเท่ากับ 10 เท่า โดยเริ่มจากหลอมเหลวตัวอย่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นใช้ไมโครปีเปตดูดตัวอย่าง ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ลงบนกระจกสไลด์แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ เก็บตัวอย่างไว้ในตู้บ่มที่



อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วทำการส่องดูผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ PLM ร่วมกับถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล และวัดขนาดของผลึกด้วยโปรแกรม Image J

### 3.10.2 การศึกษาโครงสร้างผลึก

ศึกษาโครงสร้างผลึกของตัวอย่างน้ำมันด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction หรือ XRD) (Rigaku TTRAX III, Rigaku Corporation, Tokyo, Japan) วัดค่าโดยใช้การสแกนแบบมุมกว้าง (wide angle x-ray scattering หรือ WAXS) จาก  $15^{\circ}2\theta$  ถึง  $30^{\circ}2\theta$  สแกนด้วยความเร็ว  $4^{\circ}2\theta$  ต่อนาที และความกว้าง  $0.01^{\circ}2\theta$  เตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วเทลงในขวดแก้วขนาด 4 มิลลิลิตร จากนั้นบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วย 24 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ 4 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 3.11 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

#### 4.1 องค์ประกอบกรดไขมัน

จากการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากบริษัท ทรอปีคานา ออยล์ จำกัด ที่ผลิตจากส่วนต่างๆ ของผลมะพร้าว ได้แก่ น้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากเนื้อมะพร้าว (CKO), น้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากเยื่อกะลามะพร้าว (CTO) และน้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากทั้งเนื้อติดเยื่อกะลามะพร้าว (VCO) น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยี่ห้ออื่นๆ ที่มีรหัสดังนี้ CM1, CM2, CM3, CM4 และน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี (CNO) ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่ากรดไขมันหลักของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทั้งหมดเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid, SFA) อยู่ในช่วง 77.90 – 88.12 % ซึ่งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่เป็นกรดไขมันหลักของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทั้งหมด คือ C12:0 (กรดลอริก) โดยพบว่า CTO นั้นมีปริมาณกรดลอริกต่ำที่สุด (34.88 %) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ มีปริมาณกรดลอริกอยู่ในช่วง 42.27 – 46.46 % ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Zhang et al. (2016) ที่รายงานว่า CTO มีปริมาณกรดไขมันชนิดลอริกน้อยกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (42.28 และ 47.24 % ตามลำดับ) ซึ่ง SFA ที่พบในตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทั้งหมดส่วนใหญ่จัดเป็นกรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acid, MCFA) ได้แก่ C6:0, C8:0, C10:0 และ C12:0 (กรดคาโปรอิก, กรดคาพโรลิก, กรดคาพริก และกรดลอริก ตามลำดับ) MCFA เป็นกรดไขมันที่ถูกเผาผลาญได้ดีกว่าที่จะถูกสะสมอยู่ในร่างกาย นอกจากนี้ยังรายงานเกี่ยวกับความสามารถของน้ำมันมะพร้าวในการต้านไวรัส แบคทีเรีย และโปรโตซัว เนื่องจากอิทธิพลของกรดลอริก และกรดคาพริก (Bhatnagar et al., 2009) จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า CTO มีปริมาณ MCFA ต่ำที่สุด แต่มีปริมาณกรดไขมันชนิด C14:0, C16:0, C18:1 และ C18:2 (กรดไมริสติก, กรดปาล์มมิติก, กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ตามลำดับ) สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ ซึ่งคล้ายคลึงกับรายงานของ Appaiah et al. (2014) ที่กล่าวว่า CTO มีกรดไขมันชนิดปาล์มมิติก โอเลอิก และลิโนเลอิกสูงกว่าในน้ำมันมะพร้าวชนิด CKO และ VCO นอกจากนี้ยังพบว่า CTO มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid, USFA) ในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ USFA สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

ตารางที่ 4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

กรดไขมัน (%)	CTO	VCO	CNO	CKO	CM1	CM2	CM3	CM4
C8:0	3.64±0.08 <sup>c</sup>	6.68±0.55 <sup>a</sup>	6.78±0.40 <sup>a</sup>	6.60±0.37 <sup>a</sup>	6.72±0.15 <sup>a</sup>	7.44±0.91 <sup>a</sup>	7.24±0.59 <sup>a</sup>	5.04±0.02 <sup>b</sup>
C10:0	2.88±0.01 <sup>d</sup>	5.47±0.28 <sup>ab</sup>	5.15±0.21 <sup>b</sup>	5.44±0.15 <sup>ab</sup>	5.45±0.07 <sup>ab</sup>	5.81±0.30 <sup>a</sup>	5.56±0.08 <sup>cd</sup>	4.74±0.03 <sup>b</sup>
C12:0	34.88±1.14 <sup>c</sup>	45.49±0.21 <sup>a</sup>	42.27±0.19 <sup>b</sup>	45.78±0.06 <sup>a</sup>	45.78±0.25 <sup>a</sup>	46.46±0.86 <sup>a</sup>	45.56±0.55 <sup>a</sup>	42.81±0.13 <sup>b</sup>
C14:0	20.02±0.16 <sup>a</sup>	18.04±0.40 <sup>cb</sup>	15.72±0.15 <sup>e</sup>	18.30±0.23 <sup>b</sup>	17.37±0.13 <sup>cd</sup>	17.37±0.60 <sup>cd</sup>	17.23±0.06 <sup>d</sup>	17.81±0.13 <sup>bcd</sup>
C16:0	14.30±0.37 <sup>a</sup>	8.79±0.25 <sup>b</sup>	7.52±0.28 <sup>c</sup>	8.73±0.13 <sup>b</sup>	7.63±0.18 <sup>c</sup>	7.95±0.67 <sup>c</sup>	7.67±0.23 <sup>c</sup>	8.82±0.11 <sup>b</sup>
C18:0	2.18±0.20 <sup>d</sup>	2.71±0.06 <sup>c</sup>	2.11±0.10 <sup>d</sup>	3.27±0.04 <sup>a</sup>	2.81±0.11 <sup>bc</sup>	2.90±0.37 <sup>abc</sup>	2.61±0.18 <sup>c</sup>	3.18±0.05 <sup>ab</sup>
C18:1	12.41±0.83 <sup>a</sup>	6.13±0.14 <sup>b</sup>	5.88±0.23 <sup>b</sup>	5.65±0.06 <sup>bc</sup>	4.44±0.17 <sup>d</sup>	4.85±0.55 <sup>cd</sup>	4.61±0.40 <sup>d</sup>	5.92±0.07 <sup>b</sup>
C18:2	9.82±0.12 <sup>c</sup>	6.73±0.14 <sup>de</sup>	14.52±0.39 <sup>a</sup>	6.26±0.12 <sup>e</sup>	9.84±0.14 <sup>c</sup>	7.26±0.12 <sup>d</sup>	9.56±0.54 <sup>c</sup>	11.70±0.46 <sup>b</sup>
SFA	77.90	87.18	79.10	88.12	85.76	87.93	85.87	82.40
USFA	22.23	12.86	20.4	11.91	14.28	12.11	14.17	17.62
MUFA	12.41	6.13	5.88	5.65	4.44	4.85	4.61	5.92
PUFA	9.82	6.73	14.52	6.26	9.84	7.26	9.56	11.70
MCFA	41.40	57.64	54.20	57.82	57.95	59.71	58.36	52.59

หมายเหตุ SFA: saturated fatty acid, USFA: unsaturated fatty acid, MUFA: monosaturated fatty acid และ PUFA: polyunsaturated fatty acid

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid, MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid, PUFA) ปริมาณ USFA ที่สูงทำให้ CTO เสี่ยงต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยา oxidation rancidity และทำให้มีอายุการเก็บที่น้อยกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังคงมีประโยชน์ต่อสุขภาพเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันชนิด MUFA สูง ทำให้มีความสามารถในการลดไขมันชนิด LDL ซึ่งเป็นไขมันเลว และเพิ่มปริมาณไขมัน HDL ซึ่งเป็นไขมันที่ดีต่อร่างกาย ในขณะที่กรดไขมันชนิด PUFA นั้น สามารถลดได้ทั้งไขมัน LDL และ HDL (PHYATHAI, 2563) จากการศึกษากรดไขมันพบว่า CTO นั้นมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างไปจากตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ โดยที่ CTO นั้นจะมีประโยชน์จากการมีปริมาณกรดไขมันชนิด MUFA และ PUFA รวมกันที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ แต่ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น และเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืน (rancidity) ได้มากกว่า ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ นั้นจะเสถียรต่อการเสื่อมเสียมากกว่า

#### 4.2 องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์

องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5 ไตรกลีเซอไรด์หลักที่พบในตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทั้งหมดยกเว้น CTO ได้แก่ CaCaLa, CaLaLa, LaLaLa และ LaLaM โดยผลรวมของไตรกลีเซอไรด์ดังกล่าวของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดเป็นดังนี้ 54.03, 48.73, 59.88, 60.18, 59.42, 55.07 และ 56.62 % (VCO, CNO, CKO, CM1, CM2, CM3 และ CM4 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้มีการศึกษามาก่อนหน้า (Appaiah et al., 2014; Marina et al., 2009; P. K & A.G, 2015; Sonwai et al., 2017) ที่มีผลรวมของปริมาณไตรกลีเซอไรด์ชนิด CaCaLa, CaLaLa, LaLaLa และ LaLaM เป็น 48.73 - 60.18 % ในขณะที่ CTO นั้นมีผลรวมของปริมาณไตรกลีเซอไรด์ดังกล่าวเพียง 30.11 % ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Appaiah et al. (2014) (39.97 %) แต่กลับมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ชนิด LaLaO, LaMM, LLaO, LaMO, LaMP, MPL และ LaOO สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ซึ่งจากตารางที่ 4 ที่ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันพบว่า CTO มีกรดไขมันชนิด โมริสติก ปาล์มมิติก โอลิสิก และลิโนเลอิก สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ จึงอาจส่งผลให้มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันเหล่านี้ในปริมาณสูง จากการศึกษาทำให้เห็นว่า CTO ที่ผลิตจากเยื่อะกลามะพร้าวมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างไปจากตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 5 องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

ไตรกลีเซอไรด์ (%)	CTO	VCO	CNO	CKO	CM1	CM2	CM3	CM4
<u>CaCaCa</u>	4.26±0.07 <sup>f</sup>	9.87±0.01 <sup>cd</sup>	8.25±0.81 <sup>e</sup>	10.91±0.08 <sup>ab</sup>	11.57±0.06 <sup>a</sup>	10.77±0.37 <sup>b</sup>	9.59±0.05 <sup>d</sup>	10.44±0.22 <sup>bc</sup>
<u>CaCaLa</u>	7.56±0.08 <sup>f</sup>	14.67±0.01 <sup>d</sup>	11.73±1.10 <sup>e</sup>	16.56±0.09 <sup>b</sup>	16.87±0.16 <sup>b</sup>	16.39±0.42 <sup>bc</sup>	14.66±0.04 <sup>d</sup>	15.43±0.20 <sup>cd</sup>
<u>CaLaLa</u>	8.74±0.03 <sup>a</sup>	16.41±0.03 <sup>c</sup>	14.69±1.42 <sup>b</sup>	18.90±0.18 <sup>e</sup>	19.28±0.13 <sup>e</sup>	18.67±0.26 <sup>de</sup>	16.95±0.01 <sup>c</sup>	17.49±0.30 <sup>cd</sup>
<u>LaLaCa</u>	4.38±0.06	-	-	-	-	-	-	-
<u>LaLaLa</u>	6.53±0.06 <sup>e</sup>	14.99±0.01 <sup>c</sup>	13.62±0.82 <sup>d</sup>	16.64±0.12 <sup>a</sup>	16.73±0.02 <sup>a</sup>	16.81±0.32 <sup>a</sup>	15.80±0.01 <sup>b</sup>	15.87±0.21 <sup>b</sup>
<u>LMCa</u>	1.76±0.01	-	-	-	-	-	-	-
<u>LaLaM</u>	7.28±0.17 <sup>d</sup>	7.96±0.26 <sup>b</sup>	8.69±0.03 <sup>a</sup>	7.78±0.05 <sup>bc</sup>	7.30±0.08 <sup>d</sup>	7.55±0.14 <sup>cd</sup>	7.66±0.01 <sup>bc</sup>	7.83±0.05 <sup>bc</sup>
<u>CaLaO</u>	3.47±0.00 <sup>e</sup>	4.59±0.32 <sup>d</sup>	4.84±0.63 <sup>cd</sup>	5.81±0.19 <sup>ab</sup>	5.86±0.12 <sup>ab</sup>	6.21±0.10 <sup>a</sup>	5.96±0.13 <sup>a</sup>	5.29±0.07 <sup>bc</sup>
<u>LMLa</u>	1.19±0.03 <sup>a</sup>	0.48±0.02 <sup>c</sup>	0.84±0.07 <sup>b</sup>	-	-	-	0.19±0.01 <sup>d</sup>	0.26±0.02 <sup>d</sup>
<u>LaLaO</u>	6.60±0.16 <sup>a</sup>	3.55±0.12 <sup>c</sup>	4.70±0.38 <sup>b</sup>	2.22±0.16 <sup>e</sup>	2.11±0.06 <sup>e</sup>	2.07±0.05 <sup>e</sup>	2.75±0.00 <sup>d</sup>	2.81±0.13 <sup>d</sup>
<u>LaMM</u>	6.69±0.04 <sup>a</sup>	4.98±0.19 <sup>b</sup>	6.09±0.75 <sup>a</sup>	5.04±0.11 <sup>b</sup>	4.87±0.02 <sup>b</sup>	5.12±0.21 <sup>b</sup>	5.30±0.08 <sup>b</sup>	4.98±0.01 <sup>b</sup>
<u>LaLaP</u>	1.82±0.03 <sup>e</sup>	2.17±0.12 <sup>d</sup>	2.13±0.13 <sup>d</sup>	2.77±0.03 <sup>ab</sup>	2.69±0.00 <sup>b</sup>	2.88±0.03 <sup>a</sup>	2.71±0.04 <sup>b</sup>	2.42±0.04 <sup>c</sup>
<u>LLaO</u>	5.08±0.07 <sup>a</sup>	2.24±0.06 <sup>g</sup>	3.31±0.24 <sup>b</sup>	0.43±0.06 <sup>f</sup>	2.34±0.19 <sup>c</sup>	0.41±0.04 <sup>f</sup>	0.92±0.05 <sup>e</sup>	1.30±0.00 <sup>d</sup>
<u>LaMO</u>	8.12±0.21 <sup>a</sup>	3.89±0.00 <sup>c</sup>	5.81±0.37 <sup>b</sup>	2.13±0.15 <sup>e</sup>	3.64±0.13 <sup>c</sup>	2.01±0.07 <sup>e</sup>	3.00±0.09 <sup>d</sup>	3.19±0.12 <sup>d</sup>
<u>LaMP</u>	5.93±0.02 <sup>a</sup>	3.65±0.03 <sup>c</sup>	5.21±0.48 <sup>b</sup>	4.04±0.10 <sup>c</sup>	0.91±0.06 <sup>d</sup>	3.80±0.00 <sup>c</sup>	4.14±0.10 <sup>c</sup>	4.05±0.34 <sup>c</sup>

หมายเหตุ Ca: capric acid, La: lauric acid, M: myristic acid, P: palmitic acid, S: stearic acid, O: oleic acid และ L: linoleic acid

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไตรกลีเซอไรด์ (%)	CTO	VCO	CNO	CKO	CM1	CM2	CM3	CM4
LaLaS	0.82±0.03 <sup>bc</sup>	0.70±0.03 <sup>c</sup>	0.87±0.09 <sup>bc</sup>	1.00±0.14 <sup>b</sup>	3.64±0.13 <sup>a</sup>	0.91±0.02 <sup>bc</sup>	0.98±0.01 <sup>b</sup>	0.92±0.14 <sup>bc</sup>
MPL	5.70±0.15 <sup>a</sup>	2.61±0.06 <sup>bc</sup>	3.68±0.49 <sup>b</sup>	0.57±0.10 <sup>d</sup>	1.61±0.20 <sup>cd</sup>	1.50±1.44 <sup>cd</sup>	1.33±0.19 <sup>cd</sup>	1.45±0.27 <sup>cd</sup>
LaOQ	6.53±0.20 <sup>a</sup>	3.42±0.03 <sup>c</sup>	4.82±0.23 <sup>b</sup>	1.89±0.10 <sup>e</sup>	0.23±0.03 <sup>f</sup>	1.92±0.05 <sup>e</sup>	2.75±0.26 <sup>d</sup>	2.58±0.35 <sup>d</sup>
LaPP	2.95±0.22 <sup>a</sup>	1.88±1.22 <sup>bc</sup>	2.29±0.52 <sup>ab</sup>	1.62±0.38 <sup>cd</sup>	0.86±0.17 <sup>d</sup>	1.03±0.88 <sup>cd</sup>	1.88±0.09 <sup>bc</sup>	1.52±0.15 <sup>cd</sup>
LaMS	-	0.46±0.12 <sup>b</sup>	-	0.42±0.34 <sup>b</sup>	0.58±0.01 <sup>a</sup>	0.51±0.41 <sup>a</sup>	0.28±0.06 <sup>b</sup>	0.19±0.11 <sup>b</sup>
LaSQ	1.69±0.05 <sup>a</sup>	-	1.53±0.51 <sup>a</sup>	-	-	-	-	0.66±0.04 <sup>b</sup>
MOO	2.02±0.48 <sup>a</sup>	0.48±0.02 <sup>bc</sup>	1.82±0.41 <sup>a</sup>	0.92±0.46 <sup>b</sup>	-	-	-	0.84±0.16 <sup>b</sup>
MPO	0.85±0.09 <sup>b</sup>	0.67±0.00 <sup>b</sup>	0.92±0.51 <sup>b</sup>	0.33±0.07 <sup>bc</sup>	0.45±0.38 <sup>bc</sup>	0.67±0.22 <sup>b</sup>	1.80±0.18 <sup>a</sup>	-
MPP	-	0.30±0.02 <sup>b</sup>	-	-	-	0.33±0.14 <sup>b</sup>	0.88±0.15 <sup>a</sup>	0.45±0.14 <sup>b</sup>
LaSP	-	-	-	-	-	0.36±0.08 <sup>b</sup>	0.48±0.00 <sup>a</sup>	-

หมายเหตุ Ca: capric acid, La: lauric acid, M: myristic acid, P: palmitic acid, S: stearic acid, O: oleic acid และ L: linoleic acid

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ในขณะที่ VCO ที่ผลิตจากทั้งส่วนเยื่อกะลา และเนื้อมะพร้าว ยังคงมีองค์ประกอบ ไตรกลีเซอไรด์ที่ใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวอื่นๆ ที่ผลิตจากส่วนของเนื้อมะพร้าวเพียงอย่างเดียว

#### 4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 6 FFA เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ทางเคมี หรือ ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำโดยมีเอนไซม์ไลเปส ความร้อน และแสง เป็นตัวเร่ง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า hydrolytic rancidity (วิภาวรรณ ศรีมุข, 2546) FFA เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถบ่งบอกคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของน้ำมันได้คร่าวๆ จากตารางที่ 6 พบว่า FFA ของ CTO มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน APCC ( $\leq 0.5$ ) (APCC, 2009) เช่นเดียวกับรายงานของ Zhang et al. (2016) ที่ทำการศึกษาค่าคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวที่สกัดด้วยตัวทำละลายเทียบกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งจากรายงานพบว่า FFA ของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีค่าเท่ากับ 13.37 % ซึ่งสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และยังสูงกว่าปริมาณ FFA ที่ได้จากการทดลองอีกด้วย ซึ่งอาจเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำมันแตกต่างกัน จากตารางที่ 6 ปริมาณ FFA ของ CTO ที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ สามารถบ่งชี้ได้ว่า CTO มีโอกาสที่จะเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ เนื่องจาก FFA เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆ ที่เป็นสาเหตุให้น้ำมันเสื่อมเสีย เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation), ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นต้น (ปัจฉิมาภรณ์ อุดมคุณ, 2549)

IV เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid, USFA) (Ghani et al., 2018) โดยที่ USFA สามารถทำให้น้ำมันเสื่อมเสียคุณภาพได้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (เบญจรัก วายุภาพ, 2551) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้น้ำมันมีคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับพันธะคู่ใน USFA ก่อให้เกิดสารประกอบต่างๆ เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกลุ่มที่ทำให้เกิด สี กลิ่น และรส ที่ผิดปกติไป จากผลการทดลองค่า IV ของ VCO, CKO และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าอื่นๆ อยู่ในช่วง 6.37–7.68 g I<sub>2</sub>/100 g ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ APCC (4.1-11) (APCC, 2009) ในขณะที่ CTO และ CNO มีค่า IV เท่ากับ 14.76 และ 11.73 g I<sub>2</sub>/100 g ตามลำดับ ซึ่งค่า IV ของ CTO ในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่า IV ของ CTO

ในรายงานของ Zhang et al. (2016) ที่มีค่าเท่ากับ 14.69 g I<sub>2</sub>/100 g คาดว่า CTO และ CNO นั้นประกอบไปด้วย USFA ในปริมาณสูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำมันทั้งสองชนิดนี้มีโอกาสเสื่อมเสียได้สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	FFA (%)	IV (g I <sub>2</sub> /100 g)	SV (KOH mg/1g)	MC (%)
CTO	0.91 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.76 ± 0.31 <sup>a</sup>	259.40 ± 0.30 <sup>d</sup>	0.01±0.01 <sup>d</sup>
VCO	0.20 ± 0.03 <sup>c</sup>	7.41 ± 0.28 <sup>c</sup>	283.18 ± 1.01 <sup>b</sup>	0.03±0.02 <sup>cd</sup>
CNO	0.03 ± 0.01 <sup>d</sup>	11.73 ± 0.25 <sup>b</sup>	283.74 ± 0.91 <sup>b</sup>	0.05±0.04 <sup>b</sup>
CKO	0.07 ± 0.01 <sup>c</sup>	6.37 ± 0.16 <sup>d</sup>	272.91 ± 0.43 <sup>c</sup>	0.03±0.02 <sup>cd</sup>
CM1	0.04 ± 0.01 <sup>cd</sup>	6.39 ± 0.43 <sup>d</sup>	273.73 ± 0.52 <sup>c</sup>	0.03±0.01 <sup>cd</sup>
CM2	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>	7.68 ± 0.22 <sup>c</sup>	288.45 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>cd</sup>
CM3	0.07 ± 0.01 <sup>c</sup>	7.35 ± 0.06 <sup>c</sup>	272.08 ± 1.22 <sup>c</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>
CM4	0.07 ± 0.01 <sup>c</sup>	7.63 ± 0.23 <sup>c</sup>	283.17 ± 1.92 <sup>b</sup>	0.04±0.01 <sup>cd</sup>
APCC standard	≤0.5	4.1-11	248-285	≤0.3

หมายเหตุ FFA: free fatty acid, IV: iodine value, SV: saponification value และ

MC: moisture content

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

SV เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ถ้าค่า SV สูง แสดงว่าน้ำมันนั้นๆ ประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันสายสั้นเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จากตารางที่ 6 พบว่าตัวอย่างน้ำมันทั้งหมดมีค่า SV อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน APCC (248-285) (APCC, 2009) ยกเว้นตัวอย่าง CM2 ที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์เล็กน้อย ในขณะที่ CTO มีค่า SV ต่ำที่สุด เนื่องจาก CTO มีองค์ประกอบของกรดไขมันสายสั้น และสายกลางบางชนิด (C8:0, C10:0 และ C12:0) น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ แต่มีปริมาณของกรดไขมันสายยาวบางชนิด (C16:0 และ C18:1) มากกว่าน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ



ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำมันทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.01-0.05 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน APCC ( $\leq 0.3$ ) (APCC, 2009) น้ำ หรือ ความชื้นสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืน (hydrolytic rancidity) ได้และสืบเนื่องไปยังปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่สามารถสร้างสารประกอบต่างๆ ที่ส่งผลให้เกิด กลิ่น รส และสี ของน้ำมันที่ผิดปกติ (Chukwu, 2013; Udoh et al., 2017)

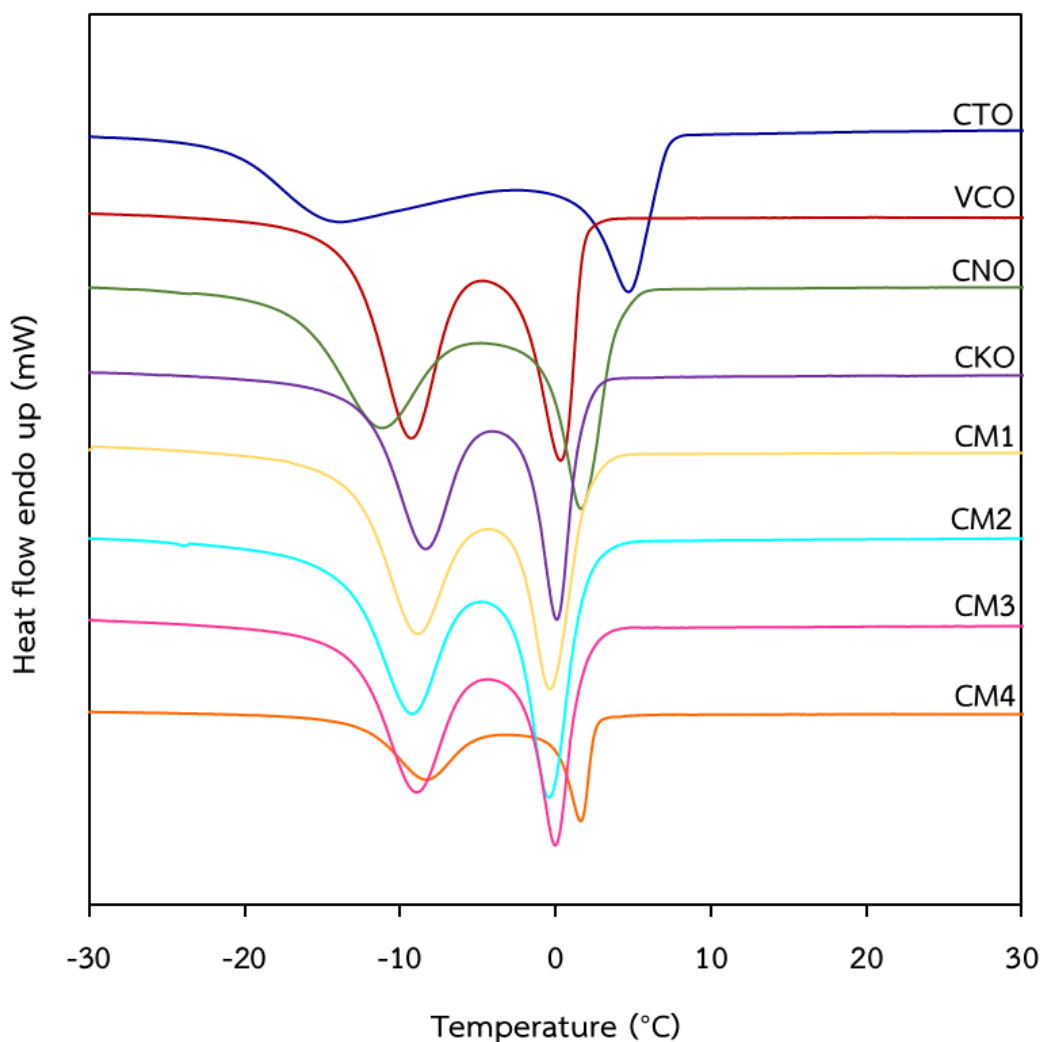
จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า CTO นั้นอาจไม่คงตัวในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากมีค่า FFA และค่า IV ที่สูง โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนี้เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกว่า CTO มีโอกาสที่จะเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้ง่ายกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ

#### 4.4 พฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลว

##### 4.4.1 พฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลววิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC

จากการศึกษาพฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึกด้วยเทคนิค DSC ของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิด ได้ผลการศึกษาเป็นเทอร์โมแกรมดังแสดงในภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากเทอร์โมแกรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ภาพที่ 16 แสดงถึงพฤติกรรมการตกผลึก พบว่ามีเพียง CTO เท่านั้นที่มีพฤติกรรมการตกผลึกแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ โดย CTO มีช่วงการตกผลึกที่กว้างกว่า ซึ่งการตกผลึกจะแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรก เริ่มเกิดการตกผลึกตั้งแต่  $10.1^{\circ}\text{C}$  ถึงประมาณ  $-9.5^{\circ}\text{C}$  โดยพีคการตกผลึกหลักอยู่ที่ประมาณ  $4.5^{\circ}\text{C}$  ( $T_{p1}$ ) ซึ่งเป็นการตกผลึกของไตรกลีเซอไรด์ชนิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า และในช่วงที่ 2 เกิดการตกผลึกช่วงประมาณ  $-9.5^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-28.5^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นการตกผลึกของไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า และมีอุณหภูมิการตกผลึกของพีคอยู่ที่ประมาณ  $-15^{\circ}\text{C}$  ( $T_{p2}$ ) (ตารางที่ 7) Myat et al. (2009) รายงานว่าปริมาณของกรดไขมันชนิด SFA มีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการตกผลึก ซึ่ง CTO มีปริมาณ SFA ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ทำให้พีคการตกผลึกที่ 2 ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ และส่วนของพีคการตกผลึกหลักที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น เป็นผลมาจากการมีอยู่ของกรดปาล์มมิติกในปริมาณสูง (14.30 %, ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายยาวที่มีจุดหลอมเหลวสูง ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ มีการตกผลึก 2 ช่วง เช่นเดียวกันแต่ช่วงอุณหภูมิที่เริ่มต้นและสิ้นสุดของการตกผลึกนั้นแตกต่างไปจากของ CTO โดยมีช่วงของการตกผลึกที่ประมาณ  $3.6^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-25.9^{\circ}\text{C}$  ซึ่งพีคหลักของการตกผลึกอยู่ที่ประมาณ  $-0.7$  ถึง  $1.6^{\circ}\text{C}$  ( $T_{p1}$ ) และพีคช่วงที่ 2 อยู่ที่ประมาณ  $-11.3$  ถึง  $-8.5^{\circ}\text{C}$  แต่พีคการตกผลึกของ CNO ช่วงแรกจะเลื่อนไปทางขวาเล็กน้อยโดยพีคจะอยู่ที่ประมาณ  $1.6^{\circ}\text{C}$  และพีคการตกผลึก

ช่วงที่ 2 เลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อยซึ่งพีคจะอยู่ที่ประมาณ  $-11.29^{\circ}\text{C}$  ซึ่งพีคที่ได้มันต่างไปจากรายงานของ Sonwai et al. (2017) ที่ศึกษาการตกผลึกของน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี จากรายงานกล่าวว่าการตกผลึกมีจำนวน 2 พีค พีคแรกและพีคที่ 2 อยู่ที่ประมาณ  $6^{\circ}\text{C}$  และ  $-0.9^{\circ}\text{C}$  สาเหตุที่ผลการทดลองต่างกันอาจเนื่องจากการใช้อัตราการลดอุณหภูมิ (cooling rate) ต่างกันโดยในรายงานของ Sonwai et al. (2017) นั้นใช้อัตราการลดอุณหภูมิที่  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ในขณะที่ในการทดลองนี้ใช้อัตราการลดอุณหภูมิ เท่ากับ  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ซึ่งการใช้อัตราการลดอุณหภูมิที่เร็วกว่าส่งผลให้พีคที่ได้ป้านขึ้น และเลื่อนไปทางที่อุณหภูมิต่ำลง (Uthaipan et al., 2015)



ภาพที่ 16 เทอร์โมแกรมการตกผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

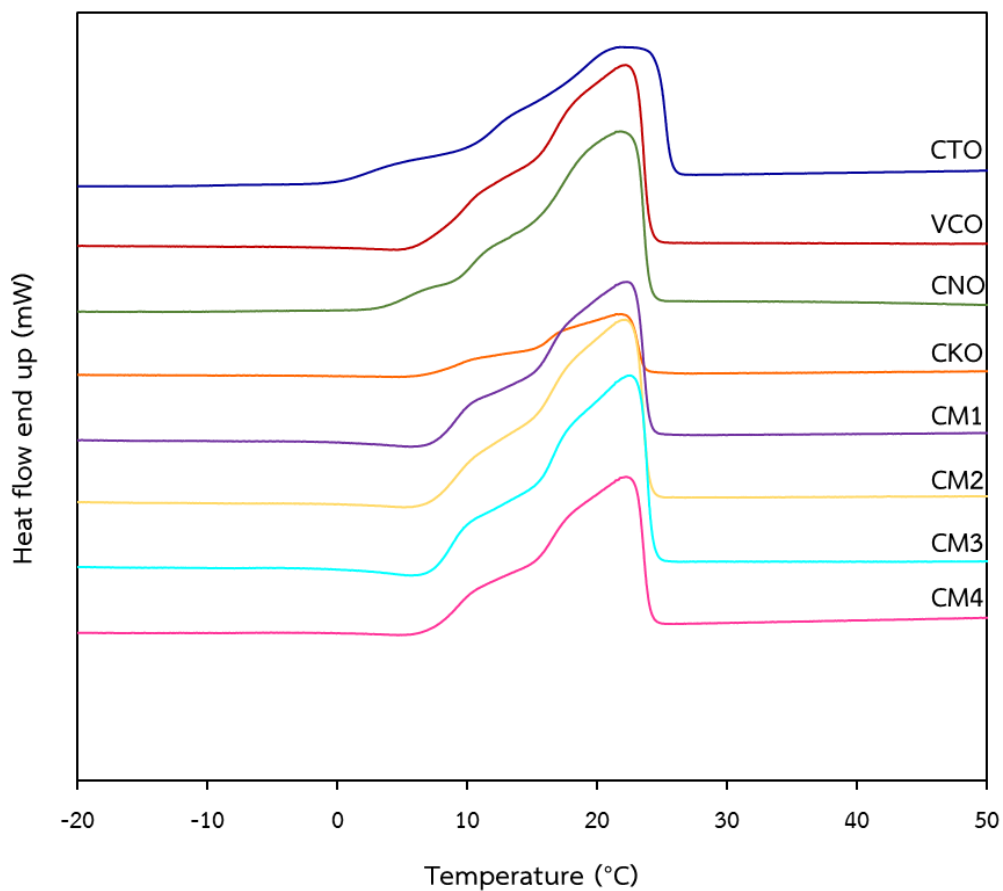
ตารางที่ 7 อุณหภูมิ และเอนทาลปี (enthalpy) ของการตกผลึกน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	Crystallization				
	Onset ( $T_o$ )	Peak1 ( $T_{p1}$ )	Peak2 ( $T_{p2}$ )	Endset ( $T_e$ )	Enthalpy ( $\Delta H$ )
CTO	10.16±3.45 <sup>a</sup>	4.47 ±0.51 <sup>a</sup>	-14.97 ±0.76 <sup>d</sup>	-28.47±0.48 <sup>b</sup>	-92.56±1.01 <sup>a</sup>
VCO	3.60±0.50 <sup>c</sup>	0.25±0.16 <sup>c</sup>	-9.36 ±0.02 <sup>b</sup>	-22.37±0.33 <sup>a</sup>	-117.95±1.41 <sup>d</sup>
CNO	6.85±0.48 <sup>b</sup>	1.62±0.51 <sup>b</sup>	-11.29 ±0.10 <sup>c</sup>	-25.91±0.63 <sup>ab</sup>	-116.22±1.14 <sup>cd</sup>
CKO	5.38±1.17 <sup>bc</sup>	1.20±0.84 <sup>b</sup>	-8.63 ±0.49 <sup>a</sup>	-23.75±2.16 <sup>ab</sup>	-116.90±1.41 <sup>cd</sup>
CM1	5.42±1.45 <sup>bc</sup>	-0.04±0.32 <sup>c</sup>	-8.50 ±0.21 <sup>a</sup>	-23.17±1.57 <sup>a</sup>	-103.11±0.51 <sup>b</sup>
CM2	4.84±0.58 <sup>bc</sup>	-0.66±0.33 <sup>c</sup>	-9.02 ±0.18 <sup>ab</sup>	-25.54±2.40 <sup>ab</sup>	-121.61±1.43 <sup>d</sup>
CM3	5.36±0.19 <sup>bc</sup>	-0.55±0.16 <sup>c</sup>	-9.32 ±0.03 <sup>b</sup>	-25.30±1.84 <sup>ab</sup>	-116.71±1.69 <sup>cd</sup>
CM4	4.68±0.20 <sup>bc</sup>	-0.45±0.67 <sup>c</sup>	-9.10 ±0.09 <sup>ab</sup>	-23.98±3.57 <sup>ab</sup>	-107.45±1.62 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

พฤติกรรมการหลอมเหลวของตัวอย่างน้ำมันชนิด VCO, CNO, CKO และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าอื่นๆ มีลักษณะพีคของการหลอมเหลวที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 17) โดยมีพีคการหลอมเหลวหลักที่มีตำแหน่งของการเกิดการหลอมเหลวสูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 21.6–22.6 °C ( $T_p$ ) มีพีครอง (shoulder peaks) อย่างน้อย 2 พีคอยู่ทางด้านซ้ายของพีคหลัก และมีการหลอมเหลวหมดโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 24.9–25.6 °C ( $T_e$ ) (ตารางที่ 8) ซึ่งต่างไปจากรายงานของ Srivastava et al. (2017) เล็กน้อย โดยรายงานดังกล่าวได้ศึกษาพฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และพบว่าพีคการหลอมเหลวสูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 24 °C และหลอมเหลวหมดโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 26–27 °C ในขณะที่ CTO มีลักษณะพีคของการหลอมเหลวที่กว้างกว่าตัวอย่างอื่นๆ และมีพฤติกรรมการหลอมเหลวที่ต่างออกไป โดยมีการหลอมเหลวสูงที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 21.8 °C ( $T_p$ ) และหลอมเหลวหมดที่อุณหภูมิที่สูงกว่าคือที่ประมาณ 26.6 °C ( $T_e$ ) จากผลการศึกษาพบว่า CTO มีพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลวต่างจากตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก CTO นั้นมีองค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ต่างไปจากตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ ซึ่งจากตารางที่ 4 พบว่า CTO มี SFA อยู่ร้อยละ 77.90 ซึ่งมีปริมาณที่ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ และมี USFA อยู่ร้อยละ 22.23 ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ โดย SFA เป็นกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง

ในขณะที่ USFA เป็นกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ส่งผลให้ CTO มีอุณหภูมิของการหลอมเหลวสูงสุด ( $T_p$ ) ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ยกเว้น CNO และ CKO และการที่ CTO เกิดการหลอมเหลวหมดและเกิดการตกผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ นั้นเป็นไปได้ว่า เพราะ CTO มีกรดไขมันอิ่มตัวสายยาวนั้นคือกรดปาล์มมีติกในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูง



ภาพที่ 17 เทอร์โมแกรมการหลอมเหลวของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

ตารางที่ 8 อุณหภูมิ และเอนทาลปี (enthalpy) ของการหลอมเหลวน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

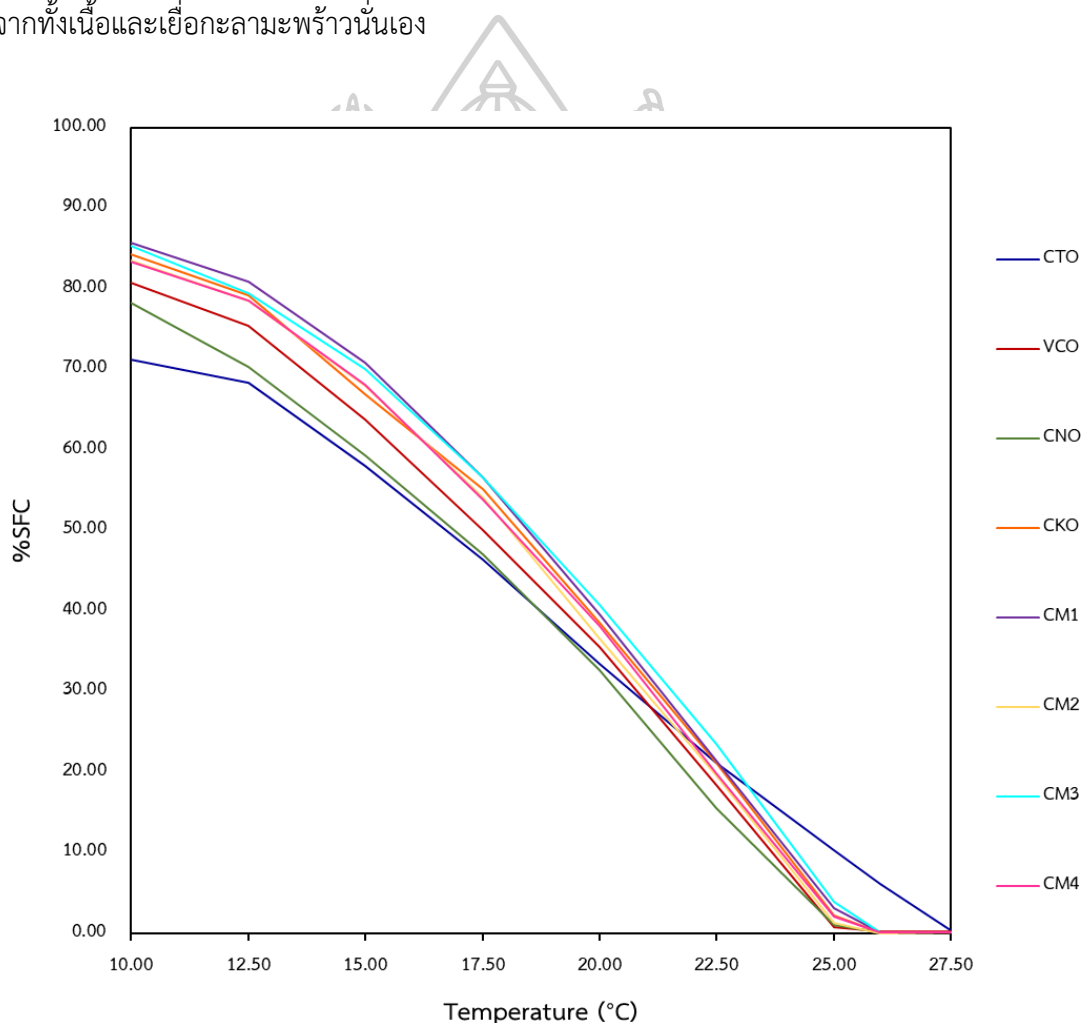
ตัวอย่าง	Melting			Enthalpy ( $\Delta H$ )
	Onset ( $T_o$ )	Peak ( $T_p$ )	Endset ( $T_e$ )	
CTO	-2.09±1.03 <sup>e</sup>	21.82±0.48 <sup>b</sup>	26.56±0.02 <sup>a</sup>	133.60±2.96 <sup>bc</sup>
VCO	5.64±0.51 <sup>c</sup>	22.15±0.01 <sup>ab</sup>	25.12±0.33 <sup>bc</sup>	138.00±1.43 <sup>abc</sup>
CNO	2.80±0.67 <sup>c</sup>	21.56±0.22 <sup>b</sup>	24.91±0.17 <sup>bc</sup>	132.44±1.12 <sup>abc</sup>
CKO	5.67±0.48 <sup>d</sup>	21.81±0.63 <sup>b</sup>	25.43±0.56 <sup>c</sup>	138.66±0.29 <sup>c</sup>
CM1	7.11±0.08 <sup>ab</sup>	22.27±0.16 <sup>ab</sup>	25.55±0.41 <sup>b</sup>	120.49±0.80 <sup>a</sup>
CM2	6.42±0.47 <sup>bc</sup>	22.07±0.13 <sup>ab</sup>	24.92±0.24 <sup>c</sup>	143.01±3.49 <sup>a</sup>
CM3	7.48±0.11 <sup>a</sup>	22.56±0.01 <sup>a</sup>	25.56±0.09 <sup>c</sup>	141.03±0.43 <sup>ab</sup>
CM4	6.14±0.67 <sup>bc</sup>	22.09±0.12 <sup>ab</sup>	25.13±0.13 <sup>b</sup>	127.07±1.24 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.2 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกและพฤติกรรมหลอมเหลว

การศึกษาค่า SFC ของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเทคนิค p-NMR ได้ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 18 พบว่า CKO และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่า SFC และพฤติกรรมหลอมเหลวที่ใกล้เคียงกัน (ดูจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า SFC เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าทั้ง 4 ตัวอย่าง ผลิตจากเนื้อมะพร้าวเท่านั้น ไม่มีการใช้ส่วนของเยื่อกะลามะพร้าวรวมเป็นวัตถุดิบในการผลิตด้วย ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟ SFC เหล่านี้คล้ายคลึงกับรายงานของ Sonwai et al. (2017) ที่ค่า SFC ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีค่ากลายเป็น 0 ที่อุณหภูมิ 27.5 °C ขณะที่ CNO มีค่า SFC ต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าทั้ง 4 ตัวอย่างที่ทุกอุณหภูมิ ส่วน VCO มี SFC ต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้าเล็กน้อยในช่วงอุณหภูมิ 10 – 17.5 °C ทั้งนี้เนื่องจาก VCO นั้นสกัดมาจากทั้งส่วนเยื่อกะลา และเนื้อมะพร้าว ในขณะที่ CTO มี SFC ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดในช่วงอุณหภูมิ 10 – 20 °C แต่มี SFC ที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวอื่นๆ ที่อุณหภูมิช่วง 25 – 26 °C ซึ่งจากผลการศึกษากรดไขมัน

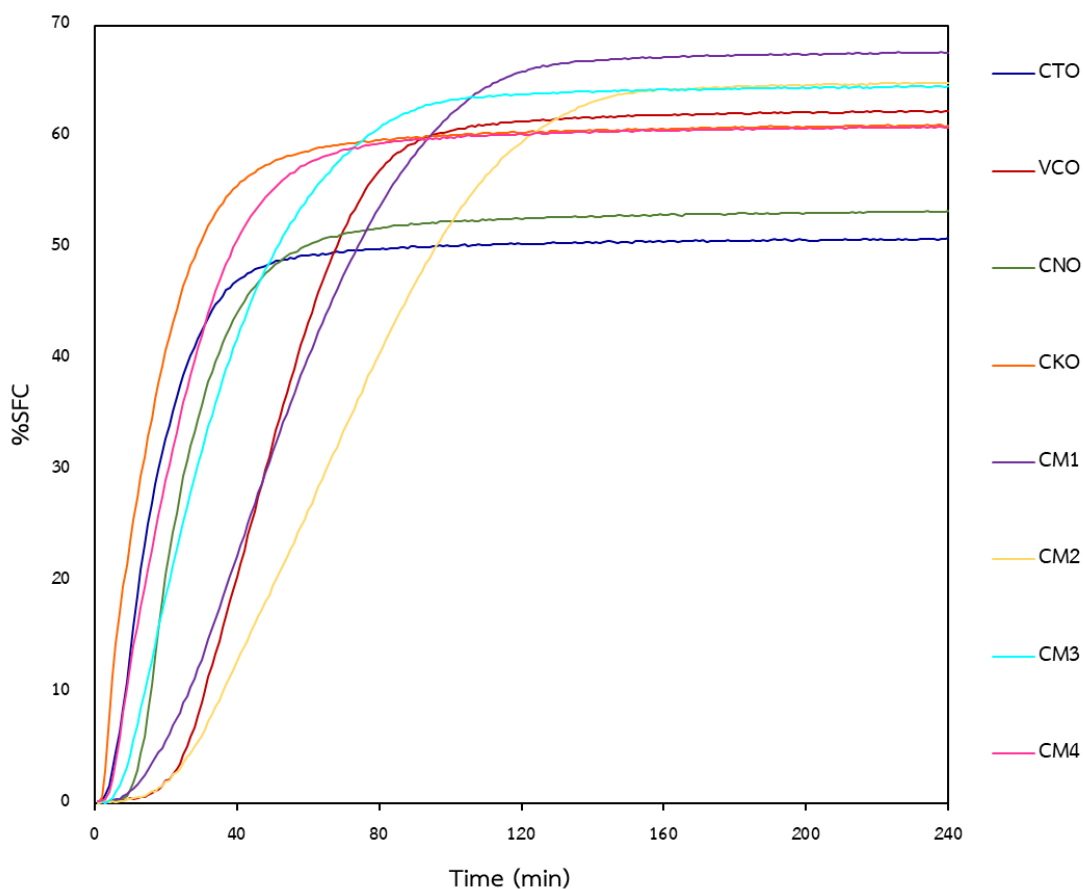
ในตารางที่ 4 พบว่า CTO มีกรดไขมันชนิดปาล์มมิติก โอเลอิก และลิโนเลอิก สูงกว่าในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งกรดโอเลอิก และลิโนอิก เป็นกรดไขมันชนิด USFA ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงทำให้ SFC ในช่วงอุณหภูมิ 10 - 17.5 °C ของ CTO ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ และที่อุณหภูมิช่วง 25 - 26 °C CTO มีค่า SFC สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ เนื่องจากอิทธิพลของกรดปาล์มมิติกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิด SFA ที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูงกว่า จากผลการทดลองจะเห็นว่าเส้นกราฟ SFC ของ VCO อยู่ระหว่างเส้นกราฟของ CTO ซึ่งเป็นน้ำมันที่สกัดมาจากเยื่อกะลามะพร้าว และ CKO ซึ่งเป็นน้ำมันที่สกัดมาจากเนื้อมะพร้าว เนื่องจากว่า VCO นั้นสกัดมาจากทั้งเนื้อและเยื่อกะลามะพร้าวนั่นเอง



ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกของน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิต่างๆ

#### 4.4.3 พฤติกรรมการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่

การศึกษาการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal crystallization) ของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 19 จากภาพพบว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทั้งหมดมีพฤติกรรมการตกผลึกที่แตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบของตัวอย่าง ทั้งชนิดของกรดไขมัน ชนิดของไตรกลีเซอไรด์ และองค์ประกอบรอง (minor-components) ต่างๆ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบ และกระบวนการสกัดน้ำมัน โดยตัวอย่าง CKO, CM3 และ CM4 มีลักษณะกราฟการตกผลึกคล้ายกัน โดยเริ่มตกผลึกตั้งแต่ช่วง 5 นาทีแรกและเข้าถึงสมดุลเร็วที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันเหล่านี้อุดมไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (กรดลอริก, กรดไมริสติก และกรดปาล์มมิติก) เช่น LaLaM, LaMM และ LaMP (Sonwai et al., 2017) ในขณะที่ CTO ก็เริ่มตกผลึกเร็วเช่นกัน เนื่องจากกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบ แต่มี SFC สดท้ายต่ำกว่า เนื่องจากการมีกรดไขมัน USFA ชนิดกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวดำอยู่ในปริมาณสูง (Appaiah et al., 2014) และจากงานวิจัยของ Chai et al. (2018) รายงานว่าการมีอยู่ขององค์ประกอบรองที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ เช่น FFA และสารประกอบฟีนอลิกอาจส่งผลให้ ระยะเวลาที่เริ่มเกิดการตกผลึก (induction time) ลดลง ซึ่งอาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ CTO เริ่มตกผลึกอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ CNO เริ่มตกผลึกช้ากว่า โดยเริ่มตกผลึกช่วงประมาณ 10 นาที และมี SFC ใกล้เคียงกับ CTO แต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากน้ำมันทั้งสองมีสัดส่วนไตรกลีเซอไรด์คล้ายกัน แต่ CNO มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูงกว่า เช่น LaLaLa และ LaLaM ในขณะที่ VCO และ CM1 มีลักษณะการตกผลึกคล้ายกันเนื่องจากมีสัดส่วน และชนิดของไตรกลีเซอไรด์คล้ายคลึงกัน และน้ำมันที่เริ่มตกผลึกช้าที่สุดคือ CM2 แต่มี SFC ที่สมดุลคล้ายกับตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อื่นๆ สาเหตุที่ CM2 เริ่มตกผลึกช้ากว่าตัวอย่างอื่นๆ อาจเป็นเพราะองค์ประกอบรองบางชนิดที่แตกต่างไปในน้ำมันที่ไปขัดขวางการตกผลึกในช่วงแรก โดยสายพันธุ์ของมะพร้าว แหล่งเพาะปลูก และกรรมวิธีผลิตนั้นส่งผลต่อปริมาณและชนิดขององค์ประกอบรอง



ภาพที่ 19 ปริมาณของแข็งในรูปผลึกของน้ำมันมะพร้าวหลังตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C เวลา 4 ชั่วโมง

#### 4.5 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (total phenolic content: TPC) ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9 ปริมาณ TPC ของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 0.13-1.52 mg GAE/ 100 g ซึ่งพบว่า CTO ซึ่งผลิตจากส่วนของเยื่อกะลามะพร้าวมีปริมาณ TPC สูงที่สุดตามด้วยตัวอย่าง CM2 ซึ่งเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อมะพร้าว โดยเมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ ที่ผลิตจากเนื้อมะพร้าวเช่นเดียวกันพบว่าตัวอย่าง CM2 นั้นมีปริมาณ TPC สูงที่สุดตามด้วยตัวอย่าง CM1 ในขณะที่ของตัวอย่าง CM3, CM4 และ CKO นั้นมีค่า TPC ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า VCO ซึ่งเป็นน้ำมันที่ผลิตจากทั้งเยื่อกะลาและเนื้อมะพร้าวนั้นมีปริมาณ TPC ใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวทางการค้า CM1 ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับรายงานของ Appaiyah et al. (2014) ที่รายงานว่าน้ำมันที่สกัดจากเยื่อกะลามะพร้าวนั้นมีปริมาณ TPC สูงสุด ตามด้วยน้ำมันที่สกัด



จากทั้งส่วนของเยื่อกระดาษและเนื้อมะพร้าว สุกท้ายคือน้ำมันที่สกัดจากส่วนของเนื้อมะพร้าวเพียงอย่างเดียว และในส่วนของตัวอย่าง CM2 ที่มีปริมาณ TPC สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดอื่นๆ ยกเว้น CTO อาจเนื่องจากกรรมวิธีสกัดนั้นต่างไปจากตัวอย่างอื่นๆ จากรายงานของ Ghani et al. (2018) กล่าวว่าวิธีการสกัดน้ำมันแบบการหมัก (fermentation: FER) เป็นวิธีสกัดที่ให้ปริมาณ TPC สูงที่สุด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าตัวอย่าง CM2 ได้ใช้วิธีนี้ในการสกัด ในขณะที่ CNO ซึ่งเป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีมีปริมาณ TPC เพียง 0.13 mg GAE/ 100g ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Marina et al. (2009) ที่ทำการศึกษเปรียบเทียบปริมาณ TPC ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดด้วยวิธี chilling (CH), วิธี FER และน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี โดยจากทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีสกัดแบบ FER ให้ปริมาณ TPC สูงที่สุดตามด้วยวิธี CH และน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี ตามลำดับ น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี หรือ CNO เป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ได้แก่ ทำให้สะอาด (refining), ฟอกสี (bleached) และกำจัดกลิ่น (deodorized) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มี 2 ประเภท ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งกระบวนการทั้ง 2 ประเภทนี้ได้มีการใช้ทั้งสารเคมี และต้องผ่านกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้สูญเสียสารประกอบที่มีประโยชน์ไป เช่น สารประกอบฟีนอลิก, โทโคฟีรอล และสเตอรอล เป็นต้น (Jayathilaka & Seneviratne, 2022; นิตสาร วรวิทย์นิพนธ์ และคณะ., 2550)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ หรือ Radical scavenging ability (RSA) แสดงดังตารางที่ 9 ตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ CTO (25.16 %) รองลงมาคือตัวอย่าง VCO, CKO และ CNO (22.77, 22.26 และ 13.45 % ตามลำดับ) โดย VCO และ CKO มีค่า RSA ใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวทางการค้า (CM1, CM2, CM3 และ CM4) ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่า RSA และปริมาณ TPC มีความสัมพันธ์กัน โดย RSA นั้นจะเพิ่มตามปริมาณ TPC นั้นเอง โดยที่สารประกอบฟีนอลิกทั่วไปที่มีกพบในน้ำมันมะพร้าว ได้แก่ caffeic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, catechin, epigallocatechin, gallic acid, -hydroxybenzoic acid, syringic acid และ vanillic acid (Jayathilaka & Seneviratne, 2022) สารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงเบนซีนที่ประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ ซึ่งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารประกอบนั้นๆ ทั้งจำนวน และตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (Dudonné et al., 2011)

ตารางที่ 9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (RSA) ของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

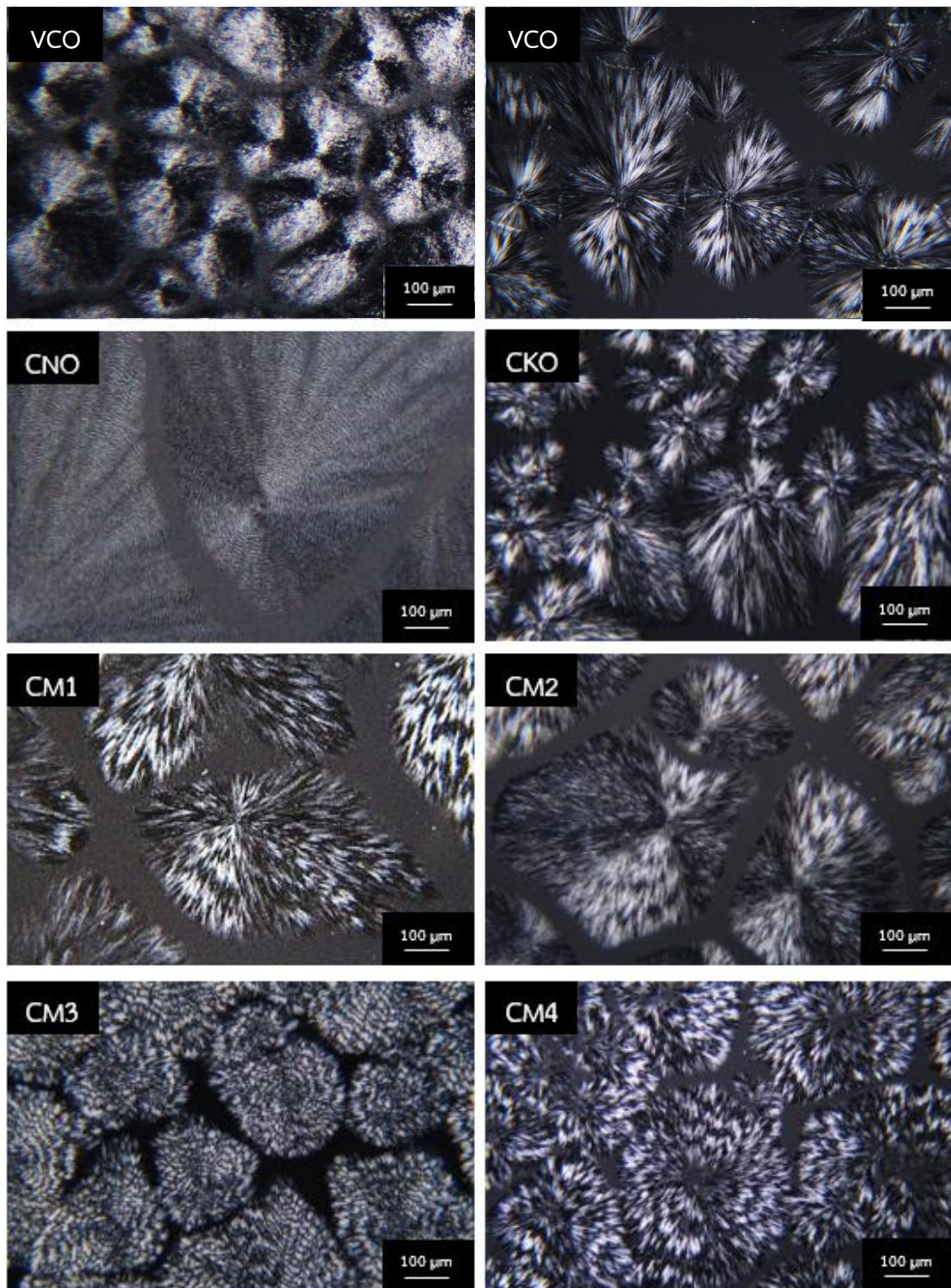
ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	
	TPC (mg GAE/ 100 g)	RSA (% inhibition)
CTO	1.52±0.05 <sup>a</sup>	25.16±0.22 <sup>a</sup>
VCO	0.63±0.03 <sup>c</sup>	22.77±0.22 <sup>bc</sup>
CNO	0.13±0.01 <sup>e</sup>	13.45±0.22 <sup>e</sup>
CKO	0.30±0.01 <sup>d</sup>	22.26±0.00 <sup>cd</sup>
CM1	0.62±0.06 <sup>c</sup>	23.27±0.58 <sup>d</sup>
CM2	0.81±0.01 <sup>b</sup>	23.40±0.38 <sup>d</sup>
CM3	0.34±0.04 <sup>d</sup>	21.76±0.22 <sup>d</sup>
CM4	0.33±0.01 <sup>d</sup>	21.76±0.87 <sup>d</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.6 การศึกษาลักษณะสัณฐานและโครงสร้างของผลึก

##### 4.6.1 ลักษณะสัณฐานและขนาดของผลึก

ลักษณะสัณฐานผลึกของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 20 และตารางที่ 10 พบว่าผลึกของ CTO มีขนาดค่อนข้างเล็กกว่าผลึกของตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ ( $46.12 \mu\text{m}$ ) ในขณะที่ CNO จะมีขนาดผลึกที่ใหญ่ที่สุด ( $88.76 \mu\text{m}$ ) จากงานวิจัยของ Chai et al. (2018) รายงานว่าน้ำมันมะพร้าวที่มีส่วนประกอบของ minor-component ผลึกไขมันจะมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับผลึกไขมันของน้ำมันมะพร้าวที่มีเฉพาะไตรกลีเซอไรด์เท่านั้น และจากรายงานของ Appaiah et al. (2014) พบว่าน้ำมันที่ผลิตจากเยื่อมะพร้าวมีปริมาณ TPC สูงกว่าน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจากเนื้อมะพร้าวเพียงอย่างเดียว และที่ผลิตจากทั้งส่วนของเยื่อมะพร้าวและเนื้อมะพร้าวร่วมกัน ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกต่างๆ ถือเป็นองค์ประกอบรองจึงอาจมีอิทธิพลต่อการตกผลึกของ CTO เป็นผลทำให้รูปร่างและขนาดของผลึกไขมันเปลี่ยนแปลงไป และจากภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าผลึกไขมันของตัวอย่าง CKO และน้ำมันมะพร้าวทางการค้าอื่นๆ มีลักษณะผลึกที่ใกล้เคียงกัน คือ ผลึกมีรูปแบบทรงกลมที่เกิดจากผลึกแบบเข็มที่มีการโตแตกแขนงออกมาจากจุดศูนย์กลางนั่นเอง ซึ่งลักษณะสัณฐานของผลึกมีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัส



ภาพที่ 20 ผลึกของน้ำมันมะพร้าวหลังจากตกผลึกที่ 12 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุเท่ากับ 10 เท่า

ของอาหาร โดยถ้าผลึกมีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากจะทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารมีความเรียบเนียน แต่ถ้าผลึกมีขนาดใหญ่จะให้เนื้อสัมผัสที่ไม่เรียบเนียนและขรุขระ ซึ่งจะสามารถสัมผัสลักษณะนี้ได้โดย เพดานปาก

ตารางที่ 10 ขนาดผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

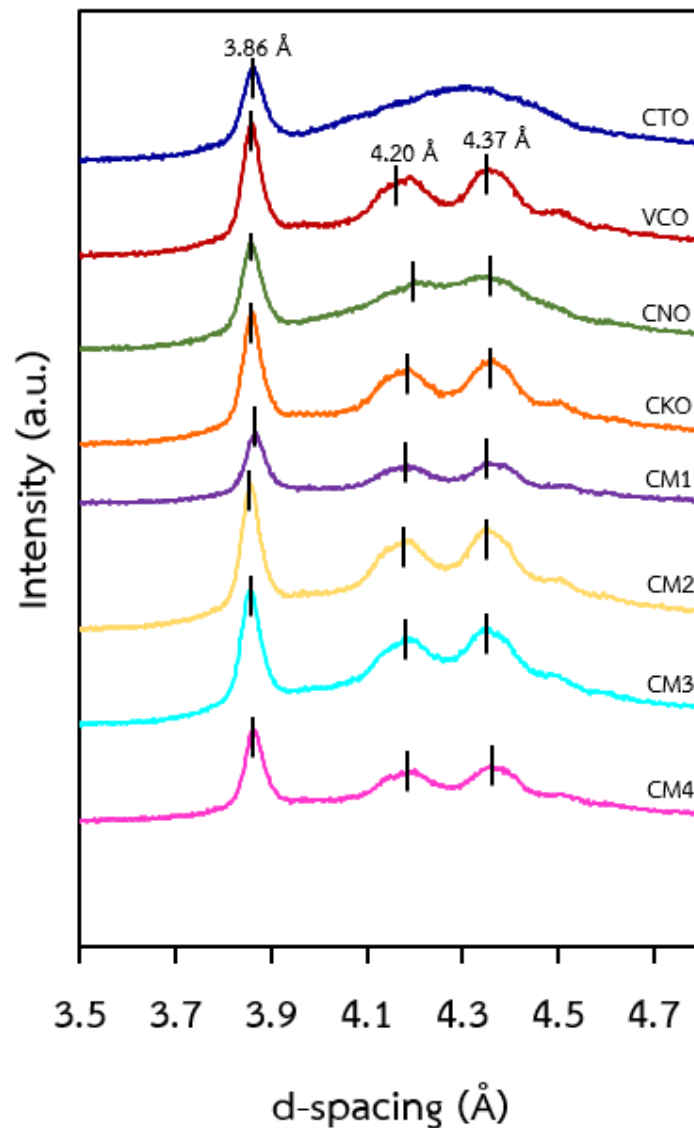
ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ( $\mu\text{m}$ )
CTO	50.83 $\pm$ 8.37 <sup>d</sup>
VCO	68.28 $\pm$ 5.32 <sup>c</sup>
CNO	88.76 $\pm$ 5.47 <sup>a</sup>
CKO	68.40 $\pm$ 5.48 <sup>c</sup>
CM1	80.07 $\pm$ 13.94 <sup>b</sup>
CM2	79.24 $\pm$ 11.59 <sup>b</sup>
CM3	80.41 $\pm$ 16.79 <sup>b</sup>
CM4	80.99 $\pm$ 7.55 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.6.2 ลักษณะโครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกไตรกลีเซอไรด์พื้นฐานที่มักพบจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค x-ray diffraction (XRD) ได้แก่  $\alpha$ ,  $\beta'$  และ  $\beta$  ซึ่งมีพีค Wide-angle X-ray diffraction (WAXD) ที่ค่า d-spacing เท่ากับ 4.12 Å ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกรูปแบบ  $\alpha$  4.2 Å และ 3.8 Å สำหรับรูปแบบ  $\beta'$  และ 4.53 Å สำหรับรูปแบบ  $\beta$  (Campbell et al., 2002) จากการศึกษา ลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 21 โดยพบว่าตัวอย่าง น้ำมันมะพร้าวทั้งหมดมีพีคหลักอยู่ที่ 3.86 Å เช่นเดียวกับรายงานผลของ Chai et al. (2018) และ Sonwai et al. (2017) แต่พบว่าตัวอย่าง CTO นั้นมีเพียงพีคหลักเพียงพีคเดียว และตัวอย่าง น้ำมันมะพร้าวอื่นๆ ได้แก่ VCO, CNO, CKO และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้ายี่ห้อต่างๆ นอกจากพีคหลักที่พบแล้วยังพบพีคย่อยอีก 2 พีค ได้แก่ พีคที่ 4.20 Å และ 4.37 Å และจากรายงานของ Yap et al. (1989) ได้กล่าวว่าที่ค่า d-spacing เท่ากับ 4.36 Å แสดงถึงผลึกในรูปแบบ  $\beta'$  ด้วยเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นว่าพีคทั้งหมดที่พบในตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวทุกชนิดแสดงถึงโครงสร้างผลึกในรูปแบบ  $\beta'$  ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับรายงานของ Ribeiro et al. (2015) ที่กล่าวว่าน้ำมันมะพร้าว

มีแนวโน้มที่จะตกผลึกในรูปแบบ  $\beta'$  โดยทั่วไปแล้วไขมันและน้ำมันจะตกผลึกใน 3 รูปแบบ ได้แก่  $\alpha$ ,  $\beta'$  และ  $\beta$  โดยโครงสร้างผลึกรูปแบบ  $\beta'$  เป็นโครงสร้างที่เสถียรรองลงมาจากรูปแบบ  $\beta$  ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด รูปแบบโครงสร้างผลึกนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์จากไขมัน เช่น เนยขาว เนยเทียม และช็อกโกแลต เป็นต้น โดยที่ผลึกรูปแบบ  $\beta'$  มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์จากไขมันมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม มีความสามารถในการปลดเกลี่ยที่ดี และมีลักษณะที่เป็นครีม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในผลิตภัณฑ์จำพวกเนยเทียม (Ribeiro et al., 2015)



ภาพที่ 21 ลักษณะโครงสร้างผลึกของน้ำมันมะพร้าวชนิดต่างๆ

## บทที่ 5

### สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ พฤติกรรมการหลอมเหลวและการตกผลึก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตจากส่วนต่างๆของผลมะพร้าว ได้แก่ CTO, CKO และ VCO น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทางการค้ายี่ห้ออื่นๆ 4 ยี่ห้อ รวมถึง CNO พบว่า CTO มีองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์แตกต่างไปจากตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ โดย CTO มีกรดไขมันชนิดปาล์มมิติก โอเลอิก และลิโนเลอิกในปริมาณสูง ส่งผลต่อองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ด้วยเช่นกัน โดย CTO ประกอบไปด้วยด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิด LaLaO, LaMM, LLaO, LaMO, LaMP, MPL และ LaOO สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ จึงส่งผลให้ CTO มีพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลวต่างจากตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ โดยมีช่วงการตกผลึกและหลอมเหลวที่กว้าง และยังพบว่าที่อุณหภูมิ 25-26 °C CTO มีค่า SFC ที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ และในส่วนของการศึกษาปริมาณ TPC พบว่า CTO มีปริมาณ TPC สูงที่สุด ซึ่ง TPC มีความสัมพันธ์กับค่า RSA ส่งผลให้ RSA สูงเช่นเดียวกัน และจากการศึกษาลักษณะสัณฐานและโครงสร้างของผลึกพบว่า ผลึกของ CTO มีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ และมีโครงสร้างผลึกรูปแบบ  $\beta'$  เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำมันอื่นๆ โดยที่ผลึกรูปแบบ  $\beta'$  มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์จากไขมันมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม มีความสามารถในการปาดเกลี่ยที่ดี มีลักษณะที่เป็นครีม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในผลิตภัณฑ์จำพวกเนยเทียม ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าวมีคุณประโยชน์และคุณสมบัติที่ต่างไปจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ จึงควรมีการสกัดน้ำมันจากเยื่อกะลามะพร้าวมาใช้ในทางการค้าเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

## รายการอ้างอิง

- Aidos, I., Lourenco, S., Van Der Padt, A., Luten, J. B., & Boom, R. M. (2002). Stability of Crude Herring Oil Produced from Fresh Byproducts: Influence of Temperature during Storage. *Journal of Food Science*, 67(9), 3314-3320.  
doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09585.x>
- Akinnuga, A. M., Jeje, S. O., Bamidele, O., & Sunday, V. E. (2014). Dietary Consumption of Virgin Coconut Oil Ameliorates Lipid Profiles in Diabetic Rats. *Physiology Journal*, 2014, 256236. doi:10.1155/2014/256236
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Arlington, VA: AOAC International.
- AOCS. (1989). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (D. Firestone Ed. 4th ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society.
- AOCS. (1993). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (3rd ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society, Champaign.
- AOCS. (1997). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (5th ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society, Champaign.
- AOCS. (1998). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*: AOAC International, Arlington, VA.
- AOCS. (2013). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*. Champaign: American Oil Chemists' Society, Champaign.
- APCC standards for virgin coconut oil, (2009).
- Appaiah, P., L, S., P K, P. K., & A.G, G. K. (2014). Composition of Coconut Testa, Coconut Kernel and its Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91, 917-924.  
doi:10.1007/s11746-014-2447-9
- Appaiah, P., L, S., P K, P. K., Gurusiddaiah, S., & A.G, G. K. (2022). Coconut Testa -Review ICJ Dec 2021. 11-18.

- Babayan, V. K. (1988). Medium chain triglycerides. In J. Beare-Rodgers (Ed.), *Dietary Fat Requirements in Health and Development* (pp. 73-86): Am. Oil Chem. Soc.
- Bhatnagar, A. S., Prasanth Kumar, P. K., Hemavathy, J., & Gopala Krishna, A. G. (2009). Fatty Acid Composition, Oxidative Stability, and Radical Scavenging Activity of Vegetable Oil Blends with Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(10), 991-999. doi:<https://doi.org/10.1007/s11746-009-1435-y>
- Boistelle, R., & Astier, J. P. (1988). Crystallization mechanisms in solution. *Journal of Crystal Growth*, 90(1), 14-30. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-0248\(88\)90294-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(88)90294-1)
- BTSA. (2019). Physical properties of oils and fats. Retrieved from <https://www.btsa.com/en/physical-properties-of-oils-and-fats/>. Retrieved 2 february 2023 <https://www.btsa.com/en/physical-properties-of-oils-and-fats/>
- Campbell, S., Goff, H. D., & Rousseau, D. (2002). Comparison of crystallization properties of a palm stearin/canola oil blend and lard in bulk and emulsified form. *Food Research International*, 35, 935-944. doi:10.1016/S0963-9969(02)00156-4
- Chai, X.-h., Meng, Z., Cao, P.-r., Liang, X.-y., Piatko, M., Campbell, S., . . . Liu, Y.-f. (2018). Influence of indigenous minor components on fat crystal network of fully hydrogenated palm kernel oil and fully hydrogenated coconut oil. *Food Chemistry*, 255, 49-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.020>
- Chai, X., Meng, Z., Jiang, J., Cao, P., Liang, X., Piatko, M., . . . Liu, Y. (2018). Non-triglyceride components modulate the fat crystal network of palm kernel oil and coconut oil. *Food Res Int*, 105, 423-431. doi:10.1016/j.foodres.2017.11.060
- Chatterjee, P., Fernando, M., Fernando, B., Dias, C. B., Shah, T., Silva, R., . . . Martins, R. N. (2020). Potential of coconut oil and medium chain triglycerides in the prevention and treatment of Alzheimer's disease. *Mech Ageing Dev*, 186, 111209. doi:10.1016/j.mad.2020.111209
- Chew, S. C., & Nyam, K. L. (2020). Chapter 6 - Refining of edible oils. In C. M. Galanakis (Ed.), *Lipids and Edible Oils* (pp. 213-241): Academic Press.
- Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169-186. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Chukwu, O. (2013). Effect of Moisture Content on some Quality Parameters of



- Mechanically Expressed Neem Seed Kernel Oil. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 2, 1-7.
- DebMandal, M., & Mandal, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.: Areaceae): In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 241-247. doi:[https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60078-3](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60078-3)
- Dudonné, S., Poupard, P., Coutière, P., Woillez, M., Richard, T., Mérillon, J. M., & Vitrac, X. (2011). Phenolic composition and antioxidant properties of poplar bud (*Populus nigra*) extract: individual antioxidant contribution of phenolics and transcriptional effect on skin aging. *J Agric Food Chem*, 59(9), 4527-4536. doi:10.1021/jf104791t
- Duthie, G. G., Duthie, S. J., & Kyle, J. A. (2000). Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutr Res Rev*, 13(1), 79-106. doi:10.1079/095442200108729016
- Feiner, G. (2016). Chapter 1 - Meat and Fat. In G. Feiner (Ed.), *Salami* (pp. 3-30): Academic Press.
- Ghani, N. A. A., Channip, A.-A., Chok Hwee Hwa, P., Ja'afar, F., Yasin, H. M., & Usman, A. (2018). Physicochemical properties, antioxidant capacities, and metal contents of virgin coconut oil produced by wet and dry processes. *Food science & nutrition*, 6(5), 1298-1306. doi:10.1002/fsn3.671
- Gibson, M., & Newsham, P. (2018). Chapter 16 - Lipids, Oils, Fats, and Extracts. In M. Gibson & P. Newsham (Eds.), *Food Science and the Culinary Arts* (pp. 323-340): Academic Press.
- Habtemariam, S. (2019). Other common and exotic foods with growing importance as antidiabetic agents. In (pp. 985-1047).
- Hamad, H. A. M. (2021). Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis. In A. B. Farid (Ed.), *Phenolic Compounds* (pp. Ch. 4). Rijeka: IntechOpen.
- Hassanien, M. (2019). *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*.
- Jadhav, H. B., & Annapure, U. S. (2022). Triglycerides of medium-chain fatty acids: a concise review. *J Food Sci Technol*, 1-10. doi:10.1007/s13197-022-05499-w
- Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2022). Phenolic antioxidants in coconut oil: Factors

- affecting the quantity and quality. A review. *Grasas y Aceites*, 73(3), e466.  
doi:10.3989/gya.0674211
- Kamila, C., Thaís Jordânia, S., Maria Aliciane Fontenele, D., Daniel, B.-A., & Ana Paula Badan, R. (2019). Conventional and Unconventional Crystallization Mechanisms. In G. Vadim (Ed.), *Crystal Growth* (pp. Ch. 6). Rijeka: IntechOpen.
- Kim, B., Lumor, S., & Akoh, C. (2008). trans -Free Margarines Prepared with Canola Oil/Palm Stearin/Palm Kernel Oil-Based Structured Lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8195-8205. doi:10.1021/jf801412v
- Lalita, A., Peesamai, J., Panida, S., Amornrat, S., & Pravit, T. (2006). *Virgin coconut oil production*: Bangkok : Thailand institute of scientific and technological research.
- Layne, M. (2019). 10.15: Lipids-Part 2. Retrieved from [https://chem.libretexts.org/Courses/University\\_of\\_Illinois\\_Springfield/UIS%3A\\_CH\\_E\\_267\\_-\\_Organic\\_Chemistry\\_I\\_\(Morsch\)/Chapters/Chapter\\_10%3A\\_Alkenes/10.15%3A\\_Lipids%E2%80%94Part\\_2](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Illinois_Springfield/UIS%3A_CH_E_267_-_Organic_Chemistry_I_(Morsch)/Chapters/Chapter_10%3A_Alkenes/10.15%3A_Lipids%E2%80%94Part_2)
- Maria Aliciane Fontenele, D., Ana Paula Badan, R., Theo Guenter, K., Luiz Antonio, G., Renato, G., Lisandro Pavie, C., & Lireny Aparecida Guaraldo, G. (2015). Advances in Lipids Crystallization Technology. In M. Yitzhak (Ed.), *Advanced Topics in Crystallization* (pp. Ch. 5). Rijeka: IntechOpen.
- Marina, A., Man, Y., Hamid, N., & A, I. (2009). Antioxidant capacity and phenolic acids of virgin coconut oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60 Suppl 2, 114-123. doi:10.1080/09637480802549127
- Masyithah, Z. (2017). Parametric Study in Production of Virgin Coconut Oil by Fermentation Method. *Orient J Chem*, 6, 33.
- Myat, M. W., Mohammed, A., Mohd Ghazali, H., & Karim, R. (2009). Physicochemical and sensory characteristics of palm olein and peanut oil blends. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7, 175-181.
- Narayanankutty, A., Parathodi Illam, S., & Raghavamenon, A. (2018). Health impacts of different edible oils prepared from coconut (*Cocos nucifera*): A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 80, Article in press.  
doi:10.1016/j.tifs.2018.07.025

- P K, P. K., & A.G, G. K. (2015). Physicochemical characteristics of commercial coconut oils produced in India. *Grasas y Aceites*, 66, e062. doi:10.3989/gya.0228141
- Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2015). Current update on the influence of minor lipid components, shear and presence of interfaces on fat crystallization. *Current Opinion in Food Science*, 3, 65-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.010>
- Pham, L. J., Casa, E. P., Gregorio, M. A., & Kwon, D. Y. (1998). Triacylglycerols and regiospecific fatty acid analyses of philippine seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 807-811. doi:10.1007/s11746-998-0230-5
- PHYATHAI. (2563). หัวใจจะแข็งแรงได้...แค่เลือกกินกรดไขมันให้เป็น.
- Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *J Nat Prod*, 63(7), 1035-1042. doi:10.1021/np9904509
- Plangklang, T., Khuwijtjaru, P., Klinchongkon, K., & Adachi, S. (2021). Chemical composition and antioxidant activity of oil obtained from coconut meal by subcritical ethanol extraction. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4128-4137. doi:10.1007/s11694-021-00989-5
- Rahman, H. I. H. A. (2000). *The Chemistry of Coconut Oil*. Scientia Bruneiana,
- Ribeiro, A. P., Masuchi, M. H., Miyasaki, E. K., Domingues, M. A., Stroppa, V. L., de Oliveira, G. M., & Kieckbusch, T. G. (2015). Crystallization modifiers in lipid systems. *J Food Sci Technol*, 52(7), 3925-3946. doi:10.1007/s13197-014-1587-0
- Rogers, M. A., Abraham, S., Bodondics, F., & Weiss, R. G. (2012). Influence of the Hydroxyl Position in Racemic Hydroxyoctadecanoic Acids on the Crystallization Kinetics and Activation Energies of Gels and Dispersions in Mineral Oil. *Crystal Growth & Design*, 12(11), 5497-5504. doi:10.1021/cg301071x
- Rohman, A., Irnawati, Erwanto, Y., Lukitaningsih, E., Rafi, M., Fadzilah, N. A., . . . Zakaria, Z. (2021). Virgin Coconut Oil: Extraction, Physicochemical Properties, Biological Activities and Its Authentication Analysis. *Food Reviews International*, 37(1), 46-66. doi:10.1080/87559129.2019.1687515
- Rosenthal, A., Pyle, D. L., & Niranjana, K. (1996). Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction. *Enzyme and Microbial Technology*, 19(6), 402-420. doi:[https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(96\)80004-F](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(96)80004-F)
- Sato, K. (2001). Crystallization behaviour of fats and lipids—a review. *Chemical*

*engineering science*, 56(7), 2255-2265.

- Seneviratne, K. N., Hapuarachchi, C. D., & Ekanayake, S. (2009). Comparison of the phenolic-dependent antioxidant properties of coconut oil extracted under cold and hot conditions. *Food Chemistry*, 114(4), 1444-1449.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.038>
- Shah, S., Sharma, A., & Gupta, M. N. (2005). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresour Technol*, 96(1), 121-123. doi:10.1016/j.biortech.2004.02.026
- Sonwai, S., Rungprasertphol, P., Nantipipat, N., Tungvongcharoan, S., & Laiyangkoon, N. (2017). Characterization of Coconut Oil Fractions Obtained from Solvent Fractionation Using Acetone. *Journal of oleo science*, 66(9), 951-961.  
doi:10.5650/jos.ess16224
- Srivastava, Y., Semwal, A. D., Sajeevkumar, V. A., & Sharma, G. K. (2017). Melting, crystallization and storage stability of virgin coconut oil and its blends by differential scanning calorimetry (DSC) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *J Food Sci Technol*, 54(1), 45-54. doi:10.1007/s13197-016-2427-1
- Udoh, J. E., Olayanju, T. M. A., Dairo, O. U., & Alonge, A. F. (2017). Effect of Moisture Content on the Mechanical and Oil Properties of Soursop Seeds. *Chemical engineering transactions*, 58, 361-366.
- Uthaipan, N., Jarnthong, M., Peng, Z., Junhasavasdikul, B., Nakason, C., & Thitithammawong, A. (2015). Effects of cooling rates on crystallization behavior and melting characteristics of isotactic polypropylene as neat and in the TPVs EPDM/PP and EOC/PP. *Polymer Testing*, 44, 101-111.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.04.002>
- Velasco, J. n., Andersen, M. L., & Skibsted, L. H. (2004). Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. A comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry. *Food Chemistry*, 85(4), 623-632.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.020>
- Yap, P. H., deMan, J. M., & deMan, L. (1989). Polymorphic stability of hydrogenated canola oil as affected by addition of palm oil. *Journal of the American Oil*

- Chemists' Society*, 66(12), 1784-1791. doi:10.1007/BF02660748
- Zeece, M. (2020). Chapter Four - Lipids. In M. Zeece (Ed.), *Introduction to the Chemistry of Food* (pp. 127-161): Academic Press.
- Zhang, Y., Zheng, Y., Duan, K., & Gui, Q. (2016). Preparation, antioxidant activity and protective effect of coconut testa oil extraction on oxidative damage to human serum albumin. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 946-953. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.12945>
- Zheng, W., & Wang, S. Y. (2001). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5165-5170. doi:10.1021/jf010697n
- คณิตา กิตติรัตน์ไพบูลย์, จินดารัตน์ โตกมลธรรม, & คณิต ฤกษ์นังกูร. (2552). การหาค่าประกอบต่างๆ ใน น้ำมันพืชบริโภคที่วางจำหน่ายในประเทศไทยโดยวิธีโครมาโตกราฟีของเหลวแรงดันสูงแบบแยกตามขนาด. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 241-251.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2565). มะพร้าวไทย ส่งออกโตเกินคาด ชาวสวนปาดน้ำตา ราคาไม่เป็นธรรม. ไทยรัฐ.
- นิตากร วรอุทัยนันท์, ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, & สมนึก สุขัยธนาวิช. (2550). การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้. *วารสารอาหาร*, 37(1), 27-32.
- เนตรนภา เมยกลาง. (2557). การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. *วารสารวิจัย มข.*, 14(4), 69-70.
- วายุภาพ เบ็ญจรัก. (2551). การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทอดประเภทต่างๆ. *วารสารอาหาร*, 38(1), 65-73.
- วิภาวรรณ ศรีมุข. (2546). การศึกษาคุณภาพของน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค. กรุงเทพฯ: กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. (2544). การปลูกมะพร้าว. In. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมหมาย ปะติตั้งไข. (2562). ไขมันและน้ำมัน. In เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเคมีอินทรีย์. บุรีรัมย์: มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- สมานวนกิจ หลวง. (2497). ความรู้เรื่องมะพร้าว. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ. (2562). รายงานสินค้าน้ำมันมะพร้าวในตลาดสหรัฐอเมริกา (HS Code 1513). In: กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์.
- อธิป สกกุลเผือก. (2559). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ. In. สงขลา: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุดมคุณ ปัจฉิมาภรณ์. (2549). ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด. (2555). เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 1205723. อุบลราชธานี: คณะเกษตรศาสตร์ สาขา  
เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.





ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## วิธีการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA)

AOCS official Method Ca 5a-40 (AOCS, 1989)

## อุปกรณ์

1. ขวด รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. หลอดหยดสาร 3 มิลลิลิตร
3. ชุดอุปกรณ์ขวดและบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวด

## สารเคมี

1. เอทานอล 95 % (v/v)
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% (w/v) เตรียมโดยละลาย 1 กรัม ฟีนอล์ฟทาลีนในเอทานอล 95 % (v/v) ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เตรียมความเข้มข้นให้เหมาะสมตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ช่วงของกรดไขมันอิสระ ปริมาตรแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

FFA (%)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	แอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของด่าง
0.00-0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1 N
0.2-1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1 N
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25 N
30.0-50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 0.1 N
50.0-100	3.525 ± 0.001	100	0.1 N

หมายเหตุ N: normality



### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด  $28.2 \pm 0.2$  กรัม ลงใน ขวด รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมเอทานอล 95 % (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 % (w/v) 2 มิลลิลิตร
4. ไตเตรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งสารละลายมีสีชมพูอ่อน คงอยู่เป็นเวลา 30 วินาที
5. ทำ blank โดยบันทึกปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์ค่า FFA ตามสมการที่ 6

$$\% \text{ FFA} = \frac{(B-S) \times N \times 56}{1.99 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad \dots(6)$$

B คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต blank

S คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

N คือ Normality ของ NaOH



## ภาคผนวก ข

## วิธีการหาค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

AOCS official Method Cd 1d-92 (AOCS, 1993)

## อุปกรณ์

1. ขวด รูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร 2 ขวด
2. จุกปิด ขวด รูปชมพู่
3. ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
4. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวด
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
7. ชุดอุปกรณ์ข้างตั่งและบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
8. หลอดหยดสารขนาด 3 มิลลิลิตร

## สารเคมี

1. โซโคลเฮกเซน:กรดแกลเซียลอะซีติก อัตราส่วน 1:1 (v/v)
2. สารละลาย Wijs
3. โพแทสเซียมไอโอดेट์ (KI) ความเข้มข้น 15 % (w/v) เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไอโอดेट์ 15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร
4. น้ำกลั่น
5. โซเดียมไฮโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ความเข้มข้น 0.1 N เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 24.8 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร
6. น้ำแป้ง เตรียมโดยละลายแป้ง 1 กรัม ลงในน้ำร้อนปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl conc.)
8. โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )

## วิธีการ

1. การเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต
2. ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต 0.16-0.22 กรัม ลงใน ขวด รูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร
4. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc.) 5 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 15 % (w/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่งผสมให้เข้ากัน แล้วเก็บในที่มืด 5 นาที
6. เมื่อครบเวลาแล้วนำมาเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร
7. ไตเตรตด้วยโซเดียมไฮโอซัลเฟตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน
8. หยดน้ำแอมป์ลงไป 1-2 หยด จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
9. ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป
10. คำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของโซเดียมไฮโอซัลเฟต ตามสมการที่ 7

$$\text{Normality ของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{20.394 \times \text{น้ำหนักของ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (กรัม)}}{\text{ปริมาตร Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ (มิลลิลิตร)}} \quad \dots(7)$$

11. ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด 3.0xxx กรัม ลงใน ขวด รูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
12. เติมโซโคลเฮกเซน:กรดแกลเซียอะซิติกปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน
13. เติมสารละลาย Wijs ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกปิดเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
14. เมื่อครบเวลาแล้วให้นำมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน
15. หยดน้ำแอมป์ลงไป 2 มิลลิลิตร
16. ไตเตรตสารละลายผสมกับโซเดียมไฮโอซัลเฟต ระหว่างไตเตรตให้ทำการเขย่าแรงๆ จนหมดสีน้ำเงิน
17. ทำ blank โดยบันทึกปริมาณของโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้

18. คำนวณค่า IV ตามสมการที่ 8

$$IV = \frac{(B-S) \times N \times 12.69}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}} \quad \dots(8)$$

B คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต blank

S คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

N คือ Normality ของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



## ภาคผนวก ค

## วิธีการหาค่าสaponification value (Saponification value: SV)

## AOCS Official Method Cd 3-25 (AOCS, 2013)

## อุปกรณ์

1. ขวด รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตาความร้อน (hot plate)
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (cooling/ heating bath)
4. ชุดหอกลิ้นไอรระเหย (condenser)
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
6. ชุดอุปกรณ์ข้างตั้งและบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
7. หลอดหยดสารขนาด 3 มิลลิลิตร

## สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 M
2. น้ำกลั่น
3. แอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Kim et al.) เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 35-40 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 % ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% (w/v) เตรียมโดยละลาย 1 กรัม ฟีนอล์ฟทาลีนในเอทานอล 95 % (v/v) ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด 1.2xxx-1.3xxx กรัม ลงใน ขวด รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายเอทานอลโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 60 นาที ผ่าน condenser จากนั้นปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
4. หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 1 มิลลิลิตร
5. ไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี

6. ทำ blank โดยบันทึกปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
7. คำนวณค่า SV ตามสมการที่ 9

$$SV = \frac{(B-S) \times M \times 56.1}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}} \quad \dots(9)$$

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต blank

S คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

M คือ Molarity ของ HCl



## ภาคผนวก ง

## วิธีการหาปริมาณความชื้น (Moisture content: MC)

AOCS Official Method Ca 2c-25 (AOCS, 1997)

## อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
2. ถ้วยวัดความชื้น (Moisture can)
3. โถดูดความชื้น (desicator)
4. ซิลิกาเจล (Silica gel)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องชั่งละเอียด 5.0xxx กรัม ลงในถ้วยวัดความชื้นที่ถูกรักษาให้แห้งและเย็นในโถดูดความชื้น
2. นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $130 \pm 5$  °C เป็นเวลา 30 นาที
3. นำออกมาพักให้ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
4. อดซ้ำจนกว่าน้ำหนักที่หายไปไม่เกิน 0.20 % ต่อระยะเวลาการอบแห้ง 30 นาที
5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ค่า MC ตามสมการที่ 10

$$\% \text{ MC} = \frac{\text{น้ำหนักที่สูญหายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

.....(10)

## ภาคผนวก จ

### วิธีการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกและการหลอมเหลว

#### AOCS Official Method Cj 1-94 (AOCS, 1998)

#### อุปกรณ์

1. ภาตอะลูมิเนียม (aluminum pan) - ความจุ 30 ไมโครลิตร
2. ชุดอุปกรณ์ DSC

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 3-4 มิลลิลิตร ลงในภาตอะลูมิเนียมสำหรับ DSC และปิดผนึกอย่างแน่นหนา
2. ตั้งค่าโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้
  - 2.1 ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิที่ 20 °C ถึง 80 °C ที่อัตรา 30 °C ต่อนาที
  - 2.2 คงไว้ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที
  - 2.3 ลดอุณหภูมิจาก 80 °C ลงจนถึง -60 °C ที่อัตรา 10 °C ต่อนาที
  - 2.4 คงอุณหภูมิที่ -60 °C เป็นเวลา 30 นาที
  - 2.5 ให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 80 °C ที่อัตรา 5 °C ต่อนาที
3. นำตัวอย่างใส่ในเครื่อง DSC เพื่อทำการวิเคราะห์ โดยใช้ภาตเปล่าเป็นตัวอ้างอิง
4. DSC เทอร์โมแกรมที่ได้ นำมาหาค่าเอนทัลปี อุณหภูมิในการตกผลึก และอุณหภูมิในการหลอมเหลว



## ภาคผนวก ฉ

### วิธีการวัดค่าเปอร์เซ็นต์การเป็นของแข็งในรูปผลึก (Solid fat content: SFC)

AOCS official method Cd 16-81 (AOCS, 1998)

#### อุปกรณ์

1. หลอดแก้วและฝาปิดหลอดสำหรับ NMR
2. ตู้เย็น/ ตู้ปรม
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (rack)

#### วิธีการ

1. ตัวอย่างน้ำมันถูกหลอมเหลว และบรรจุลงในหลอด NMR ที่ บรรจุตัวอย่างให้มีความสูงประมาณ 4.0 เซนติเมตร
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที
3. ลดอุณหภูมิให้เหลือ 0 °C อย่างรวดเร็ว คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 60 นาที
4. นำตัวอย่างใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับอุณหภูมิไปยังอุณหภูมิที่ต้องการวัด ได้แก่ 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 26 และ 27.5 °C คงไว้ที่อุณหภูมินั้นๆ เป็นเวลา 30-35 นาที
5. ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ SFC ด้วยเครื่อง p-NMR
6. ทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ SFC (แกน y) และ อุณหภูมิ (แกน x)

## ภาคผนวก ข

### วิธีการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content: TPC)

#### อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (rack)
3. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
4. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
7. เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer)

#### สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. เมทานอล 80% (v/v) เตรียมโดยละลายเมทานอล 80 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
3. สารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10 % (v/v) เตรียมโดยปิเปตสาร Folin-Ciocalteu ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 7.5 % (w/v) เตรียมโดยชั่งโซเดียมไบคาร์บอเนต 7.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยชั่งกรดแกลลิก 0.1 กรัม ละลายด้วยเมทานอล 80 % (v/v) และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เมทานอล 80% (v/v) เตรียมโดยละลายเมทานอล 80 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

## วิธีการ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ระดับความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มา 0.5, 1, 1.5 และ 2 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. สร้างกราฟมาตรฐานสารละลายกรดแกลลิก
  - 2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มา 0.3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
  - 2.2 ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10 % (v/v) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
  - 2.3 ปิเปตสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 7.5 % (w/v) ปริมาตร 1.3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
  - 2.4 เขย่าสารให้ผสมเข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร
  - 2.5 เก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
  - 2.6 เมื่อครบเวลาแล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
  - 2.7 ทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร (แกน y) และความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน x)
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดฟีนอลิกของแต่ละตัวอย่างที่สกัดได้มา โดยทำตามขั้นตอนที่ 2.1-2.6
4. คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานสารละลายกรดแกลลิก ในหน่วย มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม น้ำมัน (mg GAE/ 100g oil)

ที่มา: Ghani et al. (2018)

## ภาคผนวก ข

### วิธีการศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Radical scavenging ability: RSA)

#### อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (rack)
3. ไมโครปิเปตช่วง 100-1,000 ไมโครลิตร
4. ไมโครปิเปตช่วง 2-20 ไมโครลิตร
5. ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
7. เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer)

#### สารเคมี

1. เมทานอล 80 % (v/v)
2. สารละลายเมทานอลิก DPPH (methanolic DPPH) ความเข้มข้น 0.05 mM เตรียมโดยชั่ง DPPH 195 มิลลิกรัม ละลายในเมทานอล 80 % (v/v) และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

#### วิธีการ

1. เตรียมสารสกัดพืชของตัวอย่างที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร
2. ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง
3. ปิเปตสารละลายเมทานอลิก DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
4. เขย่าสารให้ผสมเข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร
5. เก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
6. เมื่อครบเวลาแล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
7. คำนวณค่า RSA ในรูปเปอร์เซ็นต์ DPPH inhibition ตามสมการที่ 11

$$\% \text{ DPPH inhibition} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad \dots(11)$$

$A_0$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทานอลิก DPPH

$A_1$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทานอลิก DPPH ผสมกับตัวอย่าง

ที่มา: Plangklang et al. (2021)



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวอรพรรณ ศิริจิตร
วัน เดือน ปี เกิด	8 สิงหาคม 2542
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียน สิรินธรราชวิทยาลัย นครปฐม พ.ศ. 2563 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ1) สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2564 ศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	47 ตรอกบริพัตร ถนนพิพิธประสาท ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง นครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
รางวัลที่ได้รับ	ได้รับ รางวัลดีมาก การนำเสนอภาคบรรยาย เรื่อง การศึกษาองค์ประกอบ ไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมการตกผลึกและการ หลอมเหลว ของน้ำมันเยื่อกะลามะพร้าว จากการประชุมวิชาการด้าน ทรัพยากรธรรมชาติและวิทยาศาสตร์สุขภาพ ครั้งที่ 2 จัดโดยคณะ ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต สกลนคร เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2566