ประสิทธิภาพการสกัด และคุณสมบัติของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ระหว่างการเก็บรักษา

EXTRACTION EFFICIENCY AND PROPERTIES OF SAMRONG (*Sterculia foetida* Linn.) SEED KERNEL OIL DURING STORAGE

จุฑามาศ จรรยาวิวัฒน์กุล
JUTHAMAS CHANYAWIWATKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562
KMITL-2019-ED-M-241-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRACTION EFFICIENCY AND PROPERTIES OF SAMRONG (*Sterculia foetida* Linn.) SEED KERNEL OIL DURING STORAGE

JUTHAMAS CHANYAWIWATKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL EDUCATION
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-ED-M-241-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2019
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการสกัด และคุณสมบัติของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงระหว่างการเก็บรักษา
นักศึกษา	นางสาวจุฑามาศ จรรยาวิวัฒน์กุล
รหัสประจำตัว	61603146
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ครุศาสตร์เกษตร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริมา เถกิงวงศ์ตระกูล

บทคัดย่อ

สำโรง (*Sterculia foetida* Linn.) เป็นพืชป่า นำไปใช้ในการแพทย์แผนโบราณ น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงยังไม่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (การสกัดด้วยซอกห์เลต การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และการสกัดด้วยการบีบอัดเชิงกล) ต่อร้อยละผลผลิตและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดสำโรง ซึ่งเนื้อในเมล็ดสำโรง ประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 5.91 ± 0.12 เถ้าร้อยละ 2.80 ± 0.17 ไขมันร้อยละ 46.09 ± 0.44 โปรตีนร้อยละ 11.68 ± 0.16 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 33.52 ± 0.07 วิธีการสกัดด้วยซอกห์เลตใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) สำหรับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน น้ำมันเมล็ดสำโรงนำมาสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ส่วนการสกัดด้วยการบีบอัดเชิงกลทำการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยพบว่า การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซนให้ผลผลิตสูงที่สุด (ร้อยละ 53.65) ขณะที่การสกัดน้ำมันด้วยการบีบอัดเชิงกลให้ผลผลิตต่ำที่สุด (ร้อยละ 16.80) ($p<0.05$) ซึ่งค่ากรด (AV) ค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) และค่าพารา-อะนิซิดีน (ρ-AnV) ของน้ำมันที่สกัดด้วยซอกห์เลตมีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยวิธีอื่น ($p<0.05$) น้ำมันที่สกัดด้วยวิธีบีบอัดเชิงกลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม น้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ สูงที่สุด ($p<0.05$) ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการสกัดที่เหมาะสมทำให้ได้น้ำมันที่มีผลผลิตและคุณภาพที่สูง ซึ่งการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรงที่เหมาะสมสามารถสกัดได้ด้วยการใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

สำหรับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) ร้อยละ 27.32 กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (MUFA) ร้อยละ 5.30 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง (PUFA) ร้อยละ 55.95 โดยกรดแกมม่า-ลิโนเลนิก (ร้อยละ 47.80) เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุด รองลงมาคือกรดปาล์มมิติก (ร้อยละ 16.49) และกรดสเตอริค (ร้อยละ 10.45) โดยได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพทั้ง สี ความหนืด ปริมาณโทโคฟีรอล ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ค่า AV ค่า FFA ค่า PV ค่า TBARS และ ค่า ρ-AnV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง จากนั้นได้ทำการเก็บรักษาน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์ มีการตรวจสอบความคงตัวของน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง พบว่า น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีการเพิ่มขึ้นของค่า PV และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า TBARS ภายใน 5 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ($p<0.05$) ต่อมามีการลดลงของค่า PV และค่า TBARS จนถึงสัปดาห์ 7 ($p<0.05$) ซึ่งได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของกรดไขมัน องค์ประกอบที่ระเหยได้ ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงในช่วง 7 สัปดาห์ของการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ SFA และ PUFA ในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงลดลง ส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา สำหรับองค์ประกอบของสารที่ระเหยได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันตรวจพบได้ 12 ชนิดหลังการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของสารที่ระเหยได้ เช่น 1-Octanol 2-Methyl-3-hexanol และ 2-Hexanol มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง พบว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Extraction Efficiency and Properties of Samrong (*Sterculia foetida* Linn.) Seed Kernel Oil During Storage
Student	Miss Juthamas Chanyawiwatkul
Student ID.	61603146
Degree	Master of Science
Program	Agricultural Education
Year	2019
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sirima Takeungwongtrakul

ABSTRACT

Samrong (*Sterculia foetida* Linn.) is a wild plant. Samrong is used in traditional medicine. The oil from the samrong seed kernel is rarely used in the industry in Thailand. The objectives of this investigation were to study the effect of different extraction methods (Soxhlet, hexane and cold-pressing extraction methods) on the extraction yield and the physicochemical properties of oil from *Sterculia foetida* seed. Somrong seeds consist of 5.91 ± 0.12% moisture, 2.80 ± 0.17% ash, 46.09 ± 0.44% fat, 11.68 ± 0.16% protein and 33.52 ± 0.07% carbohydrate. Soxhlet method was carried out using hexane as extracted solvent (70°C for 2 h). For hexane method, the seed oil was extracted at 4°C for 2 min. Cold-pressed seed oil was prepared by mechanical processing at room temperature. The highest extraction yield was obtained using hexane extraction (53.65%), whilst the lowest extraction yield was obtained using cold-pressing extraction (16.80 %) ($p<0.05$). Acid value, free fatty acid (FFA), peroxide value (PV) and *p*-anisidine value (*p*-AnV) of oil from Soxhlet extraction were higher than those from other extraction methods ($p< 0.05$). Cold-pressed seed oil had the highest total phenolic content ($p<0.05$). However, hexane extracted seed oil showed the highest DPPH radical scavenging activity ($p< 0.05$). Thus, the use of appropriate extraction method enhanced oil with high yield and quality. Oil extraction from *Sterculia foetida* seed could be achieved using the hexane extraction.

For hexane method, the oil from samrong seed contained 27.32% saturated fatty acid (SFA), 5.30% mono-unsaturated fatty acid (MUFA) and 55.95% poly-unsaturated fatty (PUFA). Gamma-linolenic acid (47.80%) was the dominant fatty acid, followed by palmitic acid (16.49%) and steric acid (10.45%), respectively. The physicochemical properties including color, viscosity, tocopherol content, total phenolic content, AV, FFA, PV, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) and *p*-AnV of seed oil were determined. When seed oil was stored at 30°C for 7 weeks,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oxidative stability of seed oil was also examined. The seed oil had increasing in PV and TBARS within the first 5 weeks of storage ($p<0.05$). Subsequently, a decreasing in PV and TBARS were noticeable up to week 7 ($p<0.05$). The changes in fatty acid profile, volatile compounds of oil from samrong seed kernel during 7 weeks of storage were investigated. With increasing storage time, the content of SFA and PUFA decreased. There was a little change in fatty acid profile during storage. The formation of 12 volatile lipid oxidation compounds was observed after storage. However, slight changes in abundance of volatile compounds such as 1 -octanol, 2-methyl-3-hexanol and 2-hexanol were found. For study of heat stability of oil from the samrong seeds kernel, the hydrolysis and oxidation reactions increased continuously when the heating temperature and time increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สิริมา เถกิงวงศ์ตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในขั้นตอนสุดท้ายจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผศ.ดร.ธีระพล เสนพันธุ์ ผศ.ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช ดร.ภัทราภรณ์ ภัทรรังสฤษฎ์ และดร.จตุพร อนุชัย ที่ได้กรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ เพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพและมีความเหมาะสมต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณ นายตรัส เคแสง เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องมือที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัย รวมถึงให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่าง ๆ ให้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา และน้องชายของผู้วิจัย และผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฑามาศ จรรยาวิวัฒน์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III
กิตติกรรมประกาศ V
สารบัญ VI
สารบัญตาราง VII
สารบัญภาพ VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 เมล็ดสำโรง 3
2.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำมันพืช 4
2.3 องค์ประกอบทางพฤกษาเคมีและสารสำคัญในน้ำมันพืชที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน 10
2.4 คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมันพืช 14
2.5 ความคงตัวของน้ำมัน (Oil Stability) 19
2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำมันและไขมัน 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการงานวิจัย 32
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 32
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย 34
3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 37
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 38
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสำโรง 38
4.2 ผลของวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรง 38
4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง 42
4.4 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง 43
4.5 ความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง 47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผลการวิจัย 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 51

บรรณานุกรม 52

ประวัติผู้เขียน 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของเมล็ดสำโรง 4
2.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของวิธีการสกัดแบบการบีบอัดเชิงกล 5
2.3 องค์ประกอบของน้ำมันในเมล็ดสำโรง 11
2.4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ 17
2.5 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน 18
2.6 คุณลักษณะทางเคมี 30
2.7 สารปนเปื้อน 31
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสำโรง 39
4.2 ปริมาณผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH• ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 41
4.3 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 43
4.4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 44
4.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±1°C ในวันที่ 0 และ 48 46
4.6 องค์ประกอบที่ระเหยได้ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±1°C ในวันที่ 0 และ 48 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะชั้นภายในของเมล็ดสำโรง	3
2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน	20
2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยรวม	21
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์	22
2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการวิเคราะห์ค่า TBA โดยวิถีการสร้าง Malondialdehyde จากอนุมูลเพอร์ออกซิลของกรดไขมัน Triunsaturated C18 และการสร้าง TBARS Chromophore จาก TBA และ Malondialdehyde	23
4.1 ค่า Peroxide และค่า TBARs ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 1°C เป็นเวลา 48 วัน	44
4.2 ค่า AV และ ค่า FFA ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	48
4.3 ค่า PV ค่า TBARs และ ค่า *p*-AnV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สำโรงเป็นพืชเขตร้อนชนิดหนึ่งที่อยู่ในวงศ์ Sterculiaceae พบในประเทศไทยตามป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าโปร่งทั่วไป มีการนำส่วนต่าง ๆ ของสำโรงมาบริโภคและเป็นยารักษาโรค แต่ยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ซึ่งในส่วนของเนื้อในเมล็ดสำโรงมีกรดไขมัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฆ่าเชื้อโรค เชื้อราที่ผิวหนัง และมีการใช้เป็นสมุนไพรกำจัดแมลง และยังสามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันใช้ในการปรุงอาหารและใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ในเมล็ดสำโรงมีปริมาณน้ำมันที่สูง (Kale *et.al*, 2011) ซึ่งปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ดสำโรงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น กระบวนการและสภาวะที่ใช้ในการสกัด ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด และองค์ประกอบของตัวอย่างเริ่มต้น เป็นต้น น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอาหารสำหรับมนุษย์ เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องสำอาง เช่น ครีมบำรุงผิว แชมพู และครีมนวด เป็นต้น (นิจศิริ, 2547) ในการสกัดน้ำมันมีหลายวิธี โดยการสกัดที่เป็นที่นิยม คือ การบีบอัด เนื่องจากการใช้แรงกดเนื้อเยื่อเมล็ดพืชให้ผนังเซลล์แตกออก และบีบน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งจะมีคุณภาพดีและคงสภาพเหมือนกับตอนที่อยู่ในเมล็ด อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด คือ น้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณที่น้อย และมีน้ำมันตกค้างในกากสูง (ดารณี, 2554) นอกจากวิธีนี้การสกัดน้ำมันสามารถสกัดได้โดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมกับความชื้นในการสกัด เช่น เฮกเซน เอทานอล อะซิโตน เมทานอล และเอธิลอะซิเตท เป็นต้น ตัวทำละลายเหล่านี้เป็นที่ยอมรับให้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย โดยวิธีการสกัดน้ำมันที่ต่างกัน ย่อมมีผลต่อปริมาณ และคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ ส่งผลต่อการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม มีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรงผ่านหน้าฐานข้อมูลสำคัญ ๆ ในเชิงร้อยละผลผลิต คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และความคงตัวต่อความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากไม่มีผลการวิจัยรายงาน หรือไม่มีการนำมาศึกษาวิจัย ทั้ง ๆ ที่การวิจัยนี้จะช่วยทำให้มีการนำเมล็ดสำโรงมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น จึงเกิดแนวคิดใหม่ในการศึกษาวิธีการสกัด คุณสมบัติ และความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
3. เพื่อศึกษาการความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
4. เพื่อศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยการสกัดโดยใช้ความร้อน (เครื่องซอกห์เล็ต) และความเย็น (การบีบอัดเชิงกล และการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน) ศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงจากวิธีการสกัดต่าง ๆ รวมถึงความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา และความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง เพื่อหาวิธีในการสกัดที่ดีที่สุดที่ให้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันที่สูง

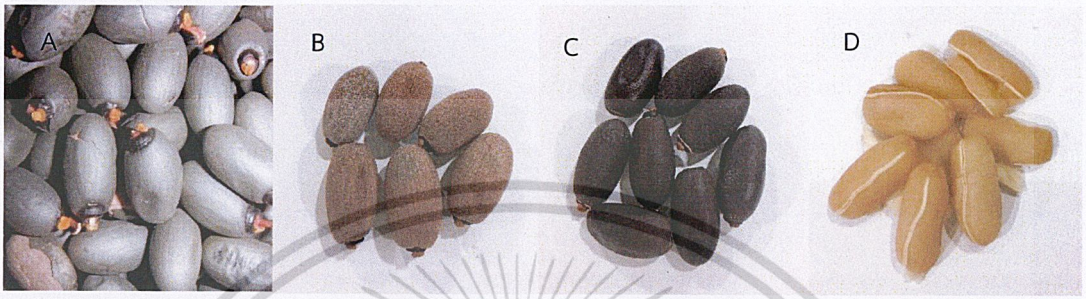
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
2. ได้ทราบสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
3. ได้ทราบความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง
4. ได้ทราบความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เมล็ดสำโรง



ภาพที่ 2.1 ลักษณะชั้นภายในของเมล็ดสำโรง
หมายเหตุ : A คือ เมล็ดสำโรง B คือ เปลือกหุ้มชั้นนอกเมล็ดสำโรง
C คือ เปลือกหุ้มชั้นในเมล็ดสำโรง D คือ เนื้อเมล็ดสำโรง

สำโรง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sterculia foetida L.* จัดอยู่ในวงศ์ Sterculiaceae ต้นสำโรงจัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ผลัดใบ เปลือกลำต้นค่อนข้างเรียบและค่อนข้างหนา มีสีเทาหรือสีน้ำตาลปนเทา เนื้อไม้หยาบและเป็นไม้เนื้ออ่อนค่อนข้างเหนียว ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ในประเทศไทยพบต้นสำโรงกระจายพันธุ์อยู่ตามป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และตามป่าโปร่งทั่วไป ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 100-600 เมตร ส่วนใบสำโรงมีใบย่อยประมาณ 7-8 ใบ ลักษณะของใบย่อยเป็นรูปรี ส่วนดอกสำโรง ออกดอกเป็นช่อแบบแยกแขนง ดอกย่อยเป็นสีแดงเข้ม ไม่มีกลีบดอก มีแต่กลีบเลี้ยงดอกมี 5 กลีบ โคนกลีบติดกันเป็นรูปถ้วยสีแสด ส่วนปลายแยกเป็น 5 กลีบ ปลายกลีบม้วนออกและมีขนละเอียดปกคลุม เมื่อดอกบานเต็มที่จะงอลงด้านล่าง และมีขนาดกว้างประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ดอกมีกลิ่นเหม็นจะออกดอกในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ผลสำโรง ขั้วผลติดกันเป็นกระจุก 4-5 ผล ลักษณะของผลเป็นรูปทรงรีหรือรูปไต ปลายผลมีติ่งแหลมออกเป็นพวงห้อยย้อยลงมา ผิวผลเรียบแข็ง ผลอ่อนเป็นสีเขียว เมื่อแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม สีแดง หรือสีแดงปนน้ำตาล มีขนาดกว้างประมาณ 6-9 เซนติเมตร และยาวประมาณ 8-10 เซนติเมตร พอแห้งแล้วจะแตกอ้าออกเป็น 2 ซีกตามร่องประสาน เปลือกผลแห้งจะแข็งเหมือนไม้และมีสีน้ำตาล ภายในมีเมล็ดลักษณะกลมรีสีดำ (ภาพที่ 2.1C) เนื้อในเมล็ดเป็นสีขาว (ภาพที่ 2.1D) เมล็ดมีขนาดกว้างประมาณ 1.3 เซนติเมตร และยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร โดยผลหนึ่งจะมีเมล็ดประมาณ 12-13 เมล็ด และจะออกผลในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน (Orwa *et al.*, 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเมล็ดสำโรง

คุณสมบัติ	ร้อยละ
ไขมัน	51.78
โปรตีน	21.61
คาร์โบไฮเดรต	12.1
น้ำตาล	5.00
เซลลูโลส	5.51
เถ้า	3.90

ที่มา : Silitonga (2013)

สำโรงเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ในหลายด้าน (Nair *et al.*, 1977) โดยใบสำโรงมักใช้เป็นยาขับปัสสาวะและใช้เป็นสารไล่แมลง (Chopra *et al.*, 1992) ซึ่งใบสำโรงเป็นแหล่งของโปรตีน แคลเซียม และฟอสฟอรัส ส่วนเมล็ดสำโรงจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 31 ซึ่งสารสกัดจากใบสำโรงสามารถใช้เป็นสารต้านการอักเสบและเป็นสารกดประสาทส่วนกลางได้ (Naik *et al.*, 2004) สำหรับไม้จากต้นสำโรงจะมีสีขาวและมีเนื้อไม้อ่อน ซึ่งไม้จากต้นสำโรงเป็นไม้ที่ค่อนข้างจะทนทาน เหมาะสำหรับนำมาทำกระท่อม เรือ กีต้า หรืองานแกะสลักต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้เมล็ดสำโรงจะมีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง ประมาณร้อยละ 34 (Kale *et.al*, 2011) ซึ่งน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงประกอบด้วยกรดไขมันที่มีความจำเป็นและสำคัญสูง เช่น กรดโอเลอิก (ร้อยละ 20.50 ของปริมาณไขมันทั้งหมด) กรดไลโนเลอิก (ร้อยละ 20.50) (Kale *et.al*, 2011) ในขณะที่ Varma *et al.* (1956) รายงานว่าเมล็ดสำโรงมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 53-55 ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเมล็ดสำโรงที่มีความแตกต่างกัน อาจขึ้นกับสายพันธุ์ และสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกเมล็ดสำโรง เป็นต้น นอกจากนี้น้ำมันจากเมล็ดสำโรงยังมีสารต้านจุลินทรีย์ สารต้านมะเร็ง และแก้อาการคันด้วย (Salaun, 2000) โดยในน้ำมันเมล็ดสำโรงจะมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (Guerere *et al.*, 1985) และกรดไขมันชนิด Cyclopropenoid (Miralles *et al.*, 1993) โดยสารประกอบ Cyclopropenoid มีคุณสมบัติทางชีวภาพทั้งป้องกันเชื้อรา (Schmid *et al.*, 1988) ใช้เป็นยาฆ่าแมลง ยาปฏิชีวนะ ยาต้านไวรัสหรือมะเร็ง (Salaun, 2000) ซึ่งการใช้ความร้อนในขณะทำการสกัดอาจจะช่วยกำจัดกรดไขมันชนิด Cyclopropenoid ได้ ส่วนยางของเมล็ดสำโรงจะมีลักษณะคล้ายกับ Gum tragacanth (กัมทรากาแคนต์) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ แต่พองตัวให้สารละลายเป็นเมือกข้น นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร (Orwa *et al.* 2009)

2.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำมันพืช

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันพืชประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช และการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ หรือการปรับปรุงคุณภาพ ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การสกัดน้ำมันโดยวิธีการบีบอัดเชิงกล (Mechanical extraction)

การสกัดโดยวิธีการบีบอัดเชิงกลเป็นการใช้แรงเชิงกลบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมัน โดยวิธีการบีบอัดมี 2 แบบ คือ การบีบอัดแบบร้อน (Hot pressing) (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2544) และการบีบอัดแบบเย็น (Cold pressing) (Lutterodt *et al.*, 2010) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวทำละลาย และกระบวนการกลั่น เครื่องมือที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ Hydraulic pressure extractors และ Screw type expeller ซึ่งเป็นการบีบอัดโดยใช้หลักการเปลี่ยนปริมาตรของวัตถุดิบที่เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียว การบีบอัดแบบร้อนและการบีบอัดแบบเย็นมีความแตกต่างกัน คือ การบีบอัดแบบร้อนจะใช้ความร้อนเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิปกติ โดยตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกล แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของวิธีการสกัดแบบการบีบอัดเชิงกล

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ต้นทุนการสกัดต่ำ ใช้เครื่องจักรจำนวนน้อย ใช้เชื้อเพลิงต่ำ	1. ปริมาณน้ำมันติดในกากพืชน้ำมันสูง อาจถึงร้อยละ 10–15
2. กรรมวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	2. ปริมาณน้ำมันที่ได้น้อย ไม่สามารถทำการสกัดได้หมด
3. สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมภายในครอบครัวได้	3. ไม่สามารถสกัดสิ่งเจือปนภายในวัตถุดิบได้หมด ทำให้คุณภาพ กากต่ำ มีปริมาณโปรตีนต่ำมาก
4. ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้สามารถนำไปจำหน่ายเป็นอาหารเสริมแก่สัตว์ได้	4. ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำมันที่ได้

ที่มา : ระพีพันธุ์ ภาสบุตร (2544)

จากการรายงานของ Rabadan *et al.* (2017) ระบุว่าการบีบอัดเชิงกลแบบไฮโดรลิกและแบบสกรูให้ปริมาณน้ำมันถั่วพิสตาชิโอที่แตกต่างกัน โดยการบีบอัดแบบไฮโดรลิกที่สภาะการสกัดที่แตกต่างกัน (แรงดัน และเวลาการสกัด) ให้ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการบีบอัดแบบไฮโดรลิกให้ปริมาณน้ำมันอยู่ระหว่าง 27.0 - 31.1 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งความดันและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การบีบอัดแบบสกรูที่สภาวะแตกต่างกัน (อุณหภูมิ และความเร็วในการหมุน) ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่แตกต่างกัน ซึ่งแรงดันและระยะเวลาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในระหว่างการสกัดได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเพียงเล็กน้อยแต่ความเร็วในการหมุนของสกรูมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมัน โดยความเร็วในการหมุนของสกรูที่ต่ำ (17 รอบ/นาที) จะให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สูง และความเร็วในการหมุนของสกรูที่สูงที่สุด (96 รอบ/นาที) จะให้ปริมาณผลผลิตที่ต่ำ

2.2.2 การสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction)

การสกัดน้ำมันพืชโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน และให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าวิธีการสกัดด้วยแรงบีบอัด ในกรณีของน้ำมันพืชเมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะให้ผลผลิตร้อยละ 99.0-99.5 แต่การใช้วิธีสกัดด้วยแรงบีบอัดจะให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 95 หรือน้อยกว่าตัวทำละลายที่นิยมใช้ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ กับอีเทอร์ นอกจากนี้ยังใช้

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะซิโตน และเอ็น-เฮกเซน ซึ่งมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 66-69 องศาเซลเซียส การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์พ่นใส่วัตถุดิบที่ถูกลดขนาดเซลล์ลง และทำให้บริสุทธิ์ต่อไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลง และมีกลิ่นที่ผิดไปจากธรรมชาติได้ (Pszczola, 2002)

ข้อดีในการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์คือ สามารถสกัดน้ำมันออกได้เกือบทั้งหมด เหลือน้ำมันติดกากเพียงประมาณร้อยละ 0.5 เท่านั้น (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2544) ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี มีจุดเดือดไม่สูงนัก ไม่ทำปฏิกิริยากับสารหรือตัวทำละลายอินทรีย์อื่นที่จะใช้ร่วมกัน ไม่ควรติดไฟง่าย ไม่ควรมีพิษ และราคาไม่แพง ซึ่งจากการรายงานของ Kavitha *et al.* (2016) ระบุว่าการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายเอทานอลให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 2.26 ตัวทำละลายเฮกเซนร้อยละ 1.64 ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มร้อยละ 1.28 และตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ร้อยละ 1.08 นอกจากนี้ Pandian *et al.* (2012) รายงานว่า การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวเตทตระไฮโดรฟูแรนให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด (ร้อยละ 61.5) รองลงมาคือ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (ร้อยละ 59.2) เฮกเซน (ร้อยละ 57) คลอโรฟอร์ม (ร้อยละ 47) และเมทานอล (ร้อยละ 45.4) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้เฮกเซนมีค่า Unsaponification ต่ำกว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น และให้ปริมาณผลผลิตที่สูงจึงเป็นตัวทำละลายที่ดีในการใช้สกัดน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรง (Pandian *et al.*, 2012)

ศิริวรรณ (2551) พบว่า ขนาดอนุภาคเนื้อในเมล็ดสบู่ดำที่สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณมากที่สุด คือ ขนาดตั้งแต่ 0.5-1.4 มิลลิเมตร โดยนอร์มัลเฮกเซน (n-Hexane) เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สกัดน้ำมันได้ปริมาณมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) คือ ร้อยละ 36.01 และร้อยละ 35.10 ตามลำดับ และอัตราส่วนเนื้อในเมล็ดสบู่ดำต่อตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณมากที่สุดคือ อัตราส่วน 1:8 (กรัม/มิลลิลิตร) ส่วนสภาวะในการสกัดน้ำมันที่ใช้ต้นทุนในการสกัดต่ำสุด คือ ใช้นอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่อัตราส่วน 1:4 (กรัม/มิลลิลิตร) ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ คือ สภาวะการสกัดที่ใช้อนุภาคเนื้อในเมล็ดสบู่ดำขนาดตั้งแต่ 0.5-1.4 มิลลิเมตร ใช้นอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ และใช้อัตราส่วนเนื้อในเมล็ดสบู่ดำต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 (กรัม/มิลลิลิตร)

2.2.3 การสกัดน้ำมันโดยใช้ซอกห์เลต (Soxhlet extraction) .

การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continous extraction) โดยการใช้ซอกห์เล็ต (Soxhlet extractor) ซึ่งเป็นระบบปิด โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจากฮีทติงแมนเทิล (Heating mantle) หรือหม้ออังไอน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ในภาชนะระเหยขึ้นไปแล้วกลั่นลงมาในทิมเบอร์ (Thimble) ซึ่งบรรจุตัวอย่างไว้ ตัวทำละลายอินทรีย์จะผ่านผงตัวอย่างซ้ำแล้วซ้ำอีกไปจนกระทั่งองค์ประกอบในตัวอย่างถูกสกัดออกมา เมื่อตัวทำละลายอินทรีย์ในเอกซ์แทรกติงแซมเบอร์ (Extracting chamber) สูงถึงระดับกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงไปในภาชนะวนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์ (รัตนา, 2547)

วิธีการสกัดแบบต่อเนื่องนี้เหมาะสมสำหรับการสกัดองค์ประกอบที่ทนต่อความร้อนและใช้ตัวทำละลายอินทรีย์น้อย ไม่สิ้นเปลือง แต่มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับองค์ประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน และตัวทำละลายที่ไม่ควรเป็นของผสม เพราะจะเกิดการแยกตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดเนื่องจากมีจุดเดือดต่างกัน จะมีผลให้สัดส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์แตกต่างไปจากเดิม และ

เอกสารนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลสกัดไม่ดี โดยสามารถสังเกตจากสีของตัวทำละลายอินทรีย์ใน Thimble ที่ใสขึ้น การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ความร้อน จึงอาจทำให้สารสำคัญบางชนิดสลายตัวได้ (นิธิยา, 2548) ซึ่งจากการรายงานของ Wichayasith *et al.* (2013) ระบุว่า การสกัดน้ำมันด้วยเครื่องซอกห์เล็ตโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนในการสกัดให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากเมล็ดสำโรงร้อยละ 26.15 น้ำมันมะพร้าวร้อยละ 63-65 น้ำมันสบู่ดำร้อยละ 30-40 น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 15-20 น้ำมันปาล์มร้อยละ 30-60 น้ำมันถั่วลิสงร้อยละ 45-55 น้ำมันมะกอกร้อยละ 45-70 น้ำมันเมล็ดข้าวโพดร้อยละ 45 และน้ำมันเรพซีดร้อยละ 35-46 นอกจากนี้ Herchi *et al.* (2014) ระบุว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมโดยใช้เครื่องซอกห์เล็ตให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันสูงสุดร้อยละ 7.11 เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยวิธี Modified Bligh-Dryer ร้อยละ 5.70 และวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนร้อยละ 5.12 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

พงษ์ศิริ และ วารุณี (2550) ทำการศึกษาวิธีการสกัด และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเมล็ดเสาวรส เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จากการสกัดน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธี Soxhlet extraction ในตัวทำละลายเฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และการบีบอัดเชิงกล ได้ผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันคิดเป็นร้อยละ 23.56 24.43 และ 20.66 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำมันที่สกัดได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันที่ผ่านการสกัดในแต่ละวิธีโดยวิธีทางโครมาโตกราฟีพบวิตามินอี และวิตามินซีจากการสกัดด้วย Hydraulic press ที่ 5.85 mg/100 g และ 0.277 mg/100 g ตามลำดับ และพบกรดไขมันชนิด Linoleic acid จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และการบีบอัดสูงถึงร้อยละ 71.0 72.6 และ 31.79 ตามลำดับ เมื่อทดสอบความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน พบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ให้ค่าระยะเวลาความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี Rancimat method ได้นานที่สุด

2.2.4 การสกัดด้วยวิธีอื่นๆ

2.2.4.1 วิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave Extraction)

เป็นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกัน และเกิดความร้อนขึ้นหรือเป็นการนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลต่อเซลล์พืชทำให้สกัดสารสำคัญออกมาได้ (Afoakwah *et al.*, 2012) คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 3×10^2 ถึง 3×10^5 เมกะเฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 1 เมตร ปัจจัยแรกที่ต้องคำนึงถึงในการสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ คือ การเลือกตัวทำละลายอินทรีย์ ควรเลือกตัวทำละลายที่ความสามารถในการสกัดสารได้สูง โดยสารที่มีขั้วและสารละลายไอออนิก (โดยทั่วไปมักเป็นกรด) สามารถดูดซึมพลังงานไมโครเวฟได้มาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน สัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟจะไม่เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากไม่สามารถดูดซึมพลังงานไมโครเวฟได้

ดังนั้น พลังงานไมโครเวฟจะต้องเพียงพอที่จะทำให้ความร้อนเพิ่มสูงถึงจุดเดือดของน้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆ ปัจจัยต่อมาที่ต้องคำนึงถึง คือ แมทริกซ์ของแข็ง (Solid Matrix) ความหนืดของแมทริกซ์ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมพลังงานไมโครเวฟ โมเลกุลที่หนืดจะมีการเคลื่อนที่ต่ำ ดังนั้นโมเลกุลจะจัดเรียงตัวในสนามไมโครเวฟได้ยาก ส่งผลให้ความร้อนที่เกิดจาก Dipole rotation ลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hosseini *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดผักเบี้ยใหญ่ที่ทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (เฮกเซน) การบีบอัดเชิงกลแบบไฮโดรลิก และการใช้คลื่นไมโครเวฟก่อนนำมาสกัดด้วยวิธีบีบอัดเชิงกลแบบไฮโดรลิก พบว่า การสกัดน้ำมันเมล็ดผักเบี้ยใหญ่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนให้ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ 72.31) สูงกว่าการสกัดด้วยวิธีบีบอัดแบบเย็น ซึ่งการใช้คลื่นไมโครเวฟก่อนการนำเมล็ดไปบีบอัดเชิงกล ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Azadmard-Damirchi *et al.*, (2010); Yang *et al.*, (2013) เนื่องจากมีการปรับสภาพเมล็ดผักเบี้ยใหญ่โดยใช้คลื่นไมโครเวฟก่อนทำการบีบอัด ซึ่งการใช้คลื่นไมโครเวฟจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เมล็ดผักเบี้ยใหญ่แตกออก ทำให้มีรูพรุนที่ผนังเซลล์ ทำให้สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดพืชน้ำมันเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการสกัดน้ำมัน (Uquiche *et al.*, 2008)

2.2.4.2 Modified Bligh-Dyer extraction

การสกัดด้วยวิธี Modified Bligh-Dyer เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้เวลาสั้นคือประมาณ 5 นาที มีการใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อยซึ่งเหมาะสมกับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันหรือไขมันในปริมาณสูง แต่จะมีความชื้นหลังจากการสกัดมากกว่าร้อยละ 80 อีกทั้งยังสามารถใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาณมาก (Bligh *et al.*, 1959)

Herchi *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัม แสดงถึงลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธีการใช้เครื่องซอกห์เล็ต วิธีของ Bligh-Dyer และการใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ซึ่งน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดโดยใช้เครื่องซอกห์เล็ตให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันสูงสุด (ร้อยละ 7.11) โดยวิธี Modified Bligh-Dryer (ร้อยละ 5.70) และวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (ร้อยละ 5.12) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในการสกัดด้วยเครื่องซอกห์เล็ตโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายดีที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการสกัด Modified Bligh-Dryer โดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม/เมทานอล และการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน การสกัดด้วยวิธี Modified Bligh-Dryer ใช้เวลาน้อยที่สุด (ประมาณ 30 นาที) ตามด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (240 นาที) และการสกัดโดยการใช้เครื่องซอกห์เล็ต (360 นาที) ค่าซาพอนนิฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดทั้ง 3 วิธีอยู่ในช่วง 190-198 mg KOH g^{-1} oil ส่วนค่ากรด และกรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดด้วยวิธีการใช้เครื่องซอกห์เล็ต มีค่าสูงที่สุด ซึ่งค่าความเป็นกรดที่ต่ำบ่งบอกถึงความคงตัวของมัน ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดด้วยวิธี Modified Bligh-Dyer สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยวิธีอื่น ๆ โดยที่ค่าไอโอดีนที่ต่ำจะบ่งชี้จำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบค่าเพอร์ออกไซด์ที่ต่ำในน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี Modified Bligh-Dyer (9.15 meq/kg) ตามด้วยการใช้เครื่องซอกห์เล็ต (10.37 meq/kg) น้ำมันเมล็ดอินทผาลัมสามารถเก็บไว้เป็นเวลานานโดยไม่มีการเสื่อมสภาพ เนื่องจากน้ำมันจะหืนเมื่อมีค่าเพอร์ออกไซด์ตั้งแต่ 20.0-40.0 meq.O_2/kg oil (Onyeike and Acheru, 2002) ค่า *ρ*-anisidine (*ρ*-AnV) ของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดทั้ง 3 วิธีอยู่ในช่วง 2.55-3.50 ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันลำดับที่สอง ส่วนกิจกรรมออกซิเดชัน มีค่าอยู่ระหว่าง 20.85-27.30 แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น อาจเกิดจาก Lipoxygenase หรือ autoxidation (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่หนึ่งและขั้นที่สองของน้ำมันเมล็ดอินทผาลัมที่สกัดโดยใช้ Soxhlet มีค่าสูงกว่าวิธีสกัดแบบอื่นอีกสองวิธี (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2007)

2.2.4.3 วิธีการสกัดโดยใช้จุลินทรีย์และเอ็นไซม์

การสกัดน้ำมันโดยการใช้เอนไซม์ สามารถนำน้ำมันที่ได้มาบริโภค และถือว่าเป็นกระบวนการสกัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นเทคโนโลยีที่สะอาด การใช้เอ็นไซม์ในการสกัดน้ำมันจากการศึกษาของ Couri และ Freitas (2001) และ Dominguez *et al.* (1994) ระบุว่ากระบวนการสกัดน้ำมันโดยการใช้เอนไซม์ส่วนใหญ่จะทำการไฮโดรไลซ์โครงสร้างพอลิแซคคาไรด์ผนังเซลล์ของเมล็ดพืชน้ำมันหรือโปรตีน ซึ่งก่อตัวเป็นเซลล์และไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ (Rosenthal *et al.*, 1994) เทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชหลายชนิด เช่น เรพซีด ถั่วเหลือง ถั่วลิสง งา จมูกข้าวรำข้าว ปาล์ม ดอกทานตะวัน อะโวคาโด และมะพร้าว (Sant'anna *et al.*, 2003) ข้อดีของการสกัดโดยการใช้เอนไซม์ คือ ปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สูง เทคโนโลยีการสกัดโดยการใช้เอนไซม์ถูกนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตของน้ำมันมะกอกอีกด้วย (Christensen, 1991) ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการไฮโดรไลซ์โครงสร้างพอลิแซคคาไรด์ คืออนุภาคขนาด ความชื้น เวลาในการไฮโดรไลซิส และเอนไซม์/อัตราส่วนมวลสารตั้งต้น (Couri and Freitas, 2001)

ทัดดาว และคณะ (2553) ทำการสกัดสารโดยนำเอนไซม์ซึ่งสามารถย่อยเซลลูโลสและส่วนประกอบอื่นๆของผนังเซลล์ของพืชมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากเหง้าไพล (*Zingiber cassumunar* Roxb) ด้วยเอนไซม์เซลลูโลส โดยเปรียบเทียบประมาณสารอัลฟา-เทอพิเนน-4-ออล ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในน้ำมันไพลที่สกัดได้ จากการทดลองพบว่า กรรมวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพดี เริ่มต้นจากการบดเหง้าไหลให้ได้ผงละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างพืชที่บดแล้วไปผสมกับเอนไซม์ในอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ต่อไพล 1:50 โดยน้ำหนัก ปรับพีเอชให้ได้ 5.5 นำไปบ่มในตู้เขย่าที่ควบคุมอุณภูมิที่ 40±0.5 องศาเซลเซียส ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปสกัดต่อด้วยตัวทำละลายเฮกเซน หรือเมทานอล พบว่าการสกัดน้ำมันไพลโดยการใช้เอนไซม์เซลลูโลสช่วยในการสกัดนั้น ทำให้ได้ปริมาณสารอัลฟา-เทอพิเนน-4-ออล สูงกว่าการสกัดแบบดั้งเดิม คือการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนและเมทานอลถึง 3.36 และ 1.66 เท่า ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันไพลได้

2.3 องค์ประกอบทางพฤกษาเคมีและสาระสำคัญในน้ำมันพืชที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

2.3.1 องค์ประกอบของน้ำมันพืช

จากรายงานการศึกษาเปรียบเทียบน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบเย็นจากเมล็ดพืชหลายชนิด ได้แก่ เรพ (Rape, *Brassica napus* L. var. oleifera) ป่าน (Flax, *Linum usitatissimum* L.) ทานตะวัน (Sunflower, *Helianthus annus* L.) ถั่วเหลือง (Soya, *Glycine hispida* Moench, *Glycine max* (Linne) Mer.) ข้าวโพด (Maize, *Zea mays* L.) ฟักทอง (Pumpkin, *Cucurbita pepo* L.) องุ่น (Grape, *Vitis vinifera* L.) และถั่วลิสง (Peanut, *Arachis hypogaea* L.) รวมทั้งน้ำมันมะกอก (olive oil) จากผลมะกอก (*Olea europaea*) (Tuberoso *et al.*, 2007) พบว่าน้ำมันถั่วลิสง (Peanut oil) น้ำมันเมล็ดเรพสีด (Rapeseed oil) และน้ำมันมะกอก (Olive oil) อุดมไปด้วยกรดโอเลอิค ในขณะที่น้ำมันเมล็ดฟักทอง (Pumpkin seed oil) น้ำมันถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Soybean oil) และน้ำมันเมล็ดองุ่น (Grape seed oil) อุดมไปด้วยกรดลิโนเอลิค นอกจากนี้น้ำมันข้าวโพด (Corn oil) และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower oil) จะอุดมไปด้วยกรดลิโนเลอิค กรดโอเลอิค และกรดปาล์มมิติค (Tuberoso *et al.*, 2007) โดยทั่วไป Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) ในน้ำมันพืช เช่น ไลโนเลอิค และกรดไลโนเลนิค เป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย ทั้งนี้กรดไลโนเลนิคจัดเป็นองค์ประกอบของ ceramides ที่พบได้ในเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นสารตั้งต้นของกรดอะราชิโดนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ Prostaglandin, Thromboxane, Prostacyclin และ Leukotriene ซึ่งในแต่ละวันร่างกายมนุษย์ควรได้รับกรดโอเลอิคร้อยละ 11–16 กรดลิโนเลอิคร้อยละ 4–6 และกรดแอลฟา-ลิโนเลอิคร้อยละ 1 เพื่อให้เกิดผลดีต่อระดับไขมันในเลือด ทั้งนี้น้ำมันพืชที่ดีต่อสุขภาพควรมี Saturated fatty acids (SFA) เช่น กรดลอริค กรดไมริสติค และกรดเบเฮนิคในปริมาณต่ำ เพราะกรดไขมันอิ่มตัวเหล่านี้จะส่งผลเสียต่อระดับไขมันในเลือด (Beardsell *et al.*, 2002)

ในปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดหลากหลายชนิด สามารถแบ่งชนิดของน้ำมันได้ตามคุณภาพของน้ำมัน และเรียกชื่อตามความบริสุทธิ์ เช่น น้ำมันมะกอกชนิดบริสุทธิ์พิเศษจะมีคุณภาพและความบริสุทธิ์สูง มีรส และกลิ่นมะกอกแรง ได้มาจากการบีบอัดเชิงกล โดยทั่วไปน้ำมันมะกอกจะอุดมไปด้วย PUFA และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid, MUFA) เช่น กรดโอเลอิค นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารต้านออกซิเดชัน เช่น Tocopherol Carotenoid Sterol และ Phenolic compound ทั้งนี้มีรายงานว่าสารสกัดที่ชอบน้ำของน้ำมันมะกอกจะอุดมไปด้วย Phenolic compound ได้แก่ 3,4-Dihydroxyphenylethanol และ Phydroxyphenylethanol (Silva *et al.*, 2010) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าน้ำมันพืชได้มาจากเมล็ดหรือส่วนต่างๆ ของพืชหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพแตกต่างกันไป

น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่ให้น้ำมันในปริมาณสูงถึงร้อยละ 32.44 ซึ่งองค์ประกอบของเมล็ดสำโรงขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ และแหล่งเพาะปลูกของเมล็ดสำโรง เป็นต้น โดยแสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำมันในเมล็ดสำโรง

องค์ประกอบ	ร้อยละ
Tetradecanoic acid (myristic acid)	1.646
Hexadecanoic acid (palmitic acid)	11.86
Hexanedioic acid	8.56
9-octadecanoic acid (oleic acid)	20.50
7,10-Octadecanoic acid (linoleic acid)	12.86
Heptadecanoic acid (malvalic acid)	2.28
8-(2-Octacyclopropen1yl)	6.76
Octanoic acid (Sterculic acid)	

ที่มา : Kavitha *et al.* (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ Aued-Pimentel *et al.* (2004) รายงานว่าน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีกรดไขมันประเภทกรดปาล์มมิติกร้อยละ 52 กรดสเตอคูลิคร้อยละ 45-72 กรดโอเลอิคร้อยละ 14 ซึ่ง Kale *et al.* (2011) พบว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงมีองค์ประกอบของกรดไขมันประเภทกรดไมริสติกร้อยละ 1.65 กรดปาล์มิติกร้อยละ 11.87 กรดมาการิคร้อยละ 2.28 กรดโอเลอิคร้อยละ 20.50 กรดลิโนเลอิคร้อยละ 12.86 และกรดสเตอคูลิคร้อยละ 6.76 สำหรับการรายงานของ Kale (2011) ยังพบว่าองค์ประกอบของเมล็ดสำโรงจะมีความชื้นร้อยละ 9.2 ซึ่งน้ำมันมีค่ากรด 7.42 มิลลิกรัม/กรัม ค่าไอโอดีน 142.96 ค่าซาปอนนิฟิเคชัน 154.78 และค่า Unsaponifiable matter ร้อยละ 1.11

2.3.2 สารพฤกษาเคมีในน้ำมันพืชที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

น้ำมันพืชประกอบด้วย Tocopherol ซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ช่วยจับ Hydroperoxide และยับยั้ง Autoxidation chain reaction (Tuberoso *et al.*, 2007) ดังนั้นปริมาณของ α-tocopherol ในน้ำมันพืชจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพร่างกาย โดยน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดฟักทอง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันเมล็ดปอ มีสัดส่วนของ α-tocopherol ในปริมาณสูง ยกเว้นน้ำมันเมล็ดองุ่นและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันซึ่ง α-tocopherol จะมีผลดีต่อสุขภาพมากที่สุด เพราะช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง และอัลไซเมอร์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม น้ำมันมะกอกชนิดบริสุทธิ์พิเศษจะมี α-tocopherol ในปริมาณสูง และอาจสูงถึง 50 เท่าของปริมาณ α-tocopherol จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ Chlorophyll Carotene Squalene และ Phenolic compound ในน้ำมันพืช (Tuberoso *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม ไม่พบ squalene ในน้ำมันเมล็ดปอ น้ำมันเมล็ดองุ่น และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่ง β-carotene จัดเป็น Provitamin A ที่สำคัญ และจะทำหน้าที่ต้านออกซิเดชันร่วมกับ chlorophyll โดยทำหน้าที่เสมือนเป็น Pro-oxidant ส่วน squalene จัดเป็นสารประเภท Triterpenes และเป็นสารมัธยันตร์ที่สำคัญใน Steroids biosynthetic pathway และมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Smith *et al.*, 2000) มีรายงานว่า Phenolic compound มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ต้านมะเร็ง และต้านอักเสบ (Hashim *et al.*, 2005) ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลหมู่ที่สองหรือหมู่เมธอกซีบน Ortho-position หรือ Para-position ของวงแหวนฟีนอล Phenolic compound ชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันพืชจะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้น้ำมันมะกอกประกอบด้วย Phenolic compound ทั้งที่ไม่พบและที่พบได้น้อยมากในน้ำมันพืชอื่น ได้แก่ Tyrosol Hydroxytyrosol Vanillic acid Pcoumaric acid Oleuropein Ligstroside luteolin และ Apigenin ส่วนน้ำมันข้าวโพด ประกอบด้วย Vanillin, Trans-cinnamic acid และ Ferulic acid ในขณะที่น้ำมันเมล็ดเรพ ประกอบด้วย Syringic acid และ Sinapic acid ในปริมาณสูง (Tuberoso *et al.*, 2007) จากรายงานการศึกษา DPPH$^{\bullet}$ radical scavenging activity ในน้ำมันพืช พบว่าน้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลืองมีค่า Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) และ Tocopherol สูงที่สุด ในขณะที่น้ำมันมะกอกมี Phenolic compound และ squalene ในปริมาณสูง แต่ไม่แสดงค่า TEAC ที่สูงตามไปด้วย ทั้งนี้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ PUFA และ Tocopherol (Tuberoso *et al.*, 2007) น้ำมันมะกอกชนิดบริสุทธิ์พิเศษมี Phenolic compound และ Tocopherol ในปริมาณสูง จึงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ดี (Silva *et al.*, 2010)

สารสำคัญที่พบในน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) เช่น Tocopherol, Tocotrienol และ γ-oryzanol สารสำคัญที่พบในน้ำมันงา เช่น Sesamin และ Sesamolin สารสำคัญที่พบในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นสิ่งที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าว เช่น Polyphenol สารสำคัญเหล่านี้ล้วนมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Sen *et al.*, 2007) ทั้งนี้ α-tocopherol ที่ละลายได้ดีในน้ำมันจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันในกระบวนการ Lipid peroxidation ที่เยื่อหุ้มเซลล์ และทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ เช่น Singlet Oxygen (Sen *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า Tocotrienol โทโคไทรอีนอลมีฤทธิ์ลดโคเลสเตอรอล ต้านมะเร็ง และปกป้องเซลล์ประสาท (Seneviratne *et al.*, 2009) การบริโภคอาหารที่อุดมไปด้วยสารต้านออกซิเดชันจะช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันสามารถลดการทำลายไขมัน โปรตีน และ Nucleic acids จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสารต้านออกซิเดชันจะทำหน้าที่เป็น Free radical scavenger reducing agent complexer ของ Prooxidant metal หรือ Quencher ในการเกิด Singlet oxygen โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชจะประกอบด้วยสารต้านออกซิเดชัน เช่น Tocopherol, Phenolic Compound และ Phospholipids ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันที่ใช้ความร้อน (Ramadan *et al.*, 2006) โดย Phytosterols ในน้ำมันพืชมีฤทธิ์ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดออกฤทธิ์โดยการทำให้เกิด Allylic free radical และปฏิกิริยา Isomerization เพื่อทำให้อนุมูลอิสระมีความคงตัวมากขึ้น (Ramadan *et al.*, 2006)(Seneviratne *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสโฟไลปิดซึ่งเป็นไขมันที่มีขั้วและพบได้ในน้ำมันพืชที่ค่อนข้างบริสุทธิ์จะทำหน้าที่เป็น Free radical scavenger หรือ Antioxidant synergist นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น emulsifier ช่วยให้สารต้านออกซิเดชันและไขมันที่ถูกออกซิไดส์เข้ากันได้ จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันพืช พบว่าน้ำมันพืชที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเรียงลำดับจากสูงไปหาต่ำเป็นดังนี้ น้ำมันเมล็ดผักชี > น้ำมันเมล็ดยี่หร่า > น้ำมันเมล็ดฝ้าย > น้ำมันถั่วลิสง > น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน > น้ำมันวอลนัท > น้ำมันเมล็ดกัญชา > น้ำมันมะกอก > น้ำมันเมล็ดไนเจอร์ (Ramadan *et al.*, 2006)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยม ได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH$^{\bullet}$) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS$^{\bullet+}$) และการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ซึ่งวิธีการดังกล่าวข้างต้นจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากค่าการดูดกลืนแสง สารอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ เช่น ABTS$^{\bullet+}$ และ DPPH$^{\bullet}$ การคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหาได้จากอัตราส่วนของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน (เช่น Trolox, Vitamin C และ Ferrous sulfate) หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณแสดงได้ 2 แบบ คือ (1) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงก็แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและ (2) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 (IC50, 50% of inhibitory concentration) โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งสองแบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ μM/mg, mM/mg, μM/mL, mM/mL เป็นต้น

2.3.2.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (Diphenyl-picryhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH$^{\bullet}$, diphenyl-picryhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัว และมีสีม่วงสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้ เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ DPPH$^{\bullet}$ ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลง ๆ จนเป็นสีเหลือง ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ โทรล็อกซ์ (Trolox, 6-hydroxy 2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ μM/mg ข้อดีของวิธีนี้คือง่าย สะดวกและรวดเร็ว (พยุงศักดิ์ และสุรศักดิ์, 2555) ส่วนข้อเสีย คือ DPPH$^{\bullet}$ ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอน (ปรียนันท์, 2549) อีกทั้งสารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวน (Interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรีดิวซ์แล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้เช่นกัน (Lee *et al.*, 2008) ได้มีการนำวิธีการนี้ไปใช้ตัวอย่าง เช่น การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลิสระในกระถิน ติ้ว และกระโดนบก พบว่าสารสกัดทั้งสามให้สารสกัดที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี (ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2548) ขณะที่สารสกัดเมทานอลจากใบของชุมเห็ดเทศมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่แรงกว่าดอกและฝัก (Panichayupakaranant *et al.*, 2004) เช่นเดียวกับใบของมะตูมมีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ (IC50) มากกว่าผลและราก (Siddique *et al.*, 2010)

2.3.2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay) เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS$^{\bullet+}$,2,2′-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจากสีของ ABTS$^{\bullet+}$ ปกติจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง ABTS$^{\bullet+}$ ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำ ABTS$^{\bullet+}$ ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือจางซึ่งจะทำให้สีจางลง และตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS$^{\bullet+}$ ซึ่งวิธีการคำนวณและการเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox กระทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH ข้อดีของวิธีการนี้คือ ABTS$^{\bullet+}$ ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง (พยุงศักดิ์และสุรศักดิ์, 2555) ส่วนข้อเสียคือ ABTS$^{\bullet+}$ ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ ตัวอย่างที่ได้มีการนำวิธีนี้มาใช้ ได้แก่ การตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโหระพา (Javanmardi *et al.*, 2003) การตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระส่วนของเมล็ดมะม่วง (*Mangifera indica L.*) มากกว่าใบอ่อน ใบแก่ และเปลือกของผลดิบ และพบว่าส่วนสกัดจากใบผักช้าเลือด (*Ceasalpinia mimosoides Lamk.*) มีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนของยอดอ่อน ใบดอก และลำต้น (สุพักตร์, 2545) อีกทั้งได้มีการตรวจพบต้านอนุมูลอิสระสารสกัดจากโด่ไม่รู้ล้ม ผักคราดหัวแหวน หญ้าตดหมา เหียง (เนวิชญานิ์และคณะ, 2552) กะทกรก ทองพันชั่ง ผักหวานป่า เพกา และมะระขี้นก (บุหรัน และคณะ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay) วิธีการนี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ซึ่ง $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ปริมาณของ $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งขั้นตอนโดยละเอียดของวิธีการนี้ ได้แก่ การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ประกอบด้วย นำสารละลาย TPTZ (2,4,6-tri (2-pyridyl)-striazine) ที่ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางมาทำปฏิกิริยากับสารละลายอะซิเทตบัฟเฟอร์และสารละลายเฟอริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต จากนั้นทำการรีดิวซ์เฟอร์ริกโดยการเติมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต หรือสารตัวอย่าง (สารต้านอนุมูลอิสระ) และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อยไม่แพง และสามารถทำซ้ำแล้วให้ผลเหมือนเดิม (ปรียนันท์, 2549) แต่ข้อเสียคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกายและสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีการดังกล่าว เช่น การตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดเอทิลอะซิเทตและบิวทานอลของใบฝรั่ง (Tachakittirungrod *et al.*, 2007) สารสกัดรังกะแท้ในประเทศจีนที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ (Wei *et al.*, 2010) และสารสกัดเมทานอล และเอทิลอะซิเทตในพืชวงศ์ Lamiaceae และวงศ์ Apiaceae จำนวน 7 ชนิด จากประเทศอิหร่าน (Gohari *et al.*, 2011)

2.4 คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมันพืช

2.4.1 สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืช

ไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ แตกต่างกัน (นิธิยา, 2548)

2.4.1.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) (นิธิยา, 2548)

ไขมันหรือน้ำมันบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วย กรด ด่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันด้วยด่าง เรียกว่า Saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ไขมันหรือน้ำมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Saponifiable Mater เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอล ฟอสโฟลิพิด และแวกซ์ ส่วนไขมันหรือน้ำมันที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเรียกว่า Unsaponifiable Matter หรือ Non-Saponifiable Mater เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล

(1) Unsaponifiable Matter หมายถึง สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำ Saponification ได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล (คอเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล) โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมี Unsaponifiable Matter ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2

(2) Saponification Number คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 ฮาโลจีเนชัน (Halogenation)

ฮาโลจีเนชันเป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (Halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ยาฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า Iodine Number หรือ Iodine Value (นิธิยา, 2548)

(1) ค่าไอโอดีน (Iodine Value) (นิตยา, 2533)

ปริมาณเป็นกรัมของไอโอดีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับไขมัน 100 กรัม การที่ไอโอดีนสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันได้ก็เพราะไขมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่จับกับคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าไขมันมีค่าไอโอดีนน้อย เช่น น้ำมะพร้าว จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 6.2-10 แสดงว่าน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองจะค่อนข้างสูง เท่ากับ 122-134 แสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองสูงมาก

ค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บอกความอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของกรดไขมันโดยตรง ดังนั้นในกระบวนการไฮโดรจีเนชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว จึงสามารถใช้ค่าไอโอดีนเป็นมาตรการในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการได้

2.4.1.3 ไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) (นิธิยา, 2548)

ไฮโดรจีเนชันเป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน โดยใช้นิกเกิลเป็นคะตะลิสต์หรือตัวเร่ง อาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Hardening ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารในการผลิตเนยเทียม และเนยขาว การทำโฮโดรจีเนชันจะทำให้น้ำมัน ซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ความแข็ง-อ่อนของไขมันที่ได้ขึ้นอยู่กับ Degree of Hydrogenation

2.4.1.4 การหืน (Rancidity) (นิธิยา, 2548)

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

(1) ลิโพไลซิส (Lipolysis)

ลิโพไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเพส ความร้อน กรด ด่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใด ๆ ก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิโพไลซิส หรือ Lipolytic Rancidity หรือ Hydrolytic Rancidity

(1.1) Hydrolytic Rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเพสและความชื้น สาเหตุเนื่องจากมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น และจุลินทรีย์หลั่งเอนไซม์ไลเพสออกมา ทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4–12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนย และน้ำมันหมู เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

(2) Oxidative Rancidity

Oxidative Rancidity คือ การหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชัน (Auto oxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดพันธะเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Linkage) ขึ้นที่หมู่ α-methylene (-CH=CH-) ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ยังเกิดขึ้นกับอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดง และตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(3) Ketonic Rancidity

Ketonic Rancidity คือ การเกิดปฏิกิริยา Enzymatic Oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

2.4.1.5 Reichert Meissl Number (R.M.N) (นิธิยา, 2548)

Reichert Meissl Number เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายได้ในน้ำ (Volatile Water Soluble Fatty Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4-6 อะตอม หรือกรดบิวทีริก และกรดคาโพรอิก ตามลำดับ

ค่า Reichert Meissl Number (R.M.N) หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายได้ในน้ำ ซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 5 กรัม เป็นกลางพอดี

2.4.1.6 Polenske Number (P.N) (นิธิยา, 2548)

Polenske Number เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้และไม่ละลายน้ำ (Volatile Water Insoluble Fatty Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลระหว่าง 8–14 อะตอม ได้แก่ กรดคาพริลิก ลอริก และไมริสติก สำหรับกรดคาพริลิก และคาพริก ละลายในน้ำได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นอาจพบอยู่ในส่วนที่ละลายได้ในน้ำด้วย ซึ่งจะมีผลต่อทั้งค่า ReichertMeissl Number และ Polenske Number

2.4.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช

สมบัติทางกายภาพของไขมันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันนั้น ๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและบ่งชี้ชนิดของไขมัน รวมทั้งการนำไขมันไปใช้ประโยชน์ก็จะพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพของไขมันที่สำคัญ ได้แก่

2.4.2.1 จุดหลอมเหลว (Melting Point)

อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวจนหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของกรดไขมัน	เขียนย่อ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		
กรดบิวทีริก	4 : 0	-7.90
กรดคาโพรอิก	6 : 0	-3.40
กรดคาไพรลิก	8 : 0	16.70
กรดคาพริก	10 : 0	31.45
กรดลอริก	12 : 0	44.10
กรดวาลีริก	5 : 0	-34.50
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิโตเลอิก	16 : 1	0.50
กรดโอเลอิก	18 : 1	13.25
กรดลิโนเลอิก	18 : 2	-5.00
แอลฟา-กรดลิโนเลนิก	18 : 3	11.00

ที่มา : Coultate (2014), Methew and van Holde (2012), Hadziyev (2010)

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะเป็นของแข็งมากขึ้น ดังนั้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิดจะเห็นได้ว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ แต่มีการเรียงตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้จุดหลอมเหลวแตกต่างกัน

การนำเอาไขมันหรือกรดไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ ไขมันจะค่อย ๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อทำให้ร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะระเหยได้

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	การหักเหของแสงที่ 25 องศาเซลเซียส
น้ำมันมะพร้าว	23 - 26	1.448 - 1.450
น้ำมันข้าวโพด	-10 ถึง -12	1.465 - 1.468
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-2 ถึง 2	1.458 - 1.466
น้ำมันมะกอก	-3 ถึง 0	1.466 - 1.468
น้ำมันปาล์ม	33 – 40	1.499 - 1.455
น้ำมันถั่วลิสง	-2	1.460 - 1.465
น้ำมันงา	-4 ถึง -0	1.470 - 1.474
น้ำมันถั่วเหลือง	-20 ถึง -23	1.466 - 1.470

ที่มา : Pike (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 จุดแข็งตัว (Solidifying Point)

อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็งอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็ง เรียกว่า Solidification และเรียกจุดนี้ว่า Solidifying Point อุณหภูมินี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลาย ๆ ชนิดแตกต่างกัน จะมีผลทำให้มีจุดแข็งตัวเป็นช่วงกว้าง

2.4.2.3 การละลาย (Solubility)

ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์อะซีโตน คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไซโคลเฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ พวกที่เป็น Unsymmetrical Mixed Triacylglycerol ละลายได้ดีกว่าพวกที่เป็น Symmetrical Mixed Triacylglycerol

2.4.2.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของไขมันหรือน้ำมันนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ที่โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ

2.4.2.5 การหักเหของแสง (Refractive Index)

การวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้น เมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะลุน้ำมันตัวอย่าง จะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการบ่งชี้ ตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบ ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น หรือมีพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของพันธะคู่ จะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

2.4.2.6 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น

2.4.2.7 สี (Color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดไขมันหรือน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความคงตัวของน้ำมัน (Oil Stability)

คำว่า "Stability" หมายถึง คุณภาพ ภาวะ หรือระดับความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพ (นิธิยา, 2548)

คำว่า “Oil” มาจากคำภาษาละตินว่า “Oleum” หมายถึง ลิพิดซึ่งเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลที่บริโภคได้ oil หรือ น้ำมัน จึงหมายถึงไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า “Fat” หรือไขมัน ทั้งไขมันและน้ำมันมีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน คือ เป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล จึงมีไตรเอซิลกลีเซอรอลหลาย ๆ ชนิดผสมรวมกันเป็นสารประกอบหลัก นอกจากนั้นในไขมันหรือน้ำมันยังอาจมีสารประกอบอื่นอยู่ด้วยอีกจำนวนเล็กน้อย เช่น โมโน-หรือไดเอซิลกลีเซอรอล สเตอรอล สารสี วิตามินอี ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด และลิโพโปรตีน เป็นต้น

ไขมันและน้ำมันแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น ชนิดของกรดไขมันเหล่านี้จะเป็นตัวชี้บ่งความคงตัวของไขมันหรือน้ำมัน ดังนั้นการพิจารณาถึงความคงตัวของน้ำมันจึงมุ่งไปที่ความคงตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก แต่ไม่ควรมองข้ามสารประกอบหลักอื่น ๆ ที่ปนอยู่เป็นจำนวนเล็กน้อยด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นกับสารสี จะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันและความคงตัวของสี (Colour stability) ของน้ำมันด้วย และผลิตผลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟอสโฟลิพิดยังทำให้น้ำมันมีรสขม จึงมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นและรส (Flavour stability) ของน้ำมันเช่นเดียวกัน (นิธิยา, 2548)

ความคงตัวของน้ำมันเป็นผลของปฏิกิริยาทางเคมีที่สลับซับซ้อน และเกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ มากมาย นอกจากนี้ความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาทางเคมีแต่ละชนิดยังมีผลต่อสมบัติของน้ำมันแตกต่างกันด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ เช่น ความคงตัวของกลิ่นและรสชาติ มีความสำคัญมากต่อการนำน้ำมันไปทำน้ำมันสลัดและเนยขาว แต่จะไม่มีความสำคัญมากนักหากนำน้ำมันไปใช้เป็น Drying oil ในอุตสาหกรรมผลิตสีทาผนัง หรือความคงตัวของน้ำมันต่อความร้อน (Heat stability) จะมีความจำเป็นสำหรับน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร แต่ไม่มีความจำเป็นสำหรับน้ำมันที่นำไปใช้ทำเนยเทียม (มาร์การีน) (นิธิยา, 2548)

2.5.1 ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ความคงตัวต่อออกซิเดชันของน้ำมันจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งจะเกิดเป็นออกซิไดส์ไตรเอซิลกลีเซอรอล และจะสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันก่อนที่ถูกออกซิไดส์ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับความคงตัวต่อออกซิเดชันเป็นได้ทั้งปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ แต่เอนไซม์ทั้งหมดจะถูกทำลายในกระบวนการรีไฟน์และการกำจัดกลิ่น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์จึงมักจะเกิดขึ้นก่อนที่น้ำมันจะถูกสกัดออกมาหรือเกิดขึ้นกับวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

การจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์ไลพอกซิเดส (Lipoxidase) ต้องการภาวะของปฏิกิริยา 3 อย่าง (นิธิยา, 2548) คือ

1. ต้องมีเอนไซม์ไลพอกซิเดสในสภาพที่ทำงานได้ (Active)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่จะถูกออกซิไดส์ต้องอยู่ในรูปซิส-ไอโซเมอร์

3. ต้องมีออกซิเจน

เอนไซม์ไลพอกซิเดสมีความเฉพาะเจาะจงสูงต่อการออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีหมู่เมทิลีน (Methylene) คั่นอยู่ระหว่างพันธะคู่ที่เป็นซิส-ไอโซเมอร์ เช่น กรดลิโนเลอิก และ กรดอะราดิโดนิก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเหล่านี้จะถูกออกซิไดส์โดยมีเอนไซม์ไลพอกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราที่เท่าๆ กัน และจะเลือกออกซิไดส์พันธะคู่ที่ตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมที่ 9 และ 13 เท่านั้น

การเกิดออกซิเดชันที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดกับไขมันและน้ำมันทุกชนิดและผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมี Flavour threshold ต่ำ จึงทำให้น้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ (Off-flavoured oil) ถึงแม้จะมีสารเหล่านี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม

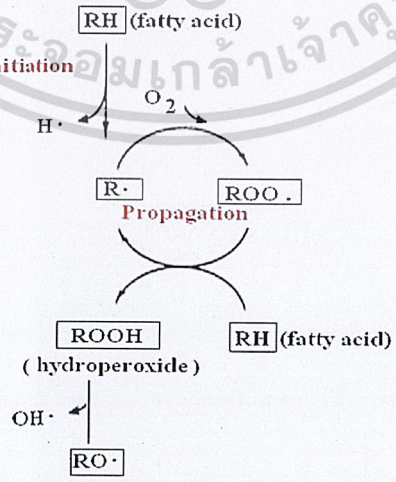
กลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ สารที่เป็นคะตะลิสต์จะไปดึงเอาไฮโดรเจนอะตอมออกมาจากหมู่เมทิลีนที่อยู่ถัดจากตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันได้เป็นอนุมูลแอลคิล (Alkyl radical) และจะทำปฏิกิริยาต่อกับออกซิเจนเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy radical) หลังจากนั้นอนุมูลเพอร์ออกซีจะจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้เป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ซึ่งจะ Dismutate โดย hemolytic spitting ได้เป็นสารต่าง ๆ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องต่อไปได้อีก 3 ทาง คือ

1. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้เป็นสารประกอบที่ไม่มีสมบัติเป็นอนุมูลอิสระอีกต่อไป

2. ทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจนอะตอมจากตัวกลางเกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าอนุมูลอิสระหรือทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบที่มีความคงตัว

3. อาจมีการย้ายไฮโดรเจนอะตอมจากอนุมูลอิสระหนึ่งไปยังอีกอนุมูลอิสระหนึ่งได้เป็น Saturated และ Unsaturated molecules



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน
ที่มา : นิธิยา (2548)

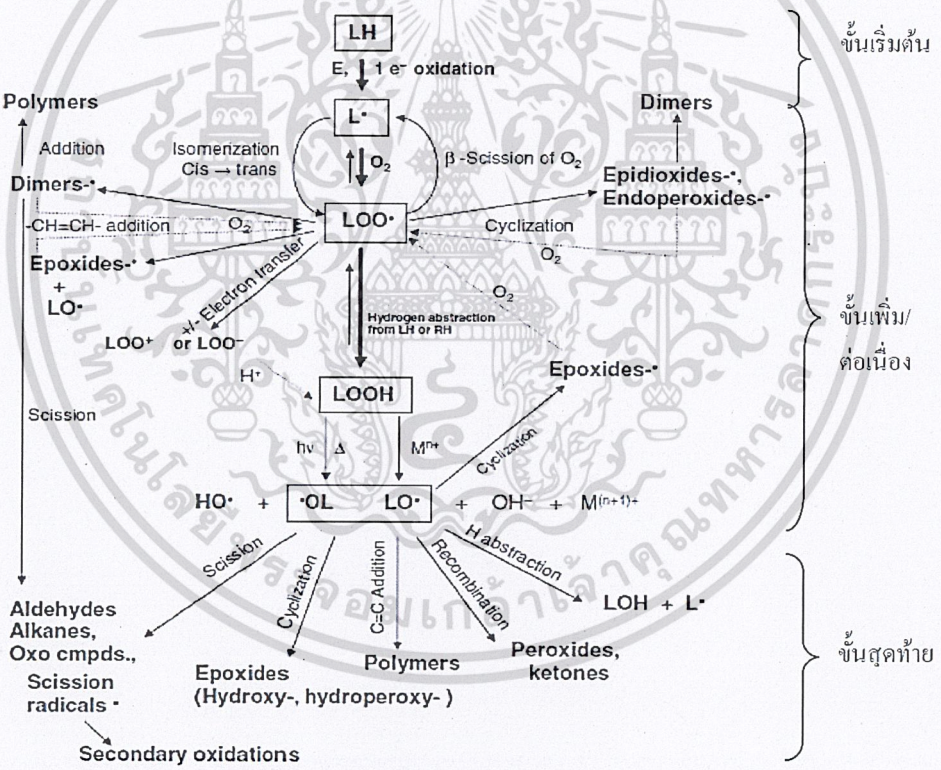
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเหล่านี้ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน และแอลดีไฮด์ นอกจากนั้นยังอาจมีกรดอินทรีย์ คีโตน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ สารประกอบอะโรมาติก และสารประกอบอีพอกซี ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำให้น้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของออโตออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548) ได้แก่

1. ปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ
2. ระดับความไม่อิ่มตัว (Degree of unsaturation) ของกรดไขมัน
3. ปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ในน้ำมันตามธรรมชาติ
4. ปริมาณและชนิดของ Prooxidant โดยเฉพาะทองแดงและสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น heme-containing molecule และเอนไซม์ไลพอกซิเดส
5. ธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ
6. แสงและอุณหภูมิขณะเก็บรักษา

ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ Initiation, Propagation และ Termination



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยรวม
ที่มา : Schaich, 2005

การประเมินการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะช่วยทำให้การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในสารสกัดมีความน่าเชื่อถือและสมบูรณ์มากขึ้น โดยวิธีที่ใช้ในการติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยสภาวะเร่ง อาทิ การทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิเร่งของการเกิดปฏิกิริยา หรือเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหรืออาหารที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ แม้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะเร่งจะแตกต่างจากสภาวะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันการเก็บรักษาอาหารที่แท้จริงที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานาน อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยพบว่าผลการทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะเร่งมีความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาวะจริงที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น น้ำมันทอดอาหารเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายใต้สภาวะอุณหภูมิเร่งมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาอาหารได้ สำหรับวิธีในการประเมินการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ประกอบด้วย

2.5.2.1 การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value : PV)

ค่าเพอร์ออกไซด์เป็นค่าที่บ่งบอก Degree of lipid oxidation โดยการหาปริมาณเพอร์ออกไซด์ที่เกิดในไขมันหรือน้ำมัน สารเพอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้า ๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันที่เก็บรักษาสัมผัสกับอากาศ เรียกว่า เกิด Oxidative rancidity โดยเป็นปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากหรือมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิด Oxidative rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเพอร์ออกไซด์เพื่อใช้บ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน เพราะเพอร์ออกไซด์เป็นสารตัวกลางของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรทไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึงจำนวนมิลลิสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม หรือมิลลิโมลของออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมัน (1 มิลลิโมล เท่ากับ 2 มิลลิสมมูลย์) เป็นการวัดปริมาณของเพอร์ออกไซด์หรือไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน Iodometric titration method โดยจะวัดปริมาณไอโอดีนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่เติมลงไปกับเพอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ไอโอดีนถูกปลดปล่อยโดยเพอร์ออกไซด์ จะถูกไตเตรทด้วยสารมาตรฐานไทโอซัลเฟตในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดต่ำลง (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) ค่าเพอร์ออกไซด์เป็นตัวบ่งชี้ได้ดีถึงคุณภาพของน้ำมัน โดยน้ำมันพืชที่ผ่านการ Refinded ใหม่ ๆ จะมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่เกิน 1 meq/kg ตามกฎหมายน้ำมันพืชที่ใช้สำหรับบริโภคจะต้องมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meq/kg โดยทั่วไปน้ำมันหมูจะเริ่มมีกลิ่นหืนที่ค่าเพอร์ออกไซด์มากกว่า 20 มิลลิอิควิวาเลนท์/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการหืนในไขมันสัตว์ สำหรับปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไตเตรทเพื่อวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ ดังภาพที่ 2.4

$$ROOH + K^+I^- \longrightarrow ROH + K^+OH^- + I_2$$

$$I_2 + \text{starch} + 2Na_2S_2O_3 \xrightarrow{H^+,\ Heat} 2NaI + \text{starch} + Na_2S_4O_6$$

(excess)

(blue)

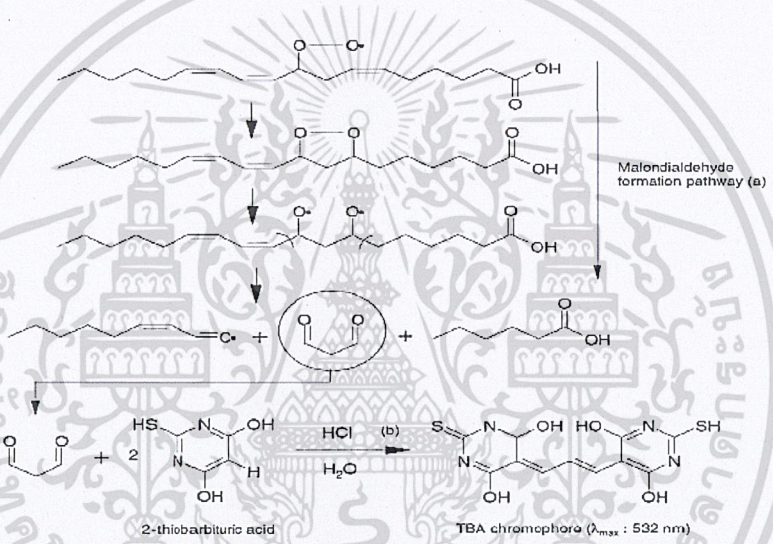
(colorless)

ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์
ที่มา : Shahidi and Zhong, 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) assay

วิธี TBARS เป็นวิธีที่ใช้ติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นสุดท้าย โดยการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริก และเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสีแดง (Red chromogen) ซึ่งเชื่อว่าเกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างสารประกอบแอลดีไฮด์ คือ มาโลนาไดแอลดีไฮด์ (Malondialdehyde, 4-hydroxynonenal) 1 โมเลกุลกับกรดไทโอบาบิทูริก 2 โมเลกุล อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาของกรดไทโอบาบิทูริกไม่เฉพาะกับมาโลนาไดแอลดีไฮด์เท่านั้น โดยกรดไทโอบาบิทูริกสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลดีไฮด์พวกแอลคานาล (Alkanals) แอลคีนาล (Alkenals) และ 2,4 - ไดอีนาล (Dienals) และเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลือง โดยจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยมีเพียงไดอีนาลเท่านั้นที่ให้สีแดงและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของ Thiobarbituric acid และสาร Malondialdehyde ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการวิเคราะห์ค่า TBA โดยวิถีการสร้าง Malondialdehyde จากอนุมูลเพอร์ออกซิลของกรดไขมัน Triunsaturated C18 (a) และการสร้าง TBARS Chromophore จาก TBA และ Malondialdehyde (b)

ที่มา : Leguerre et al., 2007

จากการศึกษาของ ชุติมา (2555) ทำการศึกษาการเพิ่มความคงตัวทางเคมีของน้ำมันพืชด้วยการเติมสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งน้ำมันพืชมักสูญเสียความคงตัวทางเคมี (Chemical stability) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งจะส่งผลให้กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางอาหารลดลง การเตรียมน้ำมันพืชในรูปของน้ำมันผสม (Blended oil) โดยการผสมน้ำมันพืชหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่มีสัดส่วนของกรดไขมันที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้น้ำมันผสมมีความคงตัวทางเคมีดีขึ้น รวมถึงการเพิ่มความคงตัวทางเคมีของน้ำมันพืชด้วยการเติมสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (Natural products) ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันลงในน้ำมันพืช ซึ่งสารเหล่านี้ ได้แก่ น้ำมันมะรุม น้ำมันเมล็ดเทียนดำ น้ำมันเมล็ดผักชี สารสกัดจากเมล็ดงา สารสกัดจากเปลือกทับทิม สารสกัดจากกระเทียม รวมทั้งสารสกัดจากเปลือกมันฝรั่งและรากต้นบีท นอกจากนี้ กีรตินาฏ และคณะ (2553) ระบุว่า เมื่อระยะเวลาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณกรดไขมัน (AV) และค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้น กับเวลา พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่า ln PV กับระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นลักษณะเชิงเส้นตรง ในขณะที่ค่าปริมาณกรดไขมัน อิสระไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จึงใช้ค่าเพอร์ออกไซด์ในการทำนายอายุการเก็บรักษาเพียงค่าเดียว จากสมการอาร์รีเนียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สารป้องกันการเกาะติดจากน้ำมันปาล์มและไขผึ้ง และจากน้ำมันปาล์มและไขคาร์นูบา มีอายุการเก็บรักษา 82 และ 83 วัน ตามลำดับ

2.5.2 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ความคงตัวของไขมันและน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไสซิสที่พันธะเอสเทอร์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้มีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมีและที่เร่งด้วยเอนไซม์เช่นเดียวกัน กรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หากเป็นกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนน้อย หรือเป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น กรดไขมันในไขมันนม น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์มเคอร์เนล จะเกิดกลิ่นหืนได้เร็ว เนื่องจากกรดไขมันดังกล่าวระเหยได้ง่าย โดยเฉพาะในไขมันนมจะมีเอนไซม์ไลเพสปนอยู่ในน้ำนมด้วย จึงเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย วิธีป้องกันทำได้โดยเก็บไขมันนมไว้ที่อุณหภูมิต่ำ หรือทำลายเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส จะช่วยยับยั้งไม่ให้เกิดกลิ่นหืนได้ (นิธิยา, 2548)

สำหรับน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมากหรือเป็นสายยาว ถึงแม้จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่จะไม่มีกลิ่นหืนเกิดขึ้น เพราะกรดไขมันเหล่านี้ระเหยไม่ได้ จึงไม่มีผลต่อน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร อย่างไรก็ตาม ขณะที่ใช้น้ำมันทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำสูงและใช้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว และมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นถึงแม้น้ำมันจะไม่มีกลิ่น แต่จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำมันเหล่านี้ควรทิ้งเนื่องจากไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทอดอาหารซ้ำๆ อีกต่อไป

เอนไซม์ไลเพสจะถูกทำลายด้วยความร้อนขณะที่อาหารถูกทอดทันที ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างการทอด คือ น้ำ ดังนั้นอาหารที่จะนำมาทอดควรทำให้มีน้ำเหลือน้อยที่สุด เพื่อลดอัตราเร็วของการเกิดไฮโดรไลซิสให้ช้าลง

จากการศึกษาของ สุคนธ์ชื่น และ ศิริวรรณ (2557) ทำการทดลองศึกษาการเหม็นหืนที่เกิดขึ้นกับน้ำมันมะพร้าว 3 สาเหตุ คือ 1) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 2) ปฏิกิริยาการเกิดคีโตนหรือแบบคีโตนิก และ 3) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่ากลิ่นเหม็นหืนจาก 2 สาเหตุแรกมีความรุนแรงมาก ซึ่งกลิ่นเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่รุนแรง

2.5.3 ความคงตัวต่อความร้อน

น้ำมันและไขมันส่วนใหญ่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการทอดอาหาร น้ำมันที่ดีจะมีความคงตัวได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการสลายตัว จึงจะจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีความคงตัวต่อความร้อน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้น้ำมันนั้นมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันเกิดฟองได้ง่ายขณะทอด น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารบางชนิดถ้าเกิดฟองมากขึ้นแสดงว่าอายุการใช้งานสั้นลง สารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน (Thermal mechanism) โดยกลไกแรกเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระและจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องระหว่างอนุมูลอิสระ ได้เป็นสารประกอบทั้งชนิดไดเมอร์และพอลิเมอร์ เช่น ได้เป็น R-O-O-R, R-O-R และ R-R เป็น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้น สารประกอบที่เกิดจาก Oxidative polymerization มักเป็นพันธะระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอน (-O-C-) แต่บางครั้งก็เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (-C-C-) เช่น R-R ซึ่งเกิดจาก alkyl-radical มารวมตัวกัน

จากการรายงานของ ชัชวาล (2549) ระบุว่าน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ หลังจากให้ความร้อนนาน 180 นาที เมื่อวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงสุดหลังจากให้ความร้อนที่ 160° C นาน 120 นาที (64.98 ± 4.33 meq O_2/ kg oil) หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งถึง 180 นาที ในขณะที่ค่า TBA เพิ่มอย่างช้า ๆ ในช่วง 120 นาทีแรก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจาก 120 นาที โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.66 ± 2.62 เมื่อได้รับความร้อนนาน 180 นาที และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑน้ำมันและไขมัน

2.6.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543

เรื่อง น้ำมันและไขมัน

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่ง ราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับน้ำมันและไขมัน ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2522

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2525

(3) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534

(4) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538

ข้อ 2 ให้น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหารได้ ซึ่งได้แก่ กลีเซอร์ไรด์ของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ซึ่งใช้เป็นอาหารและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท กล่อง ซอง หรือสิ่งห่อหุ้มที่ปิดผนึกเพื่อจำหน่าย เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงเนยและเนยเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 3 น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหาร แบ่งออกเป็นสามชนิด

(1) น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืช

(2) น้ำมันและไขมันที่ได้จากสัตว์

(3) น้ำมันและไขมันผสม ได้แก่ น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชต่างชนิดผสมกันไม่เกินสองชนิด หรือน้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่ผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีไฮโดรจีเนชั่น (Hydrogenation) หรือเอสเตอร์รีฟิเคชั่น (Esterification) หรือน้ำมันและไขมันผสมตามชนิดและกรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 4 พืชหรือไขมันของสัตว์ที่จะนำมาผลิตเอาน้ำมันและไขมัน ต้องมีสภาพที่เหมาะสมจะใช้ผลิตอาหาร และอยู่ในสภาพที่ให้น้ำมันและไขมันซึ่งบริโภคได้โดยปราศจากอันตราย

ข้อ 5 วิธีการผลิตน้ำมันและไขมันให้ทำได้ ดังนี้

(1) วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัดโดยใช้ความร้อนหรือวิธีธรรมชาติอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง

(2) วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันและไขมันที่ได้จากวิธีธรรมชาติ หรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

(3) วิธีอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 น้ำมันและไขมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม

(1.1) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.2) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.3) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.4) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.5) ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(2) มีค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อน้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

(3) มีน้ำและสิ่งที่ระเหยได้ (Water and Volatile Matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(4) มีปริมาณสบู่ (Soap Content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

(5) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

(6) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมัน ยกเว้นน้ำมันและไขมันผสม

(7) ไม่มีกลิ่นหืน

(8) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(8.1) ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral oil)

(8.2) เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัมในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.3) ทองแดง

ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.4) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.5) สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.6) อฟลาท็อกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน)

(8.7) ไซโคลโพรพีนอย แฟตตี้ แอซิด (Cyclopropenoid Fatty Acid) ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก

น้ำมันและไขมันผสมนอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามวรรคหนึ่งแล้ว อาจมีคุณภาพหรือมาตรฐานอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาด้วยก็ได้

น้ำมันและไขมันที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 5(3) ให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้

การใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นนอกจากที่กำหนดให้ใช้ได้ตามวรรคแรก ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือนำเข้าน้ำมันและไขมันเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุน้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของน้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ข้อ 11 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับน้ำมันและไขมัน ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2525 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าน้ำมันและไขมันที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543

กร ทัพพะรังสี

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)

2.6.2 มาตรฐานผลิตภัณฑอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค

(มอก. 47-2533)

(1) ขอบข่าย

(1.1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด คุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุเจือปนอาหารสารปนเปื้อน สุขลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค

(1.2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถึง น้ำมันผสมหรือไขมันผสมที่ได้จากพืชหรือสัตว์ รวมทั้งน้ำมันของไขมันของพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่มีมาตรฐานกำหนดขึ้นไว้โดยเฉพาะ

(1.3) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึง น้ำมันและไขมันจากสัตว์น้ำ ชอร์เทนิง (Shortening) น้ำมันสลัด (Salad oil) และน้ำมันหรือไขมันที่ยังต้องผ่านกรรมวิธีก่อนจึงจะใช้บริโภคได้

(2) บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีดังต่อไปนี้

(2.1) น้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "น้ำมันและไขมัน" หมายถึง อาหารซึ่งเป็นกลีเซอไรด์ของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ไขมันสัตว์ต้องได้มาจากสัตว์ที่มีสุขภาพดีและคุณภาพเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหาร

(2.2) น้ำมันและไขมันธรรมชาติ (Virgin oil and fat) หมายถึง น้ำมันและไขมันที่ได้จากวิธีทางกลความร้อน หรือวิธีทางกลร่วมกับความร้อน อาจทำให้สะอาดขึ้นโดยการล้างด้วยน้ำตั้งให้ตกตะกอน กรองและหมุนเหวี่ยงเท่านั้น

(2.3) น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี (Refined oil and fat or non -virgin oil and fat) หมายถึง น้ำมันและไขมันที่ผ่านกรรมวิธีการกำจัดกรดและอาจฟอกสีและ/หรือกำจัดกลิ่นด้วยก็ได้

(3) ชนิด

(3.1) น้ำมันและไขมันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

(1) น้ำมันและไขมันธรรมชาติ

(2) น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธ

(4) คุณลักษณะที่ต้องการ

(4.1) ลักษณะทั่วไป

(1) สี มีสี ตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมันนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) กลิ่นและรส มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมันนั้น ๆ และต้องไม่มีกลิ่นหืน การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

(4.2) คุณลักษณะทางเคมี

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะทางเคมี (ข้อ 4.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าของกรด (acid value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ไม่เกิน		IUPAC (1979) ข้อ 2.201
	- น้ำมันและไขมันธรรมชาติ	4.0	
	- น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี	0.6	
2	ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม ไม่เกิน	10	IUPAC (1979) ข้อ 2.501

(5) วัตถุเจือปนอาหาร

ไม่อนุญาตให้ใช้วัตถุเจือปนอาหารในน้ำมันและไขมันธรรมชาติ ส่วนน้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี ถ้าใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณดังต่อไปนี้

(5.1) สี

สีตามรายชื่อต่อไปนี้ยอมให้ใช้ได้ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อความมุ่งหมายที่จะปรับสีของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ให้เหมือนธรรมชาติหรือให้สม่ำเสมอ แต่ในการเติมสีจะต้องไม่ใช่เพื่อเปนการหลอกลวงหรือทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิด โดยปิดบังส่วนเสียหรือความด้อยคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นดูเหมือนมีคุณค่ามากกว่าที่เป็นจริง

(1) บีตา - แคโรทีน (Beta-carotene)

(2) อันนัตโต (Annatto)

(3) เคอร์คิวมิน (Curcumin)

(4) แคนทาแซนทีน (Canthaxanthine)

(5) บีต้า -อะโป-8- แคโรทีนัล (Beta-apo-8-carotenal)

(6) เมทิลและเอทิลเอสเตอร์ของกรดบีตา-อะโป-8-แคโรทีโนอิก (Methyl and ethyl ester of beta- apo-8-carotenoic acid

(5.2) วัตถุที่ใช้ปรุงแต่งกลิ่นและรส

การแต่งกลิ่นและรสให้เหมือนธรรมชาติ จะต้องไม่เป็นการหลอกลวง ปิดบัง ซ่อนเร้นข้อเสียหายของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ หรือทำให้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ดูเหมือนมีคุณค่ามากกว่าที่เป็นจริง ให้ใช้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นและรสตามธรรมชาติหรือสังเคราะห์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

(5.3) สารกันหืน (Antioxidant)

ถ้าใช้สารกันหืน ให้ใช้ตามที่กำหนดข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) โพรพิล ออกทิล และโดเดซิลแกลเลต (Propyl octyl and dodecyl gallate) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตาม IUPAC (1979) ข้อ 2.621

(2) บิวทิเลเตดไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxy toluene) หรือที่เรียกกันว่า บีเอชที (BHT) บิวทิเลเตดไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole) หรือที่เรียกกันว่า บีเอชเอ (BHA) และเทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (Tertiary butyl hydroquinone) หรือที่เรียกกันว่า ทีบีเอชคิว (TBHQ) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตาม IUPAC (1979) ข้อ 2.622 ยกเว้นทีบีเอชคิวให้ทดสอบตามข้อ 11.2

(3) สารพวกแกลเลตรวมกับบีเอชเอ หรือบีเอชทีและ/หรือทีบีเอชควิ ต้องไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่สารพวกแกลแลต ต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตาม IUPAC (1979) ข้อ 2.621 และข้อ 2.622 ยกเว้นทีบีเอชคิว ให้ทดสอบตามข้อ 11.2

(4) อัสคอร์บิลพาล์มิเทต (Ascorbyl palmitate) และอัสคอร์บิลสเตียเรต (Ascorbyl stearate) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.3

(5) โทโคฟีรอล (Tocopherol) ให้ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

(5.4) สารเสริมฤทธิ์สารกันหืน (Antioxidant synergist)

(1) กรดซิทริกและโซเดียมซิเทรต (Citric acid and sodium citrate) ให้ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

(6) สารปนเปื้อน

(6.1) สารปนเปื้อนในน้ำมันและไขมันจะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.7 สารปนเปื้อน (ข้อ 6.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	น้ำและสารที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.2	IUPAC (1979) ข้อ 1.121
2	สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย ร้อยละโดยน้ำหนักไม่	0.05	IUPAC (1979) ข้อ 2.604
3	เกิน	0.005	
4	สบู่ ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน		
	เหล็ก มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	5.0	CAC / RM 13
	4.1 น้ำมันและไขมันธรรมชาติ	2.5	CAC / RM 14
5	4.2 น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี		
	ทองแดง มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	0.4	AOAC (1980) ข้อ 25.044
	5.1 น้ำมันและไขมันธรรมชาติ		ถึงข้อ 25.048
		0.1	AOAC (1984) ข้อ 25.066
	5.2 น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี		ถึงข้อ 25.071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	ตะกั่ว มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	0.1	AOAC (1984) ข้อ 25.119 ถึงข้อ 25.129 และข้อ
7	สารหนู มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	0.1	25.114 ถึงข้อ 25.118 AOAC (1980) ข้อ 25.048
8	ไซโคลโพรพีนอยด์แฟตตีแอซิดคำนวณเป็นกรดมาลวาลิก (malvalic acid) ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.4	และข้อ 25.049 AOAC (1980) ข้อ 28.109 ถึงข้อ 28.112
9	อะฟลาทอกซิน ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	20.0	AOAC (1984) ข้อ 26.026 ถึงข้อ 26.036

(7) สุขลักษณะ

(7.1) สุขลักษณะ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดสุขลักษณะของอาหาร มาตรฐานเลขที่มอก.34

(8) การบรรจุ

(8.1) ให้บรรจุน้ำมันและไขมันในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท ไม่รั่วซึม ผิวภายในของภาชนะบรรจุรวมทั้งจุกหรือฝา (ถ้ามี) ต้องปราศจากสีหรือสารอื่นใดที่ละลายได้ในน้ำมันและไขมัน

(8.2) ภาชนะบรรจุที่เป็นพลาสติกให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาชนะพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค มาตรฐานเลขที่มอก.654

(8.3) ปริมาตรสุทธิหรือน้ำหนักสุทธิของน้ำมันและไขมันในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

(9) เครื่องหมายและฉลาก

(9.1) ที่ภาชนะบรรจุน้ำมันและไขมันทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ข้อความที่แสดงว่าเป็นน้ำมันหรือไขมันสำหรับบริโภคธรรมชาติ หรือน้ำมันหรือไขมันสำหรับบริโภคผ่านกรรมวิธีแล้วแต่กรณี

(2) ข้อความที่แสดงว่าเป็นน้ำมันหรือไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ชนิดใด

(3) ส่วนผสมของน้ำมันนั้น ๆ (ถ้าเป็นน้ำมันผสม)

(4) น้ำหนักกสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม หรือปริมาตรสุทธิเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรหรือลูกบาศก์เดซิเมตร

(5) วัตถุเจือปนอาหารและปริมาณที่ใช้ (ถ้ามี)

(6) เดือน ปี ที่ทำ

(7) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

(9.2) ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 เมล็ดสำโรงแก่ (Samrong seed) ได้รับจากห้างหุ้นส่วนจำกัดสยามจันทร์นินทร์ ในช่วงเดือนเมษายน

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.2.1 ตู้บ่ม (Incubator) รุ่น BD56 ยี่ห้อ BINDER (บริษัท ไซแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด)

3.1.2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UFB 500 ยี่ห้อ Memmert (บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด)

3.1.2.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น ULE 400 ยี่ห้อ Memmert (บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด)

3.1.2.4 เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ Stuart Scientific (บริษัท ชัชรีย์โฮลดิ้ง จำกัด)

3.1.2.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น WB29 ยี่ห้อ Memmert (บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด)

3.1.2.6 เครื่องทำความร้อนพร้อมกวนสารละลาย (Hotplate Stirrer) รุ่น UC152D ยี่ห้อ Stuart (บริษัท โปรดิจีซายน์ อินสทรูเมนท์ จำกัด)

3.1.2.7 เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) รุ่น LMS ยี่ห้อ VTX-3000L (LMS Co., Ltd)

3.1.2.8 เครื่องปั่นผสม (Homogenizer) รุ่น T25 Basic ยี่ห้อ Ystral GmbH (บริษัท เอสพีซี อาร์ที จำกัด)

3.1.2.9 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น S1-234 ยี่ห้อ Denver (บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด)

3.1.2.10 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตั้งโต๊ะ (Centrifuge) รุ่น CR 22N ยี่ห้อ Hitachi (Hitachi Koki Co., Ltd.)

3.1.2.11 เครื่องระเหยตัวทำละลาย (Rotary evaporator) รุ่น B-490 ยี่ห้อ Buchi (บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด)

3.1.2.12 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer) รุ่น 7315 ยี่ห้อ Jenway (Bibby Scientific Ltd, UK)

3.1.2.13 เครื่องบีบอัดน้ำมัน (ผลงานปัญหาพิเศษนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สจล.)

3.1.2.14 เครื่องย่อยโปรตีน (Digestion apparatus) รุ่น K-355 ยี่ห้อ Buchi (BUCHI (Thailand) Ltd.)

3.1.2.15 ชุดอุปกรณ์สกัดไขมัน (Soxtherm) รุ่น S306 MK ยี่ห้อ Gerhardt (บริษัท ไซแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.16 เครื่องวิเคราะห์กากใยอาหารแบบอัตโนมัติ (Autofiber analyzer) รุ่น Fibertec 8000 ยี่ห้อ Foss (FOSS Analytical Co., Ltd.)

3.1.2.17 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) รุ่น 4500L ยี่ห้อ Hunterlab (Union Science co. Ltd, USA)

3.1.2.18 เครื่องผลิตน้ำแข็ง (NT Icepro Co., Ltd.)

3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.3.1 โถดูดความชื้น (Dessicator)

3.1.3.2 ชุดบิวเรต (Buret)

3.1.3.3 บีกเกอร์ (Beaker)

3.1.3.4 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

3.1.3.5 กรวยแยก (Separating funnel)

3.1.3.6 กระบอกตวง (Cylinder)

3.1.3.7 หลอดทดลอง (Tube)

3.1.3.8 ขวดสีชาขนาดเล็ก (Bottle amber)

3.1.3.9 ปิเปต (Pipette)

3.1.3.10 หลอดเหวี่ยง (Centrifuge tube)

3.1.3.11 ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium can)

3.1.3.12 กระดาษกรองเบอร์ 4 (Whatman paper No.4)

3.1.3.13 ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช (Mesh)

3.1.4 สารเคมี

3.1.4.1 n-Hexane (98.5%, Merck, Germany)

3.1.4.2 Petroleum ether (97%, Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.3 Ethanol (99.5%, Merck, Germany)

3.1.4.4 Sodium hydroxide (Emsure, USA)

3.1.4.5 Sodium sulfate anhydrous (Fisher Scientific UK Limited, UK)

3.1.4.6 Potassium hydroxide Ajax Finechem, Australia)

3.1.4.7 Hydrochloric acid (36%, Ajax Finechem, Australia)

3.1.4.8 Glacial acetic acid (99.7%, Mallinckrodt Chemicals, USA)

3.1.4.9 Chloroform (99.9%, RCI Labscan Limited, Thailand)

3.1.4.10 Potassium iodide (99.5%, Loba Chemie, India)

3.1.4.11 Sodium thiosulfate (≥99.99%, Trace metals basis)

3.1.4.12 1,3-Diethyl-2-thiobarbituric acid (Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.13 1,1,3,3-Tetramethoxypropane (Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.14 Phenolphthalein (98-102%, Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.15 Folin-ciocalteu phenol reagent (Merck, Germany)

3.1.4.16 Gallic acid (≥98%, Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.17 DPPH$^{\bullet}$ (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Sigma-Aldrich, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.18 Trolox ((±)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) (Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.19 Starch (Sial, Germany)

3.2 วิธีการ

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสำโรง

3.2.1.1 การเตรียมผงเมล็ดสำโรง

นำเมล็ดสำโรงแก่จากห้างหุ้นส่วนจำกัดสยามจันทร์นินทร์มากระเทาะเปลือกออก เอาเฉพาะส่วนเนื้อในแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยความชื้นภายในเนื้อในเมล็ดต้องไม่เกินร้อยละ 10 แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดแห้งจนละเอียดเป็นผงขนาดเล็ก ร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Sieve) ยี่ห้อ Retsch เบอร์ 18 ให้ได้ขนาดผงประมาณ 0.7-1.0 มิลลิเมตร จากนั้นเก็บผงเมล็ดสำโรงที่ได้ในถุงพลาสติกปิดสนิทห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20±1 องศาเซลเซียส โดยเก็บรักษาไม่เกิน 1 เดือน จนกระทั่งนำผงเมล็ดสำโรงมาศึกษา

3.2.1.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสำโรง

นำผงเมล็ดสำโรงมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน เยื่อใย และ ไขมัน ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (AOAC, 2000) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตใช้วิธีการหาปริมาณส่วนต่างจากองค์ประกอบอื่น ๆ ในตัวอย่างผงเมล็ดสำโรง

3.2.2 การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

ทำการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ

3.2.2.1 การบีบอัดน้ำมันแบบเย็น โดยนำผงเนื้อในเมล็ดสำโรง 50 กรัม มาบีบอัดเป็นน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดเชิงกลแบบสกรูที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000×g ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3.2.2.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เย็น โดยทำการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงตามวิธีของ Cheikh-Rouhou *et al.* (2007) ดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย โดยนำผงเมล็ดสำโรง 50 กรัม ปั่นกับตัวทำละลายเฮกเซนที่แช่เย็นจำนวน 250 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 9,500 รอบต่อนาที โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนซ์ เป็นเวลา 2 นาที ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส สารสกัดที่ได้นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000×g ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนของสารละลายแล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ส่วนตะกอนเมล็ดสำโรงนำมาปั่นผสมกับตัวทำละลายเฮกเซนใหม่อีก 2 ครั้ง ภายใต้สภาวะเดียวกัน นำส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งหมดมาเติมโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำลงไป 2-5 กรัม เขย่าให้เข้ากัน นำมาผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 (Whatman International Ltd. , Maidstone, UK) แล้วนำไประเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกโดยใช้เครื่องระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส

3.2.2.3 การสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet extractor โดยทำการสกัดน้ำมันจากผงเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70±1 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายเฮกเซนออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 วิธี มาใส่ในขวดสีชาที่ปิดสนิท โดยพ่นแก๊สไนโตรเจนลงไปก่อนนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20±1 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

$$\text{(1) ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันจากสำโรงที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักของเนื้อเมล็ดสำโรงเริ่มต้น}} \times 100$$

(2) สารพฤกษาเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

(2.1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้ Folin-ciocaltiu ตามวิธีของ Erkan *et al.* (2008) นำน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง 10 กรัมละลายในตัวทำละลายเฮกเซน 50 มิลลิลิตร และย้ายไปที่กรวยแยก จากนั้นเติม methanol-water (80:10 v/v) จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่า 3 นาที แยกเอาชั้นล่างออกมาใส่ในขวดก้นกลม ซึ่งเป็นชั้นของ methanol-water ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วรวมส่วนของ methanol-water จากนั้นนำสารละลายที่ได้ระเหยด้วย rotary evaporator ภายใต้ vaccum ที่ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำส่วนที่เหลือเจือจางด้วย methonal จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรจากนั้นเติม Folin Ciocaltex reagent (เจือจาง 10 เท่า ด้วยน้ำปราศจากไอออนจำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้น 7.5 % จำนวน 8 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน นำสารละลายที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายแบลงค์ คำนวณกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก และรายงานในหน่วยกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำมัน

(2.2) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ (DPPH radical scavenging activity) วิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl ($DPPH^{\bullet}$) ตามวิธีของ Erkan *et al.* (2008) โดยนำน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ ที่ผสมกับตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ความเข้มข้น 0.15 mM จำนวน 1.5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ โดยใช้สารละลายโทรล็อกซ์เป็นสารมาตรฐาน และรายงานในหน่วย ไมโครกรัม Trolox ต่อกรัมน้ำมัน (µg Trolox/g oil)

(3) คุณสมบัติทางเคมี

(3.1) ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยชั่งน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรง จำนวน 1 กรัม ละลายใน n-Hexane จำนวน 10 มิลลิลิตร หยดสารละลาย Phenolphthalein ร้อยละ 1 จำนวน 2 หยด ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล รายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัม/กรัมน้ำมัน

(3.2) ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีของ AOAC (2000) ทำการวิเคราะห์ตามสูตร

$$\text{กรดไขมันอิสระ} = \frac{A.V. \times Mw\ of\ oleic\ acid}{mol\ of\ KOH \times Mw\ of\ KOH} \times \frac{10}{100}$$

(3.3) ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) วิเคราะห์ปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยชั่งน้ำมันเมล็ดสำโรงจำนวน 0.5 กรัม เติมสารละลาย Peroxide จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 1 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่นจำนวน 75 มิลลิลิตร เติมน้ำแป้งจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล รายงานในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

(3.4) ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตามวิธีของ Singh *et al.* (2005) โดยชั่งน้ำมันเมล็ดสำโรง จำนวน 0.5 กรัม ผสมกับสารละลาย TBA จำนวน 2.5 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำสารละลายใส่ในหลอดไมโครเซนตริฟิวก์ ขนาด 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,600×g ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้สาร Malonaldehyde (MAD) เป็นสารมาตรฐาน รายงานในหน่วย มิลลิกรัม มาลอนไดอัลดีไฮด์ ต่อ กรัมน้ำมัน

(3.5) ค่าพารา-อะนิซิดีน (ρ-Anisidine value: ρ-AnV) การหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยการให้แอลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับสาร ρ-anisidine แอลดีไฮด์หลักที่ตรวจวัดคือ 2-alkenals โดยการนำน้ำมันเมล็ดสำโรงจำนวน 100 ไมโครกรัม ละลายในตัวทำละลาย Isooctane จำนวน 25 มิลลิลิตร วัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร (A_1) จากนั้นดึงสารละลายน้ำมันจำนวน 2.5 มิลลิลิตร นำไปผสมกับสารละลาย ρ-Anisidine ที่ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.5 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยา 10 นาที แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร (A_2) คำนวนตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\rho\text{-Anisidine value} = \frac{25 \times 1.2\,(A_2 - A_1)}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

(4) คุณสมบัติทางกายภาพ

(4.1) ค่าสี (Color measurement) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้กำเนิดแสง D65 และแสดงค่าในรูป L^* (lightness), a^* (redness) และ b^* (yellowness) (Deda *et al.*, 2007)

(4.2) ความหนาแน่น (Density) ด้วยพิโคโนมิเตอร์ (Pycnometer)

3.2.3 การศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ทำการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงโดยเลือกวิธีการสกัดน้ำมันจากข้อที่ 3.2.2 ที่ให้ปริมาณผลผลิตและความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการสกัดมากที่สุด จากนั้นถ่ายน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดได้ลงในขวดแก้วสีชาที่ปิดสนิท โดยพ่นแก๊สไนโตรเจนลงไปก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์ โดยตรวจวิเคราะห์ค่า PV และ TBARS ทุก 7 วัน และตรวจสอบองค์ประกอบของกรดไขมัน และองค์ประกอบที่ระเหยได้ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ดังนี้

3.2.3.1 ค่า PV และ TBARs ตามข้อ 3.2.2

3.2.3.2 องค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้ GC-FID

องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ดสำโรงวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Flame Ionization Detector (GC-FID) (Shimadzu, Kyoto, Japan) เพื่อหาสัดส่วนปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด โดยใช้ Silica capillary column ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร เคลือบด้วย Polyethylene glycol หนา 0.25 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสำโรง

องค์ประกอบของเมล็ดสำโรงแสดงดังตารางที่ 4.1 เมล็ดสำโรงมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (ร้อยละ 46.09) รองลงมา คือ คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 33.52) โปรตีน (ร้อยละ 11.68) ความชื้น (ร้อยละ 5.91) เถ้า (ร้อยละ 2.80) และเยื่อใย (ร้อยละ 0.16) ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้พบว่าน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีปริมาณน้ำมัน โปรตีน และเถ้า ต่ำว่าการทดลองของ Silitonga *et al.* (2013) ที่รายงานว่าเมล็ดสำโรง มีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 51.78 โปรตีนร้อยละ 21.61 เถ้าร้อยละ 3.90 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.1 ตามลำดับ ในขณะที่ Shamsundar and Paramjyothi (1989) รายงานว่าเมล็ดสำโรงมีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.9 และเยื่อใยร้อยละ 7.1 ซึ่ง Varma *et al.* (1956) รายงานว่าเมล็ดสำโรงมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 53-55 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของเนื้อในเมล็ดสำโรง มีความแตกต่างกันอาจขึ้นกับสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกเมล็ดสำโรง เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดสำโรง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (น้ำหนักแห้ง)
เถ้า	2.80 ± 0.17
โปรตีน	11.68 ± 0.16
เยื่อใย	0.16 ± 0.01
ไขมัน	46.09 ± 0.44
ความชื้น	5.91 ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต	33.52 ± 0.7

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ผลของวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรง

4.2.1 การศึกษาปริมาณผลผลิตและสารพฤกษาเคมี

4.2.1.1 ปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากเมล็ดสำโรง

ปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต การใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด (ร้อยละ 53.65) รองลงมาคือการสกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต (ร้อยละ 46.09) และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล ให้ปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด (ร้อยละ 16.80) ($p<0.05$) ตามลำดับ ซึ่งการสกัดด้วยวิธีบีบอัดด้วยแรงเชิงกล จะยังคงมีน้ำมันตกค้างอยู่ในกาก ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่น้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งจากการรายงานของ Pandian *et al.* (2012) ระบุว่า การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลาย Tetrahydrofuran ให้ปริมาณน้ำมันสูง (ร้อยละ 61.5) รองลงมาคือตัวทำละลาย Petroleum ether

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 59.2 ตัวทำละลาย n-Hexane ให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 57 ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มให้ปริมาณมันร้อยละ 47 และตัวทำละลายเมทานอลให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 45.4 ตามลำดับ นอกจากนี้ Shahabadkar (2010) พบว่า การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายน้ำให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 29 รองลงมาคือ ตัวทำละลายเอทานอล (ร้อยละ 21) และตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (ร้อยละ 14) ตามลำดับ

4.2.1.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด สำหรับการสกัดน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงโดยใช้เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต และการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจะขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบฟีนอลิกในองค์ประกอบของเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สามารถจับกับไฮโดรเจนของตัวทำละลายได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการมีอยู่ขององค์ประกอบอื่นที่เกาะร่วมกับสารประกอบฟีนอลิกด้วย (Bhatnagar *et al.*, 2009) การสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล เอทานอล อะซิโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และเฮกเซน โดยสามารถสกัดสารประเภทอนุพันธ์กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกซีนนามิกได้ปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ปริมาณมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน โดยสามารถสกัดสารประเภทอนุพันธ์กรดไฮดรอกซีเยนโซอิก คือ กรดไพรโทคาชูอิกได้ แต่ปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับสารสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล และเอทานอล (Banerjee *et al.*, 2012) สารประกอบฟีนอลิกมีความแตกต่างกันไปตามโครงสร้างและจำนวนกลุ่มของไฮดรอกซิล ซึ่งส่งผลต่อการแสดงออกของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น การมีอยู่ของสารประกอบฟีนอลในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ส่งผลต่อความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงระหว่างการเก็บรักษาได้

4.2.1.3 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH•

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH• ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยค่า DPPH• บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงกับสารละลายอนุมูลอิสระ DPPH• ที่ลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนของอนุมูลอิสระ DPPH• จากสีม่วงน้ำเงินไปเป็นสีเหลือง โดยการรับอะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็คตรอนจาก Antioxidant ในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ซึ่งการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายเฮกเซนสามารถสกัดเอาสาร Antioxidant ออกมาอยู่ในน้ำมันได้ดี ซึ่งสาร Antioxidant ที่อยู่ในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดจากตัวทำละลายเฮกเซนมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH• ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล ตามลำดับ ($p<0.05$) จากการรายงานของ S. Shanthasubitha และ S. Saravanababu (2016) ระบุว่าการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายอะซิโตนมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 25 และตัวทำละลายคลอโรฟอร์มร้อยละ 16 นอกจากนี้ยังมีรายงานของ ฤดีมาศ (2012) ระบุว่าสารสกัดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากตัวทำละลายอะซิโตน และเมทานอล ซึ่งให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) รองลงมาคือตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวทำละลายเฮกเซน ตามลำดับ หากพิจารณาการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวทำละลายเฮกเซนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ แต่เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ สามารถตรวจสอบได้แม้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระไม่มากก็ตาม โดยสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Chua *et al.* (2008) ที่พบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ แต่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ ได้ ซึ่งได้อธิบายว่าอาจเนื่องจากมีสารพวกสารประกอบฟลาโวนอลเป็นองค์ประกอบในสารสกัดที่ได้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

องค์ประกอบ	วิธีการสกัด		
	เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต	ตัวทำละลายเฮกเซน	การบีบอัดด้วยแรงเชิงกล
ผลผลิต (ร้อยละ)	46.09 ± 0.44^{b}	53.65 ± 0.00^{a}	16.80 ± 2.29^{c}
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg gallic acid/g oil)	71.98 ± 1.46^{b}	72.03 ± 1.52^{b}	81.89 ± 1.18^{a}
$DPPH^{\bullet}$ (µg Trolox/g oil)	496.68 ± 7.72^{b}	581.11 ± 23.61^{a}	470.18 ± 12.31^{c}

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

4.2.2.1 ค่าความเป็นกรด

ค่า AV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยค่า AV แสดงถึงค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมันสามารถถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (Lipase) และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา, 2548) ค่า AV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ตมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากการใช้เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ตเป็นการสกัดโดยการใช้ความร้อนจึงทำให้มีค่า AV ที่สูงกว่าอีก 2 วิธีที่เป็นการสกัดแบบเย็น ซึ่งค่าความเป็นกรด เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันและไขมัน สำหรับทอด (Frying oil) ระหว่างการทอด (Frying) และคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษา หากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีจุดเกิดควัน (smoke point) ต่ำลง และเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) นอกจากนี้ยัง มีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (Lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ซึ่งทำให้เกิดการหืนอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ค่ากรดไขมันอิสระ

ค่า FFA ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.3 โดย FFA แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยา Hydrolytic rancidity ซึ่งเกิดได้ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น น้ำ เอมไซม์ ความร้อน หรือแสง เป็นต้น (นิธิยา, 2548) ซึ่งค่า FFA ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล ตามลำดับ ($p<0.05$) ปริมาณกรดไขมันอิสระ เป็นต้นเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหาร (Food spoilage) คือการเกิดกลิ่นผิดปกติ (Off flavour) ที่เรียกว่ากลิ่นหืน (Rancidity) และทำให้ค่าความเป็นกรด (Acid value, AV) ของน้ำมันสูงขึ้น กรดไขมันอิสระที่เป็นกรดไขมันที่มีสายสั้น (Short chain fatty acid) เช่น Butyric acid ตัวมันเองมีกลิ่นเมื่อหลุดออกมาเป็นโมเลกุลอิสระทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในอาหาร นอกจากนี้ กรดไขมันอิสระ ประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เป็นสาเหตุเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้การเหม็นหืนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

4.2.2.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ และ ค่า TBARs

ค่า PV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยตัววิธีที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยค่า PV เป็นการวัดการหืน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ซึ่งวิเคราะห์จากปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน ณ ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อน้ำมันสัมผัสออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีความร้อนและแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา, 2548) ค่า PV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธี มีค่า PV อยู่ในช่วง 0.53 – 1.95 meq O_2/kg oil ซึ่งมีค่า PV ที่ต่ำ ซึ่งการตรวจหาปริมาณเพอร์ออกไซด์เพียงชนิดเดียว จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสรุประดับการเกิดออกซิเดชันของตัวอย่างได้ ต้องมีการตรวจสอบหาปริมาณสารที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจากเพอร์ออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่ คือ แอลดีไฮด์ ซึ่งการประเมินหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยการตรวจหาค่าพารา-อะนิซิดีน (ρ-anisidine value) หรือค่า Thiobabituric acid reactive substances (TBARs) (นิธิยา, 2548) ค่า TBARs ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยค่า TBARs บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นที่สอง โดยเป็นการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ประเภทกรดไขมันระเหย เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (นิธิยา, 2548) โดยค่า TBARs ของน้ำมันจากเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีไม่พบค่า TBARs ผลการทดลองบ่งชี้ว่าน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงอาจเก็บรักษาได้เป็นเวลานานโดยไม่มีอาการหืน

4.2.2.4 ρ-Anisidine value หรือ (ρ-AnV)

ρ-AnV เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมันที่เป็นสารกลุ่มที่ไม่สามารถระเหยได้ ได้แก่ 2-alkenals และ 2,4-Dienals เป็นต้น โดยค่า ρ-AnV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ การบีบอัดด้วยแรงเชิงกล และการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

สมบัติทางเคมี	วิธีการสกัด		
	เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต	ตัวทำละลายเฮกเซน	การบีบอัดด้วยแรงเชิงกล
ค่า AV (mg/g)	3.64 ± 0.17[a]	1.66 ± 0.03[c]	2.24 ± 0.03[b]
ค่า FFA (as oleic %)	1.83 ± 0.08[a]	0.83 ± 0.01[c]	1.13 ± 0.02[b]
ค่า PV (meq O_2/kg oil)	1.95 ± 0.17[a]	0.97 ± 0.07[b]	0.53 ± 0.12[c]
ค่า TBARs (mg MDA/g oil)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ค่า *p*-AnV	1.86 ± 0.08[a]	0.10 ± 0.00[c]	1.13 ± 0.03[b]

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

4.3.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีการต่างๆ

สมบัติทางเคมีกายภาพน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนเย็นแสดงดังตารางที่ 4.4 น้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดได้จากการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเย็นมีสีเหลืองทอง และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง Habib *et al.* (2013) รายงานว่า น้ำมันพืชมีองค์ประกอบของแคร์โรทีนอยด์เป็นผลให้น้ำมันพืชมีสีเหลือง นอกจากแคร์โรทีนอยด์ยังถือเป็นสาร Antioxidant ธรรมชาติที่พบได้ในน้ำมันพืช เมื่อทดสอบโดยใช้เครื่องวัดสี พบว่า น้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงมีค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* อยู่ในช่วง 26-28 0.4-0.6 และ 23-36 ตามลำดับ โดยน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันข้าวโพด มีค่า L^* ค่า a^* และ ค่า b^* อยู่ในช่วง 63.4-69.5 3.8-4.4 และ 9.5-10.4 ตามลำดับ (Hsu and Yu, 2002) ซึ่งน้ำมันในเมล็ดสำโรงมีค่า b^* ที่สูง กว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งน้ำมันพืชที่ดีต้องไม่ใสมากจนเกินไป เช่น น้ำมันปาล์มต้องมีสีเข้ม เพราะมีสารเบต้าแคโรทีนที่มีประโยชน์ในการปกป้องมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ น้ำมันพืชที่ใสจนเกินไปเกิดจากการฟอกสี จนทำให้หมดคุณค่าทางอาหารไป สำหรับความหนืดปรากฏของน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรง คือ 25±0.01 cP ซึ่งมีค่าความหนืดน้อยกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ (Neelamegam and Krishnaraj, 2011) ซึ่งความหนืดเป็นตัววัดการต้านทานการไหลของน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความหนืดลดลง (น้ำมันใสขึ้น) แต่ถ้าหากอุณหภูมิต่ำลง ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น (น้ำมันจะข้นขึ้น) ซึ่งในช่วงฤดูร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำมันจะไหลได้ดีกว่า ในช่วงฤดูหนาว ที่อุณหภูมิติดลบ 25 องศาเซลเซียส ส่วนความหนาแน่นของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงอยู่ที่ 0.90-0.92 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว (0.925 g/cm^3) น้ำมันเมล็ดเรพ (0.91 g/cm^3) และน้ำมันถั่วเหลือง (0.91 g/cm^3) แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม (890.1 kg.m^3) (ชินนทัต และ เพ็ญจิตร, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

สมบัติทางกายภาพ	วิธีการสกัด		
	เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต	ตัวทำละลายเฮกเซน	การบีบอัดด้วยแรงเชิงกล
ค่าสี *L**	27.75 ± 0.20[a]	28.42 ± 0.61[a]	26.78 ± 0.13[b]
*a**	0.60 ± 0.04[a]	0.52 ± 0.15[ab]	0.41 ± 0.01[b]
*b**	33.17 ± 0.09[b]	36.19 ± 0.66[a]	36.14 ± 0.16[a]
ความหนาแน่น (Density) (g/cm^3)	0.92 ± 0.01[a]	0.90 ± 0.01[a]	0.92 ± 0.03[a]

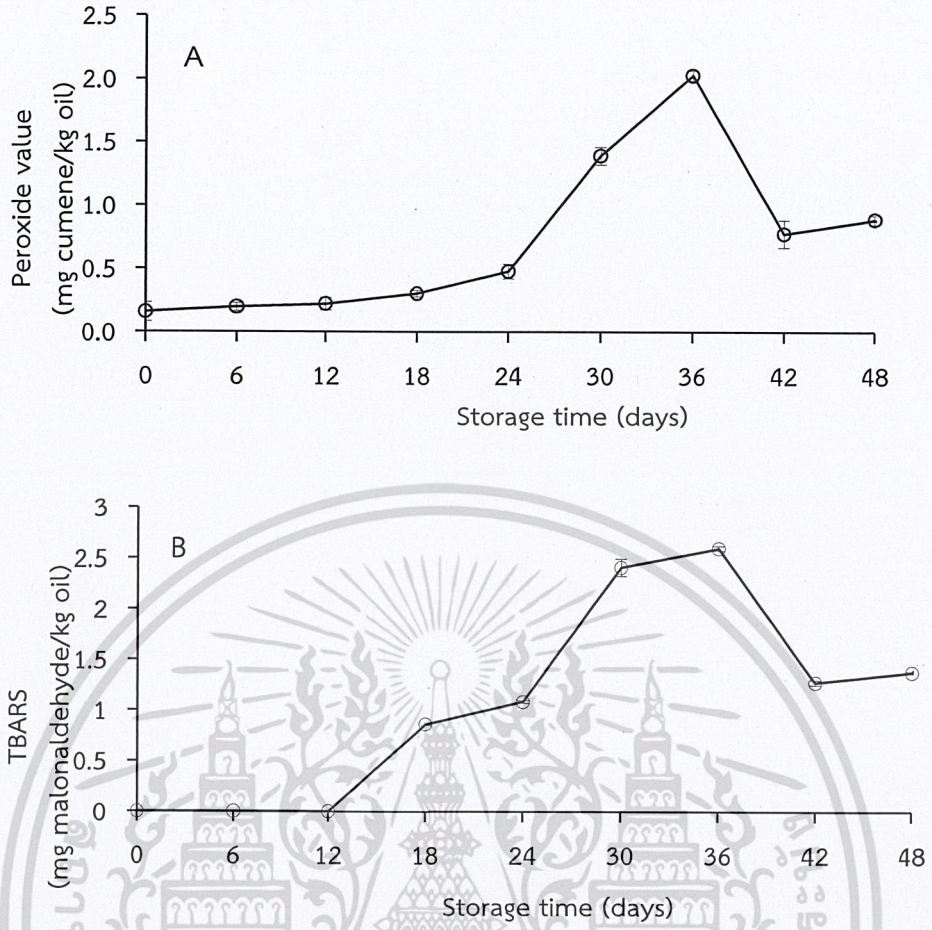
หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.4 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

4.4.1 ค่า PV และ TBARs

การเปลี่ยนแปลงของค่า PV และ TBARs ของน้ำมันที่สกัดจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 48 วัน ที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส แสดงไว้ในภาพที่ 4.1A และ 4.1B ตามลำดับ ค่า PV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงเริ่มต้นที่ 0.9 meq O_2/kg oil จากนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยภายใน 24 วันแรกของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 36 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) หลังจากนั้นค่า PV ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนถึงวันที่ 48 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) จากผลการทดลองบ่งชี้ว่า ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่า TBARs พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARs ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 - 12 วัน ($p>0.05$) หลังจากวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่าค่า TBARs ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 36 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) จากนั้น ค่า TBARs เริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดถึงวันที่ 48 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) ค่า PV ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดๆนึงแล้วเริ่มลดลงอาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากผลิตภัณฑ์ขั้นที่หนึ่งของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง คือกลุ่มอัลดีไฮด์ หรือค่า TBARS ส่วนการลดลงของค่า TBARS อาจเกิดจากการไปจับกับองค์ประกอบอื่นๆ ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ถูกเปลี่ยนสภาพหรือดีคอมโพสตัวเองกลายเป็นเป็นสารประกอบอื่นๆ ซึ่งค่า PV และ TBARs มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน แต่อย่างไรก็ตามค่า PV และ TBARs ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีค่าที่ต่ำตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 48 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ค่า Peroxide (A) และค่า TBARs (B) ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 วัน

4.4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 และ 48 แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) ร้อยละ 27.32 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (MUFA) ร้อยละ 5.30 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง (PUFA) ร้อยละ 55.95 โดย PUFA พบในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงปริมาณมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Orsavova *et al.* (2015) ที่รายงานว่า น้ำมันพืชส่วนใหญ่พบกรดไขมันชนิด PUFA มากที่สุด โดย Gamma-linolenic acid (C18:3, n-6) (ร้อยละ 47.80) เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ Palmitic acid (C16:0) (ร้อยละ 16.49) Steric acid (C18:0) (ร้อยละ 10.45) Linoleic acid (C18:2) (ร้อยละ 6.48) และ Oleic acid (C18:1) (ร้อยละ 4.96) ตามลำดับ ซึ่งผลแตกต่างจากการศึกษาของ Vipunngeun and Palanuvej (2009) ที่รายงานว่า Plammitic acid พบในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมากที่สุด (ร้อยละ 52) โดยกรดไขมันที่เป็นชนิด SFA MUFA และ PUFA ที่พบมากที่สุด คือ Palmitic acid oleic acid และ Gamma-linolenic acid ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีปริมาณกรด Eicosapentaaenoic acid (EPA) ร้อยละ 0.55 อีกด้วย Kale *et al.* (2011) รายงานว่ากรดไขมันชนิด SFA และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (UFA) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงคือ Palmitic acid (ร้อยละ 11.87) และ Oleic acid (ร้อยละ 20.50) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันจากพืชชนิดอื่น พบว่า UFA อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 70 และร้อยละ 90 (Cariani *et al.*, 2008) โดย UFA ของน้ำมันคาโนร่า น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันมะกอก และน้ำมันถั่วเหลืองพบในปริมาณร้อยละ 83.6 83.1 78.4 78.3 และ 76.0 ตามลำดับ (Porto *et al.*, 2016) ซึ่งน้ำมันจากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันอาจเนื่องจากชนิด พันธุ์ คุณภาพ วัตถุดิบ และสภาพแวดล้อมในการปลูก (Ramadan and Mörsel., 2012)

เมื่อนำน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 วัน พบว่า ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยปริมาณ SFA และ PUFA ลดลงในวันที่ 48 ของการเก็บรักษา แต่มีปริมาณ MUFA เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยระหว่างการเก็บรักษาไตรกลีเซอไรด์หรือฟอสโฟลิปิดในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน (ภาพที่ 4.1) เป็นผลให้ปริมาณ SFA MUFA และ PUFA เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±1 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 และ 48

กรดไขมัน (กรัม/100 กรัมของน้ำมัน)		วันที่ 0	วันที่ 48
Myristic acid	C14:0	0.12 ± 0.00^{a}	0.12 ± 0.00^{a}
Pentadecanoic acid	C15:0	0.03 ± 0.00^{b}	0.30 + 0.00^{a}
Palmitic acid	C16:0	16.49 ± 0.10^{a}	16.49 ± 0.06^{a}
Plamitoleic acid	C16:1, n-7	0.11 ± 0.00^{b}	0.18 ± 0.00^{a}
Heptadecanoic acid	C17:0	0.06 ± 0.00^{a}	0.06 ± 0.00^{a}
Steric acid	C18:0	10.45 ± 0.19^{a}	9.71 ± 0.41^{b}
Oleic acid	C18:1, n-9	4.93 ± 0.03^{b}	5.36 ± 0.02^{a}
Linoleic acid	C18:2, n-6	3.73 ± 0.03^{b}	4.59 ± 0.01^{a}
α-Linolenic acid (ALA)	C18:3, n-3	0.17 ± 0.00^{b}	0.19 ± 0.01^{a}
γ-Linolenic acid	C18:3, n-6	47.80 ± 1.34^{a}	44.36 ± 0.25^{b}
Arachidic acid	C20:0	0.10 ± 0.00^{a}	0.10 ± 0.01^{a}
Gadoleic acid	C20:1, n-9	0.13 ± 0.00^{a}	0.13 ± 0.00^{a}
Eicosadienoic acid	C20:2, n-6	0.78 ± 0.05^{b}	1.09 ± 0.12^{a}
Dihomo-gamma-linolenic acid	C20:3, n-6	0.31 ± 0.01^{a}	0.04 ± 0.01^{b}
Arachidonic acid (ALA)	C20:4, n-6	0.14 ± 0.01^{a}	0.13 ± 0.00^{b}
Eicosapentaenoic acid (EPA)	C20:5, n-3	0.55 ± 0.07^{b}	0.66 ± 0.22^{a}
Behenic acid	C22:0	0.02 ± 0.00^{b}	0.03 ± 0.00^{a}
Lignoceric acid	C24:0	0.04 ± 0.00^{a}	0.04 ± 0.00^{a}
Nervonic acid	C24:1	0.04 ± 0.00^{a}	0.03 ± 0.00b
Saturated fatty acid (SFA)		27.32^{a}	26.59^{b}
Mono-unsaturated fatty acid (MUFA)		5.30^{b}	5.71^{a}
Poly-unsaturated fatty acid (PUFA)		55.95^{a}	54.67^{b}

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบที่ระเหยได้ (Total volatile compound)

สารประกอบระเหยในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง หลังการเก็บรักษาในวันที่ 0 และ 48 วัน แสดงในตารางที่ 4.6 น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีปริมาณสารระเหยต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา สารระเหยสำคัญที่พบในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงคือ 1-Octanol ตามด้วย 2-Methyl-3-hexanol และ 2-Hexanol ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม Octanal benzaldehyde และ 1-nonanol จะมีเฉพาะในน้ำมันตัวอย่างที่เก็บรักษาเริ่มต้นเท่านั้น อาจเป็นเพราะการระเหยหรือการสลายตัวของสารประกอบเหล่านั้น สารประกอบระเหยที่มีปริมาณมากในช่วงการเก็บรักษาเริ่มต้น จะค่อยๆลดลงในระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน หรือเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบระเหยกับสารอื่น ๆ (Andrés *et al.* 2004) หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 48 วัน พบว่า 2-heptanone และ 2-Octanone ถูกพบว่าเป็นสารระเหยใหม่ที่พบในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง ซึ่งน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมี UFA คือ กรดแกมม่า-ไลโนเลอิกเป็นกรดไขมันที่มีปริมาณสูง รองลงมาคือ กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลอิก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) กรดไขมันเหล่านั้นมีความอ่อนไหวต่อการเสื่อมสภาพของออกซิเดชั่น สารประกอบคาร์บอนิล เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ สามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ UFAs (Ahmed *et al.*, 2016) 2-Octanone, 2-Methyl-3-hexanol และ 1-Octanol ประกอบด้วยสารระเหยที่มีปริมาณมากในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาไว้ที่ 30±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน ทำให้สารประกอบระเหยเกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Ahmed *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในสารประกอบระเหยของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบที่ระเหยได้ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±1 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 และ 48

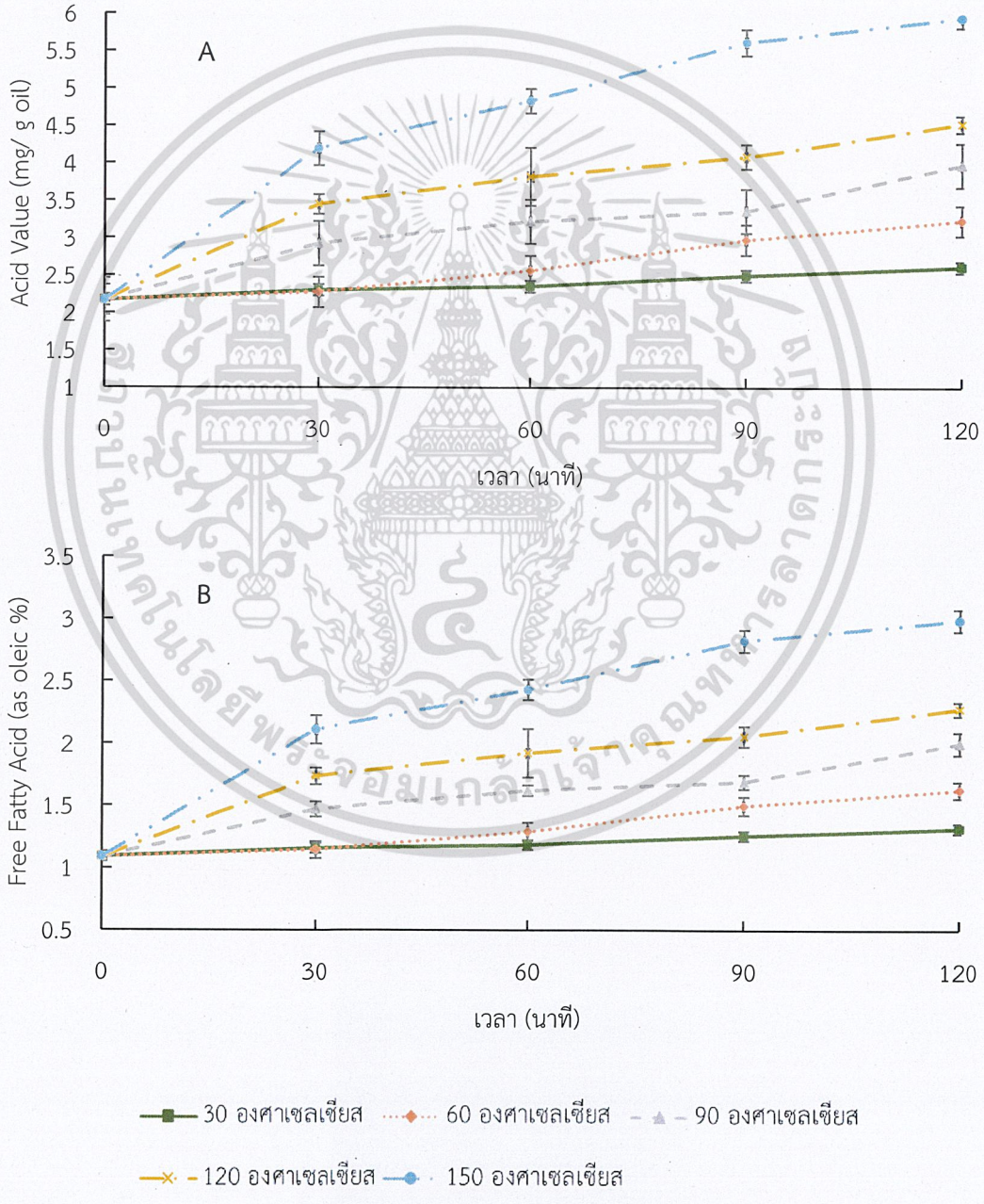
สารประกอบ	Peak area (Abundance) × 10^5	
	วันที่ 0	วันที่ 48
2-Hexanone	3.25	6.15
2-Heptanone	ไม่พบ	4.5
2-Methyl-3-hexanol	23.23	38.96
2-Hexanol	11.87	13.93
1-Methyl-cyclopentanol	2.8	3.19
2-Octanone	ไม่พบ	41.21
Octanal	4.75	ไม่พบ
1-Hexanol	3.92	4.81
Nonanol	1.37	0.99
2-Decanone	2.03	1.82
Benzaldehyde	2.39	ไม่พบ
1-Octanol	35.18	24.76
1-Nonanol	0.47	ไม่พบ
5-ethyldihydro-2(3H)-Furanone	0.62	0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง

4.5.1 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

จากการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 4.2 โดยค่า AV (ภาพที่ 4.2A) และค่า FFA (ภาพที่ 4.2B) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำมัน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน ทำให้ไตรกลีเซอไรด์สลายตัวได้กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระมีผลทำให้น้ำมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.2 ค่า AV (A) และค่า FFA (B) ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

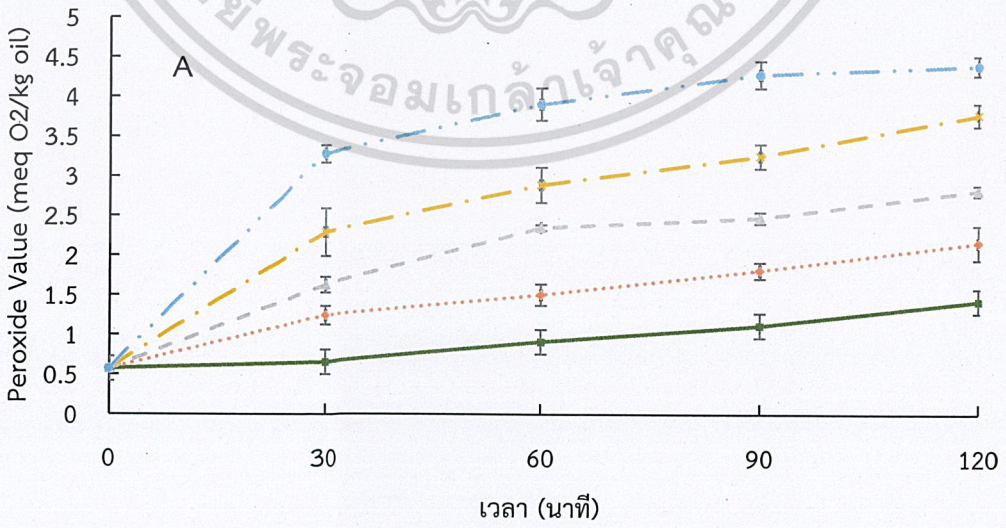
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า AV และค่า FFA เริ่มต้นของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีค่า 2.17 มิลลิกรัมต่อกรัม และร้อยละ 1.09 ตามลำดับ โดยน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่า AV และค่า FFA แตกต่างกัน โดยค่า AV และค่า FFA ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีค่า AV และค่า FFA สูงกว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ โดยเรียงลำดับค่า AV และค่า FFA ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่รับความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ น้ำมันเมล็ดสำโรงที่ 150 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 120 90 60 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน ยกเว้นการให้ความร้อนน้ำมันเมล็ดสำโรงที่อุณหภูมิ 30 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาที มีค่า AV และค่า FFA แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

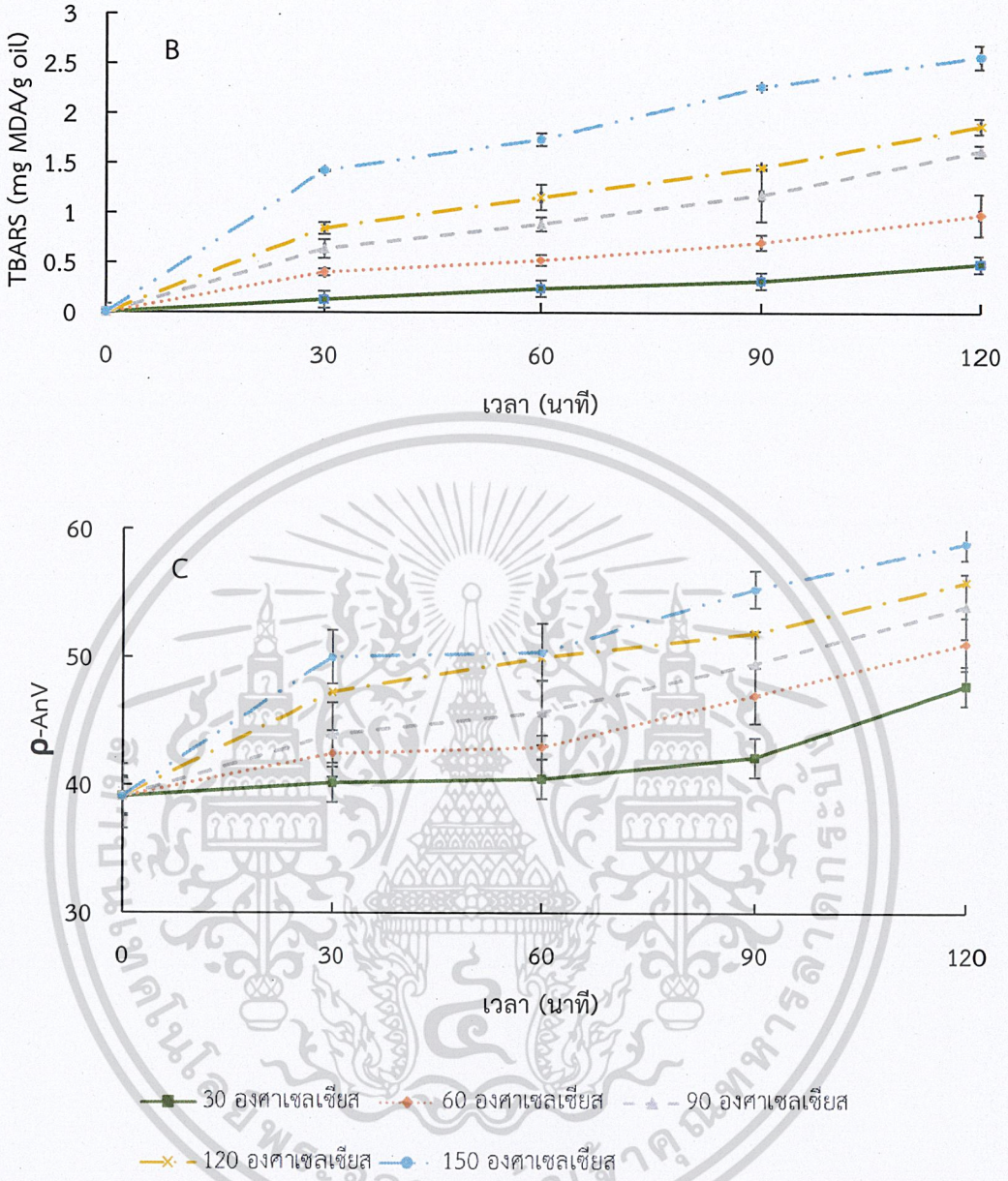
ส่วนการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดสำโรงที่อุณหภูมิ 30 60 90 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 120 นาที ไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า AV และค่า FFA ในน้ำมันเมล็ดสำโรง ($p>0.05$) ส่วนน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 60 นาที ทำให้มีค่า AV และค่า FFA เริ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) และคงที่จนถึงเวลา 120 นาที ($p>0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของภัควิไล และคณะ (2558) ที่พบว่า การเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชสามารถเกิดได้มากและเร็วเมื่อเก็บรักษาน้ำมันพืชในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนการให้ความร้อนน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นานกว่า 60 นาทีนั้น น้ำมันจะเสียสภาพกลายเป็นวุ้นแข็ง ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) (ไม่แสดงข้อมูล)

4.5.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 4.3 โดยค่า PV (4.3A) ค่า TBARs (4.3B) และ ค่า ρ-AnV (4.3C) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำมัน ซึ่งการหาค่า PV เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ค่า PV (A) ค่า TBARs (B) และ ค่า ρ-AnV (C) ของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง ค่าเริ่มต้นของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรง พบว่า ค่า PV มีค่า 0.57 meq O_2/kg oil ค่า TBARs ไม่พบในช่วงเริ่มต้น และค่า ρ-AnV เท่ากับ 39.1 ตามลำดับ โดยน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่า PV ค่า TBARs และ ค่า ρ-AnV ที่แตกต่างกัน โดยค่า PV ค่า TBARs และ ค่า ρ-AnV ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีค่าสูงกว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ โดยค่า PV ค่า TBARs และ ค่า ρ-AnV ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้รับอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส สูงกว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงที่เก็บที่อุณหภูมิ 120 90 60 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดสำโรงที่อุณหภูมิ 30 60 90 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานตลอด 120 นาที ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ($p<0.05$) ซึ่งสารประกอบในกลุ่มเพอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของ Primary oxidation products และเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสารประกอบในกลุ่มของเพอร์ออกไซด์จะเริ่มสลายตัวและเข้าสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของ Secondary oxidation products ทำให้ค่า TBARs เพิ่มขึ้น โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของชัชวาล (2550) ที่ทำการศึกษาความคงตัวของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 160 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที เมื่อวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีค่าสูงสุดหลังจากให้ความร้อนที่ 160 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที และลดลงจนกระทั่งถึง 180 นาที ในขณะที่ค่า TBA เพิ่มอย่างช้า ๆ ในช่วง 120 นาทีแรก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจาก 120 นาที เมื่อได้รับความร้อนนาน 180 นาที และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การให้ความร้อนกับน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที ทำให้ความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองลดลงอย่างรวดเร็วจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นผลจากการได้รับความร้อนสูงที่ระดับการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน คือ การสกัดโดยใช้ความร้อน (ใช้เครื่องสกัดไขมันซอกห์เล็ต) และการสกัดเย็น (การใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และการบีบอัดด้วยแรงเชิงกล) พบว่า การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ให้ปริมาณน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงสูงที่สุด และมีค่า DPPH$^{\bullet}$ สูงที่สุด โดยมีค่า AV, ค่า FFA, ค่า ρ-AnV ต่ำที่สุด ซึ่งไม่พบค่า TBARs ดังนั้น การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงด้วยวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเย็นให้ปริมาณผลผลิต กิจกรรมต้านออกซิเดชัน ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงสูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงอาจจะเก็บรักษาได้เป็นเวลานานโดยไม่มีอาการหืน

โดยน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีสีเหลืองทอง เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีความหนืดปรากฏต่ำ และสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ ซึ่งน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีกรดแกมม่า-ไลโนเลนิคเป็นกรดไขมันมากที่สุด รองลงมา คือ กรดปาล์มมิติก กรดสเตอริค กรดลิโนเลอิค และกรดโอเลอิค ตามลำดับ ซึ่งปริมาณกรดไขมันชนิด PUFAs พบมากที่สุดในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรง โดยกรดไขมันชนิด SFA MUFA และ PUFA ที่มากที่สุด คือ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิค และกรดแกรมม่า-ไลโนเลนิค ตามลำดับ นอกจากนี้ EPA ยังพบในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงอีกด้วย

น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 วัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของ PV และ TBARs ในน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงอย่างช้า ๆ และมีค่าที่ต่ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนปริมาณกรดไขมันในน้ำมันเนื้อในเมล็ดสำโรงก่อนและหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 48 วัน ที่อุณหภูมิ 30±1 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งเมล็ดสำโรงเป็นแหล่งที่สำคัญของน้ำมันพืชที่มีคุณค่าและมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาที่ดี สำหรับความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 60 90 120 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้น เมล็ดสำโรงจึงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำมันพืชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาชนิดตัวทำละลายที่แตกต่างกันในการสกัดนำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันที่ดีที่สุด

5.2.2 ควรศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงที่สกัดได้

5.2.3 ควรมีการศึกษาการนำน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสำโรงไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กีรตินาฏ พูลเกษร, อนุวัตร แจ้งชัด และกมลวรรณ แจ้งชัด. 2553. **การประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง.** เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร หน้า 452-459.

ชัชวาล โชติมากร. 2549. **ผลของปริมาณวิตามินอีที่ลดลงต่อความคงตัวของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ น้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูงระดับการทอด.** Journal of Food Technology, Siam University, 3(1) : 44-53.

ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัต์. 2555. **การเพิ่มความคงตัวทางเคมีของน้ำมันพืชด้วยการเติมสารต้านออกซิเดชัน.** วารสารไทยไภษัชยนิพนธ์ (ฉบับการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์) มศก. ปีที่ 7 ฉบับเดือนมกราคม – เดือนธันวาคม 2555

ชินนทัต สินประเสริฐโชค และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2559. **น้ำมันพืชใช้แล้ว: วัตถุดิบเพื่อการผลิตไบโอดีเซล.** วิศวกรรมสาร มก. เล่ม ฉบับ กรกฎาคม – กันยายน 2559

ทัดดาว ภาษีผล, เยาวมาลย์ รักษาเคน และสุดารัตน์ นามโฮง. 2553. **การสกัดบีตาเลนจากผลผักปลัง.** วิทยาศาสตร์เกษตร, 43(3) : 368-371.

นิจศิริ เรืองรังษี. 2547. **สมุนไพรไทย เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : บี เฮลท์ตี้, 380 หน้า

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, 244 หน้า

เนวิชญานิ์ วุฒินิธิศานันท์, ไมตรี สุทธจิตต์, สุพักตร์ พ่วงบางโพ และบุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2552. **ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของพืชผักและ สมุนไพรพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา.** รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา พะเยา, 32 หน้า

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน

บุหรัน พันธุ์สวรรค์, ไมตรี สุทธจิตต์ และสุพักตร์ พ่วงบางโพ. 2553. **ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกะทกรกทองพันชั่ง ผักหวานป่า เพกา และมะระขี้นก ในพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา.** รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา พะเยา, 34 หน้า

ปรียนันท์ บัวสด. 2549. **การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชาโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม, 228 หน้า

พัชรินทร์ ระวียัน. 2548. **โครงการการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร.** งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พงษ์ศิริ วินิจฉัย และวารุณี ธนะแพสย์. 2550. **การศึกษาวิธีการสกัดและการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเมล็ดเสาวรส.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยุงศักดิ์ ตันติไพบูลย์วงศ์ และสุรศักดิ์ ใจเขียนดี. 2555. **การวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลดีพีพีเอชและการฟอกสีอนุมูลเอบีทีเอส เทคนิคในการตรวจวัดอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และดัชนีภาวะเครียดออกซิเดชัน.** คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ร่วมกับสมาคมเพื่อการวิจัยอนุมูลอิสระไทย. บริษัท นพบุรีการพิมพ์ จำกัด, เชียงใหม่.

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. 2548. **การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องเทศและสมุนไพรที่มีต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหาร.** คณะอุตสาหกรรมเกษตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค (มอก. 47-2533)

ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2544. **ข้อดีจุดเด่นน้ำมันสบู่ดำ.** เกษตรก้าวหน้า, 14(4) : 60-66.

รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2547. **การตรวจสอบและการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร.** กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฤดีมาศ พุ่มกล่ำ. 2012. **ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกอบเชยอินโดนีเซีย.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศิริวรรณ ปรียาจิตต์. 2551. **สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เสาวลักษณ์ เรืองอ่อน และศักดิ์ศรี แสนยาเจริญกุล. 2560. **การศึกษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและจากฟักทอง.** รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 4 กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 1054 - 1060.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาน และศิริวรรณ เนติวรานนท์. 2557. **การเหม็นหืนของน้ำมันมะพร้าว.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 23 : 260-266.

สุพักตร์ พ่วงบางโพ. 2545. **การตรวจหาฤทธิ์และสมบัติทางชีวเคมีของสารต่อต้านอนุมูลอิสระในพืชผักพื้นบ้านที่พบในประเทศไทย.** รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก, 89 หน้า

อาชัย พิทยภาคย์ และวสันต์ จอมภักดี. 2544. **การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น.** Naresuan University Journal 11(3) : 9-20.

Afoakwah, A. N., Owusu, J., Adomako, C. and Teye, E. 2012. **Microwave Assisted Extraction (MAE) of Antioxidant Constituents in Plant Materials.** Global journal of Bio-Science and Biotechnology, 1(2) : 132-140.

Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A. and Jahangir, M. 2016. **Oxidation of Lipids in Foods.** Sarhad Journal of Agriculture, 32(3) : 230-238.

Andrés, A.I., Cava, R., Ventanas, J., Muriel, E., Ruiz, J. 2004. **Lipid Oxidative Changes Throughout the Ripening of Dry-cured Lberian Hams with Different Salt Contents and Processing Conditions.** Food Chemistry, 84 : 375–381.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC Internorticnal. AOAC Internorticnal, 2000.

Azadmard-Damirchi S., Alirezalu K. and Fathi Achachlouei B. 2010 . **Microwave Pretreatment of Seeds to Extract High Quality Vegetable oil**. World Academy of Science, Engineering and Technology 57 : 72-74.

Banerjee, A.Chakraborty, R. 2009. **Parametric Sensitivity in Transesterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production** – a review. Resources, Conservation and Recycling, 53 : 490–497.

Beardsell, D., Francis, J. and Ridley, D. 2002. **Lipids Promoting Constituents in Plant Derived Edible Oils.** Journal of Food, 9 : 1-34.

Bhatnagar, A.S.,Kumar, P.K.P., Hemavathy, J.,Krishna, A.G.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 : 991-999.

Bligh, E.L.G. and Dyer, W.J.A. 1959. **A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification.** Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37(8) : 911-918.

Cariani, R., Fernanda R. P., Gonçalves C., Batista, E. A. C. and Meirelles A. 2008. **Densities and Viscosities of Vegetable Oils of Nutritional Value**. Journal of Chemical and Engineering Data, 8 : 1846-1853.

Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C.and Attia, H. 2007. **Nigella Sativa L.: Chemical Composition and Phytochemical Characteristics of Lipid Fraction.** Food Chemistry, 101 : 673–681.

Chua, M.T., Tung, Y.T., Chang, S.T. 2008. **Antioxidant Activities of Ethanolic Extracts From The Twigs of Cinnamomum Osmophloeum**. Journal of Food Science, 99 : 1918-1925.

Chopra, J.S, Sawhney, I.M.S., Suresh, N. and Prabhakar, S. 1992. **Vanishing CT Lesions in Pilepsy.** Journal of the Neurological Sciences, 107 : 40-49

Christensen, F.M. 1991. **Extraction by Aqueous Enzymatic Process**. Inform, 1 : 984-987

Coultate, T.P. 2014. **Food : The Chemistry of Its Components**. 3nd ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge : 54-93.

Couri, S. and Freitas, S.P. 2001. **Aplicação De Enzimas Na Extração Aquosa De óleos Vegetais. In: PASTORE, G. (Org.). Ciência De Alimentos: Avanços E Perspectivas**. Campinas: Ed. UNICAMP : 28-32.

Dominguez, H., Nunez, M.J., Lema, J.M. 1994. **Enzymatic Pre-treatment to Enhance Oil Extraction from Fruits and Oilseeds: a Review.** Food Chemistry, Oxford, 49 : 271-286.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Erkan, N., Ayanci, G. and Ayranci, E. 2008. **Antioxidant Activities of Rosemary (*Rosmarinus Officinalis L.*) Extract, Blackseed (*Nigella sativa L.*) Essential Oil, Carnosic Acid, Rosmarinic Acid and Sesamol.** Food Chemistry, 110 : 76-82.

Ghazani, S. M., García-Llatas, G. and Marangoni, A. G. 2014. **Micronutrient Content of Cold-Pressed, Hot-pressed, Solvent Extracted and RBD Canola Oil: Lmplications for Nutrition and Quality.** European Journal of Lipid Science and Technology, 116 : 380-387.

Goh, S.H., Y.M. Choo and S.H. Ong, 1985. **Minor Constituents of Palm Oil.** Journal of the American Oil Chemists' Society, 62 : 237-240. DOI: 10.1007/BF02541384

Gohari, A.R., Hajimehdipoor, H., Saeidnia, S., Ajani, Y. and Hadjiakhoondi, A. 2011. **Antioxidant Activity of Some Medicinal Species Using FRAP Assay.** Journal of Medicinal Plants Research, 10 : 54-60.

Guerre-Millo, M., Leturque, A., Lavau, M. and Girard, J. 1985. **Effect of Insulin on Glucose Transport and Metabolism in Isolated Fat-cells of Gonadal Adipose Tissue from Mature Age-matched Male and Female Rats.** Biochemical Journal, 225(2) : 343– 348.

Habib, H. M., Kamal, H., Ibrahim, W. H. and Al Dhaheri, A. S. 2013. **Carotenoids, Fat Soluble Vitamins and Fatty Acid Profiles of 18 Varieties of Date Seed Oil.** Industrial Crops and Products, 42 : 567-572.

Hashim, Y.Z.H.Y., Gill, C.I.R. and McGlynn, H. 2005. **Components of Olive Oil and Chemoprevention of Colorectal Cancer.** Nutrition Reviews, 63 : 374-86.

Herchi, W., Kallel, H. and Boukhchinas, S. 2014. **Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Tunisian Date Palm (*Phoenix dactylifera L.*) Oil as Affected by Different Extraction Methods.** Food Science and Technology, Campinas, 34(3) : 464-470.

Hosseini, S.D., Nayebzadeh, K., Mirmoghtadaie, L., Kavosi, M. and Hosseini, S.M. 2017. **Effect of Extraction Process on Composition, Oxidative Stability and Rheological Properties of Purslane Seed Oil.** Food Chemistry, 222 : 61-66.

Hsu, S. and Yu, S. 2002. **Comparisons on 11 Plant Oil Fat Substitutes for Low-fat Kungwans.** Journal of Food Engineering. 51 : 215-220.

Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E. and Vivaco, J.M. 2003. **Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Iranian Ocimum Accessions.** Food Chemistry, 83 : 547-550.

Kale, SS., Darade, V. and Thakur, H.A. 2011. **Analysis of Fixed Oil from *Sterculia Foetida* Linn.** International Journal of Pharma Sciences and Research, 2(11) : 2908-2914.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kavitha, M., Vadivu, R. and Radha, R. 2016. **Phytochemical Screening on the Successive Extracts of Bark of *Sterculia Foetida* Linn.** Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR), 2(4) : 288-294.

Lee, V.S., Chen, C.R., Lio, Y.W., Tzen, J.T. and Chang, C.I. 2008. **Structural Determination and DPPH Radical-Scavenging Activity of Two Acylated Flavonoid Tetraglycosides in Oolong Tea (*Camellia sinensis*).** Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 56 : 851-853.

Laguerre, M., Lecomte, J., Villeneuve, P. 2007. **Evaluation of the Ability of Antioxidants to Counteract Lipid Oxidation: Existing Methods, New Trends and Challenges.** Progress in Lipid Research, 46(5) : 244-82.

Lutterodt, H., Luther, M., Slavin, M., Yin, J.J., Parry, J., Gao, J.M. and Yu. L. 2010. **Fatty Acid Profile, Thymoquinone Content, Oxidative Stability and Antioxidant Properties of Cold- Pressed Black Cumin.** LWT - Food Science and Technology, 43(9) : 1409-1413.

Miralles, J.A., Van Riper, K.A. and Lattimer, J.M. 1993. The Astrophysical Journal, 407 : 687.

Nagata, M. and Yamashita, I. 1992. **Simple Method for Simultaneous Determination of Chlorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit.** The Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi), 39(10) : 925-928.

Naik, D.G., Majumdar, A.M. and Waghole R.J. 2004. **Taraxer-14-en-3σ-ol, Ananti-Inflammatory Compound from *Sterculia foetida L.*** Planta medica, 70 : 68-69.

Nair, R.A.G., Ramesh, P. and Subramanian, S.S. 1977. **Isoscutellarin and Other Polyphenols from the Leaves of *Sterculia foetida*.** Current Science, 46 : 14-15.

Neelamegam, P. and Krishnaraj, S. 2011. **Estimation of Liquid Viscosities of Oils Using Associative Neural Networks.** Indian Journal of Chemical Technology, 18 : 463-468.

Onyeike, E. and Acheru, G.N. 2002. **Chemical Composition of Selected *Nigerian* oil Seeds and Physicochemical Properties of the Oil Extracts.** Food Chemistry,77(4): 431-437.

Orsavova, J., Misurcova, L., Ambrozova, J. V., Vicha, R. and Mlcek, J. 2015. **Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids.** International Journal of Molecular Sciences. 16 : 12871-12890.

Orwa, C., Mutua, A. , Kindt, R., Jamnadass, R. and Simons, A. 2009. **Agroforestree Database:a Tree Reference and Selection Guide Version 4.0.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pandian, C., Thanga, P.M., Sundaresan, A. and Omprakash, A.V. 2012. **Haematological Profile and Erythrocyte Indices in Different Breeds of Poultry.** International Journal of Livestock Research, 2(3) : 89-92.

Panichayupakaranant, P. and Kaewsuwan, S. (2004). **Bioassay-Guided Isolation of Antioxidant Constituent from *Cassia alata L.* leaves. Songklanakarin.** Journal of Science and Technology, 26 : 103-107.

Pike, O.A. 2016. **Fat Characteristic.** In Introduction to the Chemical Analysis of Foods. Nielsen, S.S. Jones and Bartlett Publisher, London : 236-250.

Porto, B. L. S., Mendes, T. d. O., Franco, D. F., Martini, W. d. S., Bell, M. J. V. and Oliveira, M. A. L. d. 2016. **Chemical Monitoring of Canola, Corn, Olive, Soybean and Sunflower Oils After Thermal Treatment at Conventional Temperatures in Domestic Stoves.** Revista do Instituto Adolfo Lutz, 75 : 1694-1705.

Pszczola, D.E. 2002. **Antimicrobials: Setting Up Additional Hurdles to Ensure Food Safety.** Food and Technology, 56 : 99-107.

Rabadán, A., Ortí, M.A., Gómez, R., Alvarruiz, A. and Pardo, J.E. 2017. **Optimization of Pistachio Oil Extraction Regarding Processing Parameters of Screw and Hydraulic Presses.** LWT - Food Science and Technology, 83 : 79-85.

Ramadan, M.F. and Moersel, J. 2006. **Screening of the Antiradical Action of Vegetable Oils.** Journal of Food Composition and Analysis, 19(8) : 838-842.

Rosenthal, I., Shafirovich, V.Y., Geacintov, N.E., Ben-Hur, E. and Horowitz, B. 1994. **The Photochemical Properties of Fluoroaluminum Phthalocyanine.** Photochemistry and Photobiology, 60 : 215–220.

Salaun, J. 2000. **Cyclopropane Derivatives and their Diverse Biological Activities.** Topics in Current Chemistry, 207 : 1-67.

Sant'Anna, C.L., Azevedo, M.T.P., Werner, V.R., Dogo, C.R., Rios, F.R., Carvalho, L.R. 2003. **Review of Toxic Species of Cyanobacteria in Brazil.** Algological Studies 126 : 251-265.

Schaich, K. 2005. **Lipid Oxidation: Theoretical Aspects.** DOI: 10.1002/047167849X .bio067

Schmid, M.K and Patterson, G.W. 1988. **Effects of Cyclopropenoid Fatty Acids on Fungal Growth and Lipid Composition.** Lipids, 23 : 248-252.

Sen, C.K., Khanna, S. and Roy, S. 2007. **Tocotrienols in Health and Disease: The Other Half of the Natural Vitamin E Family.** Molecular Aspects of Medicine, 28(5-6): 692-728.

Seneviratne, K.N., Hapuarachchl, C.D. and Ekanayake, S. 2009. **Comparison of the Phenolicdependent Antioxidant Properties of Coconut Oil Extracted Under Cold and Hot Conditions.** Food Chemistry, 114(4) : 1444-1453.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shahabadkar, G. Shamsundar. 2 0 1 0 . **Preliminary Pharmacognostical and Phytochemical Investigation on *Sterculia foetida* Linn. seeds**. African Journal of Biotechnology, 9(13) : 1987-1989.

Shahidi, F. and Zhong, Y. 2005. **Lipid Oxidation: Measurement Methods**. DOI: 10.1002/047167849X.bio050

Shamsundar S.G, Paramjyothi S. 1989. **Preliminary Pharmacognostical and Phytochemical Investigation on *Sterculia foetida* Linn. Seed.** African Journal of Biotechnology, 9(13) : 1987-1989

Shanthasubitha, S. and Saravanababu, S. 2 0 1 6 . **Preliminary, Antioxidation and Antimicrobial Potential of Seaweeds Collected from the Coastal Area of Kanyakumari District.** Life Science Archives (LSA) ISSN: 2454-1354,2(1) : 394 – 405.

Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.Indra and Ong, H.C. 2013. **Experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with Ceiba pentandra biodiesel blends.** Energy Conversion and Management, 76 : 828-836.

Singh, G., P. Marimuthu, C.S. de Heluani and C. Catalan. 2005. **Chemical Constituents and Antimicrobial and Antioxidant Potentials of Essential Oil and Acetone Extract of *Nigella sativa* seeds.** Journal of the Science of Food and Agriculture, 85 : 2297-2306.

Siddique, N.A., Mujeeb, M., Najmi, A.K. and Akram, M. 2010. **Evaluation of Antioxidant Activity, Quantitative Estimation of Phenols and Flavonoids in Different Parts of Aegle Marmelos.** African Journal of Plant Science, 4 : 1-5.

Silitonga, A., Ong, H., Masjuki, H., Mahlia, T., Chong, W. and Yusaf, T. F. 2013. **Production of Biodiesel from *Sterculia foetida* and Its Process Optimization.** Fuel, 111 : 478-484.

Silva, L., Pinto, J. and Carrola, J. 2010. **Oxidative Stability of Olive Oil After Food Processing and Comparison with Other Vegetable Oils.** Food Chemistry, 121(4) : 1177-87.

Smith, T.J. 2000. **Squalene: Potential Chemopreventive Agent.** Expert Opinion on Investigational Drugs, 9 : 1841-1849.

Tachakittirungrod, S., Okonogi, S. and Chowwanapoonpohn, S. 2007. **Study on Antioxidant Activity of Certain Plants in Thailand: Mechanism of Antioxidant Action of Guava Leaf Extract.** Food Chemistry, 103 : 381-388.

Tuberoso, C.I., Kowalczyk, A. and Sarritzu, E. 2007. **Determination of Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity in Commercial Oilseeds for Food Use.** Food Chemistry, 103(4) : 1494-501.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Uquiche, E., Jeréz, M. and Ortiz, J. 2008. **Effect of Pretreatment with Microwaves on Mechanical Extraction Yield and Quality of Vegetable Oil from Chilean Hazelnuts *(Gevuina avellana Mol).*** Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9(4) : 495-500.

Varma, J.P., Dasgupta, S., Nath, B. and Aggarwal, J.S. 1956. **Composition of the Seed Oil *Sterculia foetida* Linn.** Journal of the American Oil Chemists' Society, 34(9) : 452-454.

Wichayasith, I., Hanpongpun, P., Sahakitpichan, P. and Vorasingha, A. 2013. **Production of Bioester Through Solid-Catalyzed Transesterification of *Sterculia Foetida* Oil Using and Optimazed Protocol.** Pure and Applied Chemistry International Conference.

Zia-Ul-Haq, M., Iqbal, S., Ahmad, S., Imran, M., Niaz, A. and Bhanger, M.L. 2007. **Nutritional and compositional study of Desi chickpea (*Cicer arietinum L.*) Cultivars Grown in Punjab, Pakistan.** Food Chemistry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุฑามาศ จรรยาวิวัฒน์กุล
วัน-เดือน-ปีเกิด	2 มิถุนายน 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	300/127 หมู่ 10 หมู่บ้านรุ่งอรุณ 1 ซอยฉลองกรุง 2 แยก 2 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10520
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2562 สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2562 หัวหน้าฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development Supervisor) ห้างหุ้นส่วนจำกัด ร่วมมิตรฟาร์ม ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุนวิชาการ ตำแหน่ง นักวิชาการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้