ลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยวิธีแตกต่าง

CHARACTERISTICS OF *MORINGA OLEIFERA* SEED OIL FROM DIFFERENT EXTRACTION METHODS

ประทุมพร ชาติไทย
PRATUMPORN CHATTHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AI-M-053-195

ลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยวิธีแตกต่าง

CHARACTERISTICS OF *MORINGA OLEIFERA* SEED OIL FROM DIFFERENT EXTRACTION METHODS

ประทุมพร ชาติไทย

PRATUMPORN CHATTHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AI-M-053-195

CHARACTERISTICS OF *MORINGA OLEIFERA* SEED OIL FROM DIFFERENT EXTRACTION METHODS

PRATUMPORN CHATTHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

FACULTY OF AGRO – INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-AI-M-053-195

COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO–INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยวิธีแตกต่าง

Characteristics of *Moringa Oleifera* Seed Oil from Different Extraction Methods

ชื่อนักศึกษา นางสาวประทุมพร ชาติไทย

รหัสประจำตัว 54680307

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พอใจ ถามากร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พอใจ ถามากร	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 11 มีนาคม 2557 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 18 เดือน มี.ค. พ.ศ. 57

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยวิธีแตกต่าง
นักศึกษา	นางสาวประทุมพร ชาติไทย
รหัสประจำตัว	54680307
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. พอใจ ถามากร

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อตรวจสอบลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุม และผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณภาพน้ำมัน วิธีการสกัดที่ศึกษา ได้แก่ วิธีการบีบอัดด้วยสกรู (CSP) วิธีใช้ตัวทำละลายเฮกเซนสกัด soxhlet (SE) และวิธีการสกัดด้วยการแช่ตัวทำละลายเฮกเซน (CSE) น้ำมันสกัด SE และ CSE นำมากำจัดสารเหนียวหรือกัมออกโดยใช้น้ำร้อน ในขณะที่น้ำมัน CSP ไม่ผ่านการกำจัดกัม ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการสกัด CSP, SE, และ CSE เป็นร้อยละ18.89, 33.99, และ 22.04 ตามลำดับ สมบัติทางกายภาพด้านความหนืดพบว่าน้ำมัน CSP มีความหนืดสูงที่สุด (80.40 cP) ตามด้วยน้ำมัน SE (68.63 cP) และ CSE (47.33 cP) โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านสี พบค่าความสว่าง L* ในน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลายและผ่านการกำจัดกัม (SE 91.38, CSE 93.28) สูงกว่าน้ำมันที่บีบอัดด้วยสกรู (CSP 64.28) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำมัน CSP มีค่าสูง (11.16) ในขณะที่น้ำมัน SE และ CSE แสดงค่าความเป็นสีเขียว (-1.29 และ -3.35 ตามลำดับ) เนื่องจากการสกัดออกมาของคลอโรฟิลล์โดยตัวทำละลาย

ค่าซาพอนิฟิเคชัน ค่าปริมาณสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ และค่าไอโอดีน (wijs) ของน้ำมันที่สกัดทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกันเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน CSP (4.43 % as oleic acid) สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยสารละลาย (SE 2.90 %as oleic acid และ CSE 2.28 %as oleic acid) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอันเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่อุณหภูมิสูงขึ้นจากการบีบอัดสกรู การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบอยู่ในช่วง 32.72-34.74 ไมโครกรัมแกลลิคแอซิดอิควิวาเลนซ์/มล) สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดจาก 3 วิธี มีค่า T_0 (onset temperature) (-22.2) – (-24.9) องศาเซลเซียส ค่า T_p (peak temperature) (-2.5) – (-3.3) องศาเซลเซียส ค่า T_c (conclusion temperature) 1.7 – 2.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิตกผลึก (-40.8) – (-42.6) องศาเซลเซียส

องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันมะรุมไม่มีความแตกต่างอันเนื่องมาจากวิธีการสกัด พบกรดไขมันโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะเดียวที่มีความสำคัญในน้ำมันเมล็ดมะรุมปริมาณสูงถึงร้อยละ 72.24-75.00 ของกรดไขมันทั้งหมด การวิเคราะห์ปริมาณวิตะมินอีหรือโทคอล พบโทโคฟีรอลทุกรูป คือ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ในขณะที่พบโทโคไตรอีนอลรูป α เท่านั้น โดยพบ γ-โทโคฟีรอลปริมาณสูงสุด (81.13- 105.30 มก/กก) และมีปริมาณวิตะมินอีรวม 183.30 – 234.37 มก/กก ความคงตัวของน้ำมันโดยวิธี Rancimat ที่ 120 องศาเซลเซียส มีค่า OSI ของน้ำมัน CSP 25.90 ชม ในขณะที่ SE และ CSE 42.70 ชม และ 47.37 ชม ตามลำดับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP พบน้ำมัน CSP มีค่าต่ำสุด (82.84 และ 22.18 ไมโครกรัมโทรล็อกซ์อิควิวาเลนซ์/มล ตามลำดับ) น้ำมัน SE (88.56 และ 27.95 ไมโครกรัมโทรล็อกซ์อิควิวาเลนซ์/มล ตามลำดับ) และสูงสุดในน้ำมัน CSE (120.71 และ 35.87 ไมโครกรัมโทรล็อกซ์อิควิวาเลนซ์/มล ตามลำดับ)

คำสำคัญ: มะรุม, เมล็ดพืชน้ำมัน, การสกัดด้วยตัวทำละลาย, การบีบอัดด้วยสกรู

Thesis Title	Characteristics of *Maringa Oleifera* seed oil from different extraction methods
Student's name	Miss. Pratumporn Chatthai
Student ID	54680307
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2014
Thesis Advisor	Assist. Professor Dr. Porjai Thamakorn

Abstract

The aim of this research was to investigate some characteristics of *Moringa oleifera* seed oil and also the effect of extraction method to the oil quality. Extraction methods used in this study were cold screw press (CSP), hexane solvent soxhlet extraction (SE), hexane solvent soaking extraction or cold solvent extraction (CSE). Extracted oil from SE and CSE were further degumming by hot water, whilst CSP oil was not. Oil yield from CSP, SE, and CSE extraction method were 18.89%, 33.99%, and 22.04% respectively. Physical property in term of viscosity found to be highest in CSP oil (80.40 cP), followed by SE (68.63 cP) and CSE (47.33 cP) with statistical difference ($p<0.05$). L* color value found to be higher in degummed oil (SE 91.38, CSE 93.28) than in CSP oil (64.28). a*value of CSP got positive sign (11.16) which represented red color, whereas SE and CSE represented green color with negative sign (-1.29 and -3.35 respectively), this due to the chlorophyll pigment was extracted into the oil by solvent.

Saponification value, unsaponifiable matter, and iodine value of oils from the three extraction methods were slightly difference with statistical significance ($p<0.05$). Acid value of CSP oil was significance higher than of those solvent extracted oils ($p<0.05$). It might cause from the hydrolysis reaction of lipase enzyme at higher temperature during pressing of screw. Total phenolic compound determination found to be 32.73-34.74 µg as gallic acid /ml for all treatments. Thermal property of extracted oil was determined by DSC. Onset temperature (T_0), peak temperature (T_p), and conclusion temperature (T_c) ranged in between (-22.2) to (-24.9) $^{\circ}$C, (-2.5) to (-3.3) $^{\circ}$C and 1.7 to 2.7 $^{\circ}$C respectively. Crystalization temperature ranged from (-40.8) to (-42.6)$^{\circ}$C.

Fatty acid profile of extracted Moringa oils were not different regarding to extraction methods. Oleic acid; an important monounsaturated fatty acid (MUFA) was found to be rather high amount in extracted oils 72.74% -75.00%. Vitamin E or Tocols was analyzed and tocopherol was found in all forms; α, β, γ, and δ, when tocotrienol only α form was found. γ-tocopherol was presented the highest amount (81.13-105.30 mg/kg) compared to all forms of Tocols. Total amount of vitamin E in all extracted oil was 183.30-234.37 mg/kg. Oil stability index (OSI) with Rancimat method observed at 120 $^{\circ}$C found to be 25.90 h for CSP, 42.70 h and 47.37 h for SE and CSE respectively. Free radical scavenging activity of extracted oil by DPPH and FRAP method found lowest in CSP oil (82.84 and 22.18 µg Trolox equivalent/ml respectively) followed by SE oil (88.56 and 27.95 µg Trolox equivalent/ml respectively) and highest in CSE oil (120.71 and 35.87 µg Trolox equivalent/ml respectively)

Keywords: *Moringa Oleifera*, seed oil, solvent extraction, cold screw press

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร พอใจ ถามากร ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาถ่ายทอดความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆอันมีค่ายิ่ง ที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการทำวิจัย ตลอดจนเสียสระเวลาอันมีค่ายิ่งสำหรับการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร ระติพร หาเรือนกิจ ดร.กิติชัย บรรจง และดร.ระจิตร สุวภานิช เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกๆ ท่านที่ประสิทธ์ประสาทความรู้และวิชาการต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบัน ฯ แห่งนี้ จนกระทั้งประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา ที่ให้โอกาสการศึกษาและการสนับสนุนช่วยเหลือ ในการเรียนและวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณเชาว์วัช หนูทอง ศูนย์วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์ลพบุรีที่อนุเคราะห์สถานที่และเมล็ดมะรุม ตลอดจนคำแนะนำในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ทุกๆคน ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน และเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

ความดีความชอบนี้ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากปราศจากความช่วยเหลืออันดีจากผู้มีพระคุณทั้งหลาย รูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ และผู้เขียนขอขอบคุณผู้แต่งและวิทยานิพนธ์ที่ข้าพเจ้านำมาอ้างอิงดังกล่าวเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

ประทุมพร ชาติไทย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 มะรุม	3
2.2 ส่วนประกอบของมะรุม	3
2.3 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม	5
2.4 น้ำมันเมล็ดมะรุม	5
2.5 สมบัติน้ำมัน	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 วัตถุดิบ	15
3.2 เครื่องมือ	15
3.3 สารเคมี	16
3.4 สถานที่ทำการทดลอง	17
3.5 วิธีการทดลอง	17
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 34
บรรณานุกรม 36
ภาคผนวก 40
ภาคผนวก ก 41
ภาคผนวก ข 65
ภาคผนวก ค 68
ภาคผนวก ง 70
ประวัติผู้เขียน 72

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะรุม 7

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของกรดไขมัน ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด 8

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดมะรุม 20

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้แต่ละวิธีการสกัด 22

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุม 23

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุม 25

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุม 29

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในน้ำมันเมล็ดมะรุม 31

ตารางที่ 4.7 ความคงตัวของน้ำมันเมล็ดมะรุม 32

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะรุม 33

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของฝักมะรุมแห้ง 4
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเมล็ดมะรุมแห้งและเมล็ดมะรุมแห้งที่แกะเปลือกหุ้มเมล็ดออก 4
ภาพที่ 4.1 ลักษณะสีของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัดที่แตกต่าง 23
ภาพที่ 4.2 เทอร์โมแกรมคุณสมบัติทางความร้อนการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะรุม 27
ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมคุณสมบัติทางความร้อนการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะรุม 27
ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐาน Phenolic Compound 56
ภาพที่ ก-2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรอกซ์ ของDPPH 59
ภาพที่ ก-3 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ของ FRAP 62
ภาพที่ ข-1 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน
อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันCSP 65
ภาพที่ ข-2 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันCSP 65
ภาพที่ ข-3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน
อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันSE 66
ภาพที่ ข-4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันSE 66
ภาพที่ ข-5 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน
อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันCSE 67
ภาพที่ ข-6 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันCSE 67
ภาพที่ ค-1 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีCSP 68
ภาพที่ ค-2 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีSE 68
ภาพที่ ค-3 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีCSE 68
ภาพที่ ค-4 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีCSP 69
ภาพที่ ค-5 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีSE 69
ภาพที่ ค-6 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีCSE 69
ภาพที่ ง-1 เครื่องสกรูเพส 70
ภาพที่ ง-2 การสกัดน้ำมันแบบบีบอัด (CSP) 70

ภาพที่ ง-3 การสกัดน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet (SE) 71
ภาพที่ ง-4 การสกัดน้ำมันด้วยวิธีแช่สารละลาย (CSE) 71
ภาพที่ ง-5 ลักษณะและสีของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัดที่แตกต่าง 71

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มะรุม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera* Lam. เป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็ก มะรุมสูงถึง 2.5-10 เมตร (Roloff และคณะ 2009) บางส่วนของต้นมะรุมถูกนำมาใช้สำหรับยาและมีคุณค่าทางโภชนาการ (Armelle, 2011) มะรุมเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศแถบตะวันตกและแถบหิมาลัยได้แก่ อินเดีย, ปากีสถาน, เอเชียไมเนอร์แอฟริกาและอาระเบีย ยังพบในฟิลิปปินส์, กัมพูชา, อเมริกากลาง ทวีปอเมริกาเหนือและใต้, หมู่เกาะแคริบเบียน (Anwar and Bhanger, 2003) นอกจากนี้มะรุมยังพบในทุกภูมิภาคของไทย ที่ปลูกไว้ในบริเวณบ้าน (วรรณภา เสนาดี, 2552)ในประเทศไทยมีการใช้ส่วนของฝักมะรุมอ่อน,ใบและดอกมาปรุงเป็นอาหารแบบดั้งเดิม ปัจจุบันการวิจัย ได้รายงานถึงโภชนาการของใบมะรุม (Jongrungruangchok และคณะ2010) แต่การวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพและโภชนาการของเมล็ดมะรุมยังไม่มีรายงานมากนัก น้ำมันที่สกัดถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการรักษาโรคผิวหนัง เครื่องสำอาง แต่ไม่ได้สำหรับการบริโภค น้ำมันดิบยังมีราคาแพงเมื่อเทียบน้ำมันมะกอก นอกจากนี้ความพร้อมด้านปริมาณของน้ำมันยังมีจำกัด วิธีการบีบอัดสกรูเป็นที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันในระดับเชิงพาณิชย์ การสกัดด้วยวิธีอื่น ๆ ไม่มีการรายงาน

การศึกษาในต่างประเทศ ที่ผ่านมา Ramachandran และคณะ (1980) รายงานว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมมีองค์ประกอบของกรดไขมันคล้ายกับน้ำมันมะกอก มีการนำสารละลายอินทรีย์มาใช้ในการสกัดน้ำมันบ้างแล้ว เช่น การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมจากอินเดีย สกัดโดยใช้วิธีการที่แตกต่างกันสามวิธีได้แก่ การสกัดด้วยวิธีบีบอัดสกรู (cold screw press) สกัดด้วยเฮกเซน (n-hexane) และการสกัดด้วยสารสกัดผสมของคลอโรฟอร์ม: เมทานอล (1:1) (Lalas and Tsaknis, 2002) การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะรุมด้วยการใช้สารละลายอินทรีย์ (เฮกเซน)ได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 38.00-42.00 และมีปริมาณโปรตีน เส้นใยและเถ้าร้อยละ 26.50-32.00, 5.80-9.29 และ 5.60-7.50 ตามลำดับ (Anwar and Bhanger, 2003) การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของวิธีการสกัด รายงานถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่มีหลายสายพันธ์ของมาเลเซีย (Abdulkarim และคณะ 2005) พบน้ำมันมีความคงตัวของกรดโอเลอิกสูงและมีประสิทธิภาพในการทอดดีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น (Abdulkarim และคณะ 2007)

ในมุมมองของความต้องการที่เพิ่มขึ้นของน้ำมัน จึงมีการแสวงหาแนวทางการใช้ประโยชน์และความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับคุณสมบัติทางโภชนาการและลักษณะเฉพาะของน้ำมัน การประเมินคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันมากยิ่งขึ้น จนถึงขณะนี้คุณสมบัติเต็มรูปแบบและการเปรียบเทียบของน้ำมันที่ผลิตจากเมล็ดมะรุมในประเทศไทยยังไม่มีการรายงานมากนัก ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันมะรุมจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือการมองเข้าไปในลักษณะของน้ำมันมะรุมสกัดโดยวิธีการที่แตกต่างกันเพื่อประโยชน์สำหรับการบริโภค เช่นเดียวกันกับน้ำมันในเชิงพาณิชย์อื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของวิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะรุม ได้แก่การใช้ตัวทำละลายแบบใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อนและวิธีบีบเย็นโดยใช้สกรูอัด ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาผลของวิธีการสกัดน้ำมันที่แตกต่างกันได้แก่ การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (เฮกเซน) โดยสกัดแบบใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อนและสกัดด้วยวิธีบีบเย็นโดยใช้สกรูบีบอัด ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพได้แก่ ความหนืด, สี, สมบัติด้านความร้อน, ค่าซาพอนนิฟิเคชัน, ค่าความเป็นกรด, ค่าความคงตัวของน้ำมัน, ค่าไอโอดีน, ค่าปริมาณสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้, ปริมาณ Tocopherols และ Tocotrienols, ชนิดและปริมาณกรดไขมัน, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะรุมที่ปลูกในประเทศไทยในเขตพื้นที่จังหวัดลพบุรีเก็บและรวบรวมเมล็ดโดย ศูนย์วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์ลพบุรี ตำบลท่าวุ้ง อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะรุม

มะรุม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera* Lam. ชื่อสามัญ Horse radish tree, Drumstick จัดเป็นต้นไม้ที่อยู่ในวงศ์ Moringaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่มีต้นกำเนิดบริเวณเชิงเขาหิมาลัย เป็นไม้ที่นิยมนำมาปลูกไว้ในบริเวณบ้านของคนไทยมาแต่โบราณ สามารถกินได้ทั้งส่วนยอด ราก และฝักเขียว แต่ส่วนใหญ่นิยมกินฝักมากกว่าส่วนอื่นๆ ต้นมะรุมพบได้ทุกภาคของประเทศไทย มีชื่อเรียกต่างกันไปตามแต่ละท้องถิ่น เช่นภาคอีสานเรียก ผักอีฮุมหรือผักอีฮึม ภาคเหนือเรียกมะค้อมก้อน ชาวกระเหรี่ยงแถบกาญจนบุรีเรียกกาแน้งเดิง และแม่ฮ่องสอนเรียก ผักเนื้อไก่ เป็นต้น แพทย์แผนโบราณของไทยใช้แทบจะทุกส่วนของต้นมะรุมเป็นยา (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2554)

สายพันธุ์ของมะรุมในโลกนี้มีทั้งสิ้น 13-14 สายพันธุ์ และ 10 ใน 13 สายพันธุ์จะขึ้นเฉพาะในถิ่นที่แล้งจัด เช่นทะเลทราย แต่มีเพียง 2 สายพันธุ์ที่สามารถปลูกได้ในประเทศไทย คือ โอลิเฟอร์ร่า (*Moringa oleifera*) และคอนคาแนนซีส (*Moringa concanensis*) มะรุมเป็นพืชไม้เนื้ออ่อน และต้นสูงใหญ่ ถึงแม้จะเป็นไม้ยืนต้นที่มีอายุยืน แต่มะรุมก็เป็นพืชที่เปราะบาง หักง่าย มีประสิทธิภาพในการแตกใบได้เร็ว ถ้าได้น้ำที่พอควร มะรุมทุกชนิดมีคุณค่าเท่าเทียมกัน แต่สาเหตุที่โอลิเฟอร์ร่าเป็นสายพันธุ์ที่มีการนำมาทดลองมากที่สุด เพราะเป็นสายพันธุ์ที่ขึ้นได้ดีทุกสภาพอากาศ ยกเว้นอากาศที่หนาวจัดจนเป็นน้ำแข็ง ทรงต้นสูงชะลูดไม่กินที่ในการปลูก ใบหนาแน่น ดอกดก สามารถให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ มีความต้านทานต่อโรคภัยได้ดี ในประเทศไทยได้มีการร่วมวิจัยจากคณะชีววิทยาที่เชี่ยวชาญในพันธุ์ไม้ และนักวิชาการจากออสเตรเลีย ได้ลงความเห็นว่าสายพันธุ์ในประเทศไทยนั้นร้อยละ 80 เป็นสายพันธุ์โอลิเฟอร์ร่า แม้บางครั้งจะเห็นว่าลักษณะของฝัก และรูปใบอาจมีการแตกต่างกันออกไปก็เนื่องมาจากสภาพความสมบูรณ์ของดิน สภาวะอากาศ และการทำนุบำรุงรักษา แต่คุณสมบัติจะไม่แตกต่างจากกันมากนัก (อภิชาต ศรีสอาด, 2553)

2.2 ส่วนประกอบของมะรุม

2.2.1 ใบ มีลักษณะสลับแบบขนนก ใต้ใบสีเขียวอ่อน ใบอ่อนมีขนสีเทาขนาดใบยาว 1-3 เซนติเมตร

2.2.2 ดอก ช่อดอกแบบช่อแยกแขนง ออกตามซอกใบ กลีบดอก 5 กลีบ สีขาวหรือขาวอมเหลืองแต้มสีแดงที่ใกล้ฐานดอกนอก ยาว 1.4-1.9 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร ปลายกลีบดอก

กว้างกว่าโคน 4 กลีบ ตั้งตรง เกสรตัวผู้แยกจากกันสมบูรณ์ 5 อัน ไม่สมบูรณ์ 5 อันเรียงสลับกันมีขนสีขาว ที่โคน อับเกสรสีเหลืองเกสรตัวเมีย 1 อัน (อภิชาติ ศรีสอาด, 2553)

2.2.3 ฝัก มีความยาว 20-50 เซนติเมตร ลักษณะเหมือนไม้ตีกลอง เป็นที่มาของต้นชื่อไม้ตีกลองในภาษาอังกฤษ (Drumstick Tree) เปลือกฝักอ่อนสีเขียวมีส่วนคอดและส่วนมนเป็นระยะตามความยาวของฝัก เปลือกฝักแก่มีสีน้ำตาล ดังภาพที่ 2.1 เมล็ดมีเยื่อหุ้มลักษณะกลมมีสีน้ำตาล เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ในฝักจะมีประมาณ 20 เมล็ด ฝังอยู่ในแกนของฝัก การเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อฝักเป็นสีน้ำตาลอ่อนและแห้ง เมล็ดแก่สามารถบีบน้ำมันออกมากินได้ (สุธาทิพ ภมรประวัติ, 2550) การเก็บฝักแก่เต็มที่ ควรตากแห้งด้วยแสงแดด ประมาณ 3-5 วัน เพื่อให้ความชื้นเหลือ 5-8% ในประเทศไทยสามารถเก็บเกี่ยวฝักแห้งได้ 2 ฤดูกาล ในช่วงเดือน ปลายเดือนมกราคม – มีนาคม และในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม (Schmidt and Mwaura, 2010)

2.2.4 เมล็ด (ภาพที่ 2.2) เมล็ดมีสีน้ำตาลเข้ม เกือบกลม เส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ด 1-1.4 เซนติเมตร มีเยื่อบางๆ เป็นปีก 3 ปีก ยาว 0.5-2.5 เซนติเมตร ใน 1 กิโลกรัมจะมีประมาณ 3,700 - 6,000 เมล็ด ในเมล็ดจะประกอบไปด้วยสารอาหารมากมายสามารถนำเมล็ดมะรุมมาสกัดน้ำมัน

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของฝักมะรุมแห้ง

ที่มา: ประทุมพร ชาติไทย, 2555(ถ่ายภาพ)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเมล็ดมะรุมแห้งและเมล็ดมะรุมแห้งที่แกะเปลือกหุ้มเมล็ดออก

ที่มา: ประทุมพร ชาติไทย, 2555(ถ่ายภาพ)

2.3 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม

อภิชาติ ศรีสอาด (2553) รายงานว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมสามารถสกัดได้หลายวิธี ได้แก่

2.3.1 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยการเคี่ยว (rendering)

สกัดโดยการนำเมล็ดมะรุมแก่มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปใส่กระทะ เติมน้ำสองเท่าของเนื้อเมล็ดมะรุมที่บดแล้วนำไปตั้งไฟให้เดือดแล้วหรี่ไฟลง หลังจากนั้นก็เคี่ยวกับไฟพออ่อนๆ เคี่ยวจนน้ำมันแยกตัวออกมา ลอยตัวเหนือน้ำหรือเคี่ยวจนน้ำระเหยออกหมด ก็จะได้น้ำมันออกมา แล้วกรองแยกเอาน้ำมันมะรุมมาบรรจุขวด

2.3.2 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยการกลั่น (condensing)

สกัดโดยการนำเมล็ดมะรุมในฝักแก่ มาบดละเอียดแล้วผสมน้ำ ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วยกลงจากเตา นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วใส่ขวดหรือภาชนะที่มีทรงสูง ทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อปล่อยให้น้ำมันแยกตัวเป็นชั้น จากนั้นจึงตักน้ำมันมากรองใส่ขวดเก็บไว้ ส่วนกากมะรุมที่เหลือนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์ได้

2.3.3 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยการสกัดเย็นด้วยเครื่องสกรูเพรส (screw press)

สกัดโดยการนำเมล็ดมะรุมแก่ใส่ลงในเครื่องสกรูเพรสน้ำมันมะรุมที่บีบออกมาโดยแรงบีบอัดไประหว่างสกรูในแนวนอน จนได้น้ำมัน มีความร้อนเกิดขึ้นจากแรงเสียดสีระหว่างการบด ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ ประมาณ 30-40% มากกว่าการสกัดด้วยไฮโดรลิก เมื่อได้น้ำมัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนและนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง วิธีการสกัดนี้จะได้ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดมะรุมแห้งปริมาณ 8-12 กิโลกรัม จะสกัดได้น้ำมันมะรุม 1 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องด้วย

2.4 น้ำมันเมล็ดมะรุม

น้ำมันเมล็ดมะรุม รู้จักกันในชื่อ Ben oil มีสมบัติไม่เป็นไข มีสรรพคุณในการดับกลิ่น ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องจักร ใช้ทำน้ำหอมและผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม ในประเทศตะวันตกนิยมนำมะรุมผงมาใช้ขจัดสิ่งปนเปื้อนโดยเฉพาะในน้ำดื่ม สามารถนำมาใช้เป็นสารกันเสียในอุตสาหกรรมอาหาร และยังใช้เป็นน้ำมันสลัดได้อย่างดีอีกด้วย น้ำมันเมล็ดมะรุมไม่มีกลิ่น สามารถใช้แทนน้ำมันพืชได้เพราะมีส่วนประกอบของกรดโอเลอิก (กรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลเดี่ยว) เหมาะที่จะใช้เจียวและทอด น้ำมันมะรุมที่ได้จะมีสีเหลือง มีรสหวาน ไม่มีกลิ่น น้ำมันเมล็ดมะรุมเป็นน้ำมันตามธรรมชาติชนิดคงรูปซึ่งอุดมไปด้วยกรดที่มีประโยชน์ ประกอบด้วยสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ในปริมาณสูง มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณสูงด้วย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวถึงร้อยละ 70 จึงมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันมะกอก จึงเป็นน้ำมันคุณภาพดีสำหรับใช้ประกอบอาหาร ช่วยลดคลอเรสเตอรอลในเส้นเลือด ป้องกันโรคหัวใจ นอกจากนั้นยังมีกรดต่างๆที่มี

ประโยชน์ในปริมาณมาก คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะรุม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (อภิชาติ ศรีสอาด, 2553)

รายงานผลการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดมะรุมของจังหวัดลพบุรี ที่บีบด้วยเครื่องบีบอัดแบบสกรู แบบที่เรียกว่า บีบเย็น (cold press) พบว่ามีค่าเพอร์ออกไซด์ 2.44 มิลลิโมล/กก. และค่าของกรด (acid value) เท่ากับ 7.10 มก.ของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม นอกจากนี้ยังศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัด ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (วนิดา จันทรเทพเทวัญ, 2553) มีงานวิจัยในสัตว์ทดลอง ของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ว่า สารสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะรุม ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้กับตา โดยพบว่าใช้ได้ดีกับ pyodermia ในหนูเมาส์ ที่มีสาเหตุมาจาก *Staphylococcus aureus* (วิมล ศรีศุข, 2552)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีและองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะรุม

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
Saponification value	182.9
Iodine value	66.4
Density at 20 °C (g/ml)	0.89737
Refractive Index at 20 °C	1.4670
Solidification point (pour point °C) (Method D-97)	6
Free Fatty acid (%)	Up to 2.98
Fatty acid composition (%)	
Lauric	Trace
Myristic	0.08
Pentadecanoic	Trace
Palmitic	5.45
Palmitoleic	1.48
Margaric	0.08
Margaroleic	0.05
Stearic	5.42
Oleic	72.9
Linoleic	0.76
Linolenic	0.14
Arachidic	3.39
Gadoleic	2.2
Eicosadieroic	-
Behenic	6.88
Erucic	0.14
Lignoceric	0.92

ที่มา: ดัดแปลงจากอภิชาต ศรีสอาด, 2553

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดมะรุมและน้ำมันมะกอกบีบเย็น เป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด

กรดไขมัน	น้ำมันมะรุมบีบเย็นจากลพบุรี	น้ำมันมะกอกบีบเย็น
Myristic acid (C14:0)	0.1	<0.1
Palmitic acid (C16:0)	5.9	7.5-20.0
Palmitoleic (C14:1)	1.2	0.3-3.5
Stearic acid (C18:0)	3.9	0.5-5.0
Oleic acid (C18:1)	75.2	55.0-83.0
Linoleic (C18:2)	1.7	3.5-21.0
Linolenic (18:3)	0.2	<1.5
Stearidonic acid (C18:4)	2.7	-
Arachidic acid (C20:0)	1.7	<0.8
EPA (C20:5)	6.3	-
DHA (C22:6)	0.9	-
Nervonic acid	0.1	-

ที่มา: วนิดา จันทรเทพเทวัญ, 2553

2.4 .1 สรรพคุณของน้ำเมล็ดมะรุม

อภิชาติ ศรีสอาด (2553) รายงานว่ามีการนำเมล็ดมะรุมมาใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับความสวยงามตั้งแต่ 1,400 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งนำมาใช้ลดริ้วรอยโดยการใช้ยางสน น้ำมันมะรุมสด และหญ้าไซปรัส นำส่วนผสมทั้งหมดหมักรวมกัน และนำมาใช้ทุกวันเป็นประจำ น้ำมันเมล็ดมะรุมเหมาะต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ในการบำรุงผิว บำรุงผม มีสารฆ่าเชื้อและสมานแผล มีสรรพคุณในการแก้ผื่นคัน นอกจากนั้นยังมีวิตามิน เอ และซี ที่มีประโยชน์ในด้านเสริมสวย ในขณะเดียวกันก็สามารถนำไปปรุงอาหารเช่นเดียวกับน้ำมันมะกอกและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน น้ำมันเมล็ดมะรุมมีสรรพคุณดังนี้

1. ช่วยบำรุงรักษาผิวที่แห้งให้ชุ่มชื้น อ่อนนุ่ม และช่วยชะลอความแก่ก่อนวัยของผิว
2. ช่วยบรรเทาการเกิดสิวบนใบหน้า
3. ช่วยลดรอยจุดด่างดำของผิวอันเป็นผลจากการโดนแดด หรือการเสื่อมตามวัย

4. ช่วยรักษาโรคเชื้อราตามผิวหนังเช่น โรคน้ำกัดเท้า เชื้อราตามซอกเล็บ และผิวแห้งเพราะเชื้อรา

5. ช่วยรักษาแผลสด เนื่องจากเมล็ดมะรุมนั้นประกอบไปด้วยสารฆ่าเชื้อโรคและช่วยลดการอักเสบของบาดแผลจากมีดบาด แผลฟกช้ำ แผลไฟไหม้ แมลงกัดต่อย ผดผื่นและรอยถลอกอย่างรวดเร็ว

6. ลดอาการผื่นคันตามผิวหนัง และอาการแพ้ผ้าอ้อมของเด็กอ่อน

7.ลดอาการปวดบวมของโรคไขข้ออักเสบ

8.ช่วยรักษาแผลในปาก หรือแผลของปากนกกระจอก

9.ใช้ปรุงอาหารเช่นเดียวกับน้ำมันมะกอก แต่ดีกว่าเพราะไม่มีกลิ่นเหม็นหืนภายหลัง

10.ใช้นวดกระชับกล้ามเนื้อและบรรเทาอาการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี

11.ใช้นวดศีรษะ รักษาโรคเชื้อราบนหนังศีรษะ บรรเทาอาการผมร่วงง่าย และอาการคันศีรษะ

12.ช่วยถอนพิษแมลงสัตว์กัดต่อย อาการปวดและอาการบวมจะลดลงอย่างรวดเร็ว

13.บรรเทาอาการปวดเมื่อยตามบั้นเอวและขา เนื่องจากการยืนนานๆ อาการปวดตามไหล่และปวดศีรษะบรรเทาอาการโรคกระดูกไขข้ออักเสบได้ดี

14.นำมาใช้เป็นยารักษาแผลเรื้อรังแผลกดทับในผู้ป่วยโรคอัมพฤกษ์ อัมพาต อย่างได้ผล โดยใช้น้ำมันมะรุมชโลมบริเวณแผล แผลจะหายเร็ว

15.ใช้เป็นน้ำหล่อลื่นต่างๆ ประจำบ้าน ทำให้สิ่งของไม่เป็นสนิม

2.5 สมบัติของน้ำมัน

2.5.1 ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (Saponification number)

ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (saponification number,S.N. หรือ saponification value, S.V.) คือ จำนวนมิลลิกรัมของด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในทำปฏิกริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ใน ไขมัน หรือน้ำมัน (เรียกว่า ปฏิกิริยา saponification) อย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่ซึ่งเป็นเกลือของกรดไขมัน (fatty acid) สามโมเลกุล และกลีเซอรอล หรือปริมาณกรัมของด่าง (NaOH หรือ KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมันชนิดต่างๆ 1 กรัม ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (saponification number) ใช้เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหรือน้ำมัน ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าซาพอนนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นจึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ทำนองเดียวกันถ้าค่าซาพอนนิฟิเคชันต่ำแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างน้อยในการทำปฏิกิริยา

2.5.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number)

ค่าไอโอดีน (iodine number, I.N. หรือ iodine value, I.V.) เป็นการวิเคราะห์เพื่อชี้บ่งจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ผสมรวมกันอยู่ในไขมันหรือน้ำมันตัวอย่าง ค่าไอโอดีนของไขมันหรือน้ำมันใดๆ คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึม (absorb) โดยไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลจะทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนที่มากเกินพอ ไอโอดีนจะถูกดูดซึมเข้าไปที่ตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในที่มืดไม่มีแสง ถ้ามีจำนวนพันธะคู่มาก ไอโอดีนจะถูกดูดซึมมากหลังจากนั้นหาปริมาณของไอโอดีนที่เหลือ เพื่อคำนวณหาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซึมไป ดังนั้นค่าไอโอดีนจึงเป็นตัวชี้บ่งระดับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่รวมกันเป็นไขมันและน้ำมัน ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย นอกจากนี้น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูง ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมากนั้นยังเป็นดัชนีบ่งคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันชนิดนั้นด้วย น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูง จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย

2.5.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของไขมันและน้ำมัน เป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น

2.5.4 สี (Color)

สีเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพน้ำมันของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารสีที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัดน้ำมันและวิธีการกำจัดสี โดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

2.5.5 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่า Acid value (A.V.) ค่า A.V. ของกรดไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ใน

การทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 1กรัมเป็นกลางพอดี ดังนั้นจึงใช้ค่า A.V ชี้บ่งภาวะหรือระดับการหืนของไขมันและน้ำมัน ถ้าค่า A.V สูงแสดงว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่าเกิดการหืนเนื่องจาก hydrolytic rancidity มาก วิธีชะลอการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมันทำได้โดยเก็บรักษาไขมันและน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือในตู้เย็น ทำให้ปราศจากน้ำและจุลินทรีย์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lalas and Tsaknis (2002) ศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมโดยใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การบีบเย็น (cold press) การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (1:1) เปรียบเทียบกับน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ที่จำหน่ายเชิงการค้า โดยศึกษาน้ำมันเมล็ดมะรุม สายพันธ์มะรุม Periyakulam 1 (PKM 1) ผลผลิตของน้ำมันสกัดด้วยวิธีต่างๆดังนี้ การบีบเย็น (cold press) ร้อยละ25.1 สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนร้อยละ 38.3 และสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (1:1) ร้อยละ41.4 ค่าความหนาแน่น 0.899, 0.909, 0.911และ 0.915 ตามลำดับ (วัดที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส) ค่าดัชนีหักเห 1.460, 1.457, 1.459 และ 1.4620 n_D 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าสี 1.90/30.00, 0.80/35.00, 2.00/35.00 และ 0/47.00 แดง/เหลือง ตามลำดับ จุดเกิดควัน 203, 200, 206 และ 190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าความหนืด 80.00, 45.05, 56.10 และ 74.01 มิลลิปาสคาลวินาที ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด 1.94, 1.12, 1.39 และ 0.98 ร้อยละของกรดโอเลิกตามลำดับ ค่าสะพอนนิฟิเคชัน 199.32, 188.36, 186.32 และ 188.00 มก.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมของน้ำมัน ตามลำดับ ค่าไอโอดีน 65.73, 6558, 65.46 และ 80.01 กรัมของไอโอดีน/100 กรัมของน้ำมัน ตามลำดับ ปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดโอเลอิคC18:1ร้อยละ71.60, 71.21, 71.22 และ 74.53 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น ปาล์มมิติก (palmitic C16:0) ร้อยละ 6.34, 6.46, 6.36 และ 11.2 ตามลำดับ และ บีเฮนนิก (behenic C22:0) ร้อยละ 6.21, 6.41, 6.28 และ< 0.01 ตามลำดับ พบปริมาณสเตอรอลในรูปแบบฟอร์ม β -sitosterol สูงถึงร้อยละ 45.58, 43.65, 44.05 และ 64.30 ตามลำดับ stigmasterol ร้อยละ 23.10, 23.06, 22.50 และ0.60 ตามลำดับ และ campesterol ร้อยละ 15.81, 15.29, 14.60 และ 3.20 ตามลำดับ ปริมาณ tocopherols ในรูปแบบฟอร์ม α - tocopherols 5.06, 15.38, 2.42 และ 88.50 ตามลำดับ γ – tocopherols 25.40, 4.47, 5.52 และ 9.90 และ δ - tocopherols 3.55, 15.51, 12.65 และ 1.60 มก./กก. ของน้ำมันตามลำดับ น้ำมันเมล็ดมะรุมมีความคงตัวสูงต่อการหืนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งการสกัดโดยการบีบเย็น (cold press) การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน การสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและเมทานอล (1:1) และน้ำมันมะกอกทางการค้า ก่อนการกำจัดกัมมีค่าเท่ากับ 28.2, 31.7, 32.5, และ 7.88 ชั่วโมงตามลำดับ หลังจากการกำจัดกัม ยกเว้นน้ำมันมะกอก มีค่า

เท่ากับ 16.20, 8.70 และ 14.30 ชั่วโมงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมมีความคงตัวสูงต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidative rancidity) การสกัดด้วยวิธีคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (1:1) มีความคงตัวสูงต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidative rancidity)

Abdulkarim และคณะ (2005) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายและวิธี aqueous enzymatic ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดคือ petroleum ether เอนไซม์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมมี 4 ชนิดในเชิงพานิชย์ ดังนี้ Termamyl 120L, Type L (α-Amylase), Neutrase 0.8L (Neutral Protease), Cellucast 1.5L FG (Cellulase) และ Pectinex Ultra SP-L (Pectinase) จาก Novozyme ประเทศเดนมาร์ก พบว่า Neutrase ให้ค่าปริมาณน้ำมันสูงที่สุด องค์ประกอบกรดไขมันที่สกัดโดยตัวทำละลาย และเอนไซม์ พบกรดโอเลอิกร้อยละ 67.9 และ 70.0, กรดปาล์มมิติกร้อยละ 7.8 และ 6.8, กรดสเตียริกร้อยละ 7.6 และ 6.5, กรดบีฮินิกร้อยละ 6.2 และ 5.8 ตามลำดับ น้ำมันที่สกัดได้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสีเหลืองอ่อน 0.7R+5.9Y และ 0.7R+3.0Y สำหรับน้ำมันที่สกัดโดยตัวทำละลายและเอนไซม์ตามลำดับ มีกลิ่นคล้ายน้ำมันถั่วลิสง จุดหลอมเหลวประมาณ 19.0 องศาเซลเซียส และ18.9 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันหลักในไตรเอซิลกลีเซอรอล วิธีการสกัดมีผลเล็กน้อยต่อปริมาณกรดไขมันในน้ำมัน น้ำมันที่สกัดทั้ง 2 วิธี พบว่าให้อัตราร้อยละขององค์ประกอบของกรดไขมันต่างกัน คุณสมบัติด้านคุณภาพ เช่น ร้อยละของกรดโอเลอิก ร้อยละของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด ค่าไอโอดีน กรดไขมันอิสระ และค่าสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (unsaponifiable matter) และสี ของการสกัดน้ำมันด้วยเอนไซม์ดีกว่าการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

Anwar และคณะ (2006) ศึกษาประสิทธิภาพของการเสถียรภาพออกซิเดชันของน้ำมันพืชบางชนิดโดยการผสมกับน้ำมันเมล็ดมะรุม สกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมด้วยวิธี soxhlet extractor โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน นำมาผสมที่อัตราส่วนร้อยละ20, 40, 60 และ80 ของน้ำมันเมล็ดมะรุม (MOO) เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันทานตะวัน (SFO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) วัดความคงตัวของน้ำมันด้วยเครื่อง rancimat กำหนดอัตราการไหลของอากาศ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส น้ำมันเมล็ดมะรุมมีความคงตัวนาน 8.75 น้ำมันทานตะวัน 2.99 และน้ำมันถั่วเหลือง 3.30 ชั่วโมง เมื่อผสมอัตราส่วนระหว่าง MOO: SFO (20:80) มีความคงตัว 3.75, MOO: SFO (40:60) มีความคงตัว 5.72 MOO: SFO (60:40) มีความคงตัว 6.76 และ MOO: SFO (80:20) มีความคงตัว 7.29 ชั่วโมง และผสมอัตราส่วนระหว่าง MOO: SBO (20:80) มีความคงตัว3.79, MOO: SFO (40:60) มีความคงตัว 5.79, MOO: SFO (60:40) มีความคงตัว 6.96, และMOO: SFO (80:20) มีความคงตัว 7.51 ชั่วโมง ซึ่งการศึกษานี้พบว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมมีความคงตัวสูงต่อการเกิดออกซิเดชัน

Manzoor และคณะ (2007) ศึกษาน้ำมันเมล็ดมะรุมสายพันธุ์ *Concanensis* ที่สกัดจากเฮกเซน ปริมาณของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้ร้อยละ 37.56-40.06 (เฉลี่ยร้อยละ38.82) ปริมาณโปรตีน ไฟเบอร์ ความชื้น และปริมาณเถ้าที่พบร้อยละ 30.07, 6.00, 5.88 และ 9.00 ตามลำดับ น้ำมันที่สกัดได้มีค่าไอโอดีน 67.00 กรัมของไอโอดีน/100 กรัมของน้ำมัน, ดัชนีการหักเห 1.4648 (วัดที่ 40 องศาเซลเซียส) ค่าความหนาแน่น 0.8660 มก./มล. (วัดที่ 24 องศาเซลเซียส) ค่าสปอนนิฟิเคชัน 179.00 มก.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมของน้ำมัน ค่าซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (unsponifiable matter) ร้อยละ0.78 ค่าสี (1 in.cell) 1.90R+19.00Y และค่าความเป็นกรดร้อยละ 0.34 (ร้อยละกรดโอเลอิก), tocopherols (α, γ และ δ) ในน้ำมันคิดเป็น 72.11, 9.26 และ 33.87 มก./กก. ตามลำดับ ค่า specific extinctionsที่ 232 และ 270 นาโนเมตร วัดได้ 3.17 และ 0.65 ตามลำดับ ค่าเปอร์ออกไซด์ และ p-anisidine ของน้ำมัน 1.75 และ1.84 มิลลิอิควิวาเลนท์/กก. ตามลำดับ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (rancimat) ที่อัตราการไหลของอากาศ (20ลิตร/ชม.) อุณหภูมิ (120 องศาเซลเซียส) ผลของน้ำมันดิบที่ 10.8 ชั่วโมงและลดลงถึง 8.90 ชั่วโมง หลังจากการกำจัดยางเหนียว (degumming) พบว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมมีระดับกรดโอเลอิกสูงถึงร้อยละ 68.00 ตามด้วยกรดปาล์มมิติก, สเตียริก,บีฮินิก และอะราชิดิกร้อยละ 11.04, 3.58, 3.44 และ 0.79 ตามลำดับ

Abdulkarim และคณะ (2007) ศึกษาความคงตัวระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันเมล็ดมะรุมเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชอื่น คือ น้ำมันคาโนล่า (CLO) น้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และน้ำมันปาล์ม (PO) การสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมใช้ตัวทำละลายและทำให้บริสุทธิ์รวมถึงการกำจัดยางเหนียว การฟอกสีน้ำมันดิบ และการกำจัดกลิ่น เพื่อลดกรดไขมันและกำจัดสารที่ระเหยได้ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันที่ใช้ในการทดลองของน้ำมัน PO, CLO และSBO พบกรดปาล์มมิติกร้อยละ37, 8.9, 11.3 กรดโอเลอิกร้อยละ45.6, 57.4, 24.8 และกรดลิโนเลอิกร้อยละ10.8, 22.8, 53.5 ตามลำดับ น้ำมันมะรุม (MoO) มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูงถึง ร้อยละ74.5 ของน้ำมันทั้งหมด มีกรดปาล์มมิติกร้อยละ 6.1 และกรดลิโนเลอิกร้อยละ 0.7 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวทั้งหมดในน้ำมันมะรุมมีมากถึงร้อยละ 78.1 เมื่อเทียบกับน้ำมันอื่นคือ PO (ร้อยละ 46.3), CLO (ร้อยละ 58.6) และ SBO (ร้อยละ 25.1) ปริมาณที่สูงของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในน้ำมันเป็นที่ต้องการเนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (ชนิดโอเลอิก) จะเกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ

Mani และคณะ (2007) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลายของน้ำมันเมล็ดมะรุมโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลาย ขนาดอนุภาค อุณหภูมิการสกัดและเวลาของตัวทำละลายต่อผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตสูงสุดแต่ละตัวทำละลายที่ใช้มีดังนี้ เฮกเซน ร้อยละ 33.1 ปิโตรเลียมอีเทอร์ร้อยละ 31.8 ผลผลิตสูงสุดของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้มาจากตัวทำละลายเฮกเซน ขนาดอนุภาคมีความสำคัญสูงสุดต่อผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้ตามด้วยอุณหภูมิการสกัดและเวลาของตัวทำละลายทั้งหมด มีการใช้เทคนิควิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ

สกัดน้ำมันได้ค่าที่เหมาะสมของขนาดอนุภาค 0.62 มม. อุณหภูมิการสกัด 56.58 องศาเซลเซียส และระยะเวลาของตัวทำละลาย 7 ชั่วโมง ผลผลิตของน้ำมันที่ได้สูงสุดคือร้อยละ 33.5 โดยใช้เฮกเซนเป็นสารสกัด

Rashid และคณะ (2008) ศึกษาแหล่งของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดมะรุม พบข้อมูลเบื้องต้นดังนี้ ค่า kinematic viscosity ของน้ำมันมีค่า 29.63 ตารางมิลลิเมตร/วินาที น้ำมันเมล็ดมะรุมมีค่า cloud point และ pour point ที่ 18 องศาเซลเซียส และ17 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันพบสูงสุดคือกรดโอเลอิกร้อยละ 72.2

Rahman และคณะ (2009) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุม สายพันธุ์พื้นเมืองของบังกลาเทศ สกัดน้ำมันโดยใช้นอร์มัลเฮกเซน (H) ปิโตเลียมอีเทอร์ชนิดเบา (LPE) (จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส) และคลอโรฟอร์ม/เมทานอล (50:50) (CM) ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากพันธุ์พื้นเมืองของบังกลาเทศทั้ง 3 วิธีปริมาณร้อยละ 37.5, 35.6 และ 40.2 ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำมันเมล็ดมะรุมสายพันธุ์พื้นเมืองของบังกลาเทศยังมีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง (C18:1) ถึงร้อยละ 74.41

Silva และคณะ (2010) ศึกษาลักษณะน้ำมันเมล็ดมะรุมและการผลิตไบโอดีเซล ทำการสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนจากเมล็ดมะรุมแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วัดค่าความเป็นกรดร้อยละ 4.0 (ร้อยละกรดโอเลอิก) ค่าความหนาแน่น มีค่าเท่ากับ 912 กก./ลบ ม. (วัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ซึ่งการศึกษานี้พบปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิกร้อยละ 78

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 มะรุม (*Moringa*) ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์ลพบุรี

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องกระเทาะเปลือกแบบโม่หิน

3.2.2 เครื่องบด (Blender) (Moulinex, China)

3.2.3 ตู้อบแบบถาด (Tray dryer) (Progress, Thailand)

3.2.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert UM 400, Germany)

3.2.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) (Beckman Coulter, USA.)

3.2.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) (Hettich zentrifugen , Germany)

3.2.7 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Pioneer, USA.)

3.2.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Denver, Germany)

3.2.9 เครื่องวิเคราะห์ความคงตัวของไขมัน (Rancimat) (Metrohm's743Rancimat,switzerland)

3.2.10 เครื่อง ระเหย (Evaporater) (BUCHI, Switzerland)

3.2.11 เครื่องสกัดไขมัน (Gerhardt S306AK, Germany)

3.2.12 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Gerhardt vap 30S, Germany)

3.2.13 เครื่องวัดสี (HunterLab Color Quest XE, USA.)

3.2.14 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย

3.2.15 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) (DSC 204 F1 Phoenix® ,Germany)

3.2.16 เครื่อง Gas Chromatography (GC) (Agilent 6890N, USA.)

3.2.17 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Agilent series 1100, USA.)

3.2.18 UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu UV-1601, Japan)

3.2.19 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (Memmert-WNB 7-45, Germany)

3.2.20 เตาเผา (Muffle furnance) (Nabertherm LT40, Germany)

3.2.21 เตาหลุม

3.2.22 Micro-pipettors และ Tips

3.2.23 โถสำหรับดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.24 Magnetic stirrers และ stirring bars

3.2.25 Vortex mixer

3.2.26 Thermometer

3.2.27 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3 สารเคมี

3.3.1 Acetic acid	(Merck, Germany)
3.3.2 Acetone	(Merck, Germany)
3.3.3 Acetate buffer	
3.3.4 Calcium chloride ($CaCl_2$)	(Ajax Finechem, New Zealand)
3.3.5 Celite	(Fluka, Germany)
3.3.6 Cyclohexane	(Merck, Germany)
3.3.7 DPPH (2,2- diphenyl – l- picrylhydrazayl)	(Merck, Germany)
3.3.8 Ethyl alcohol	(Local)
3.3.9 Folin-Ciocalteau reagent	(Carlo Erba, Italy)
3.3.10 Hydrochloric acid (HCl)	(Merck, Germany)
3.3.11 Hexane commercial	(Local)
3.3.12 Iodine (I_2)	(Carlo Erba Reagenti, Italy)
3.3.13 Potassium hydroxide (KOH)	(Ajax Finechem, New Zealand)
3.3.14 Potassium iodide (KI)	(Carlo Erba Reagenti, Italy)
3.3.15 Potassium dichromate	(Carlo Erba Reagenti, Italy)
3.3.16 Starch	(Fluka, Germany)
3.3.17 Sodium hydroxide (NaOH)	(Carlo Erba Reagenti, Italy)
3.3.18 Sodium thiosulfate	(Fluka, Germany)
3.3.19 Trolox	(Merck, Germany)
3.3.20 TPTZ(2,4,6-tripyridyl-*s*-triazine)	(Fluka Chemicals, Switzerland)
3.3.21 Wijs solution	(Merck, Germany)

3.4 สถานที่ทำการทดลอง คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์ลพบุรี ตำบลท่าวุ้ง อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมเมล็ดมะรุมและศึกษาองค์ประกอบ

เมล็ดมะรุมที่แก่เต็มที่แห้งอยู่กับต้นลักษณะฝักสีน้ำตาล แกะเอาเมล็ดในตากแดดหรือ อบแห้งที่ 45-50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง (ความชื้นร้อยละ < 5) (อบในกรณีเมล็ดมะรุมมีความชื้นเกินที่กำหนด) แยกเปลือกออกเก็บบรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบสูญญากาศเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทไว้ในตู้เย็น ได้ตัวอย่างเมล็ดมะรุม มาเป็นตัวอย่างในการสกัดน้ำมัน จากนั้นนำมาหาองค์ประกอบของเมล็ดมะรุมแห้ง หาปริมาณ ความชื้น (moisture) ตามวิธี AOAC, (2000), เถ้า (ash), ไขมัน (crude fat), โปรตีน (crude protein), ใยอาหาร (crude fiber) และ คาร์โบไฮเดรต (crude carbohydrate) ตามวิธี AOAC, (2011)

3.5.2 การศึกษาผลของวิธีการสกัดน้ำมัน

ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันที่มีต่อคุณสมบัติของน้ำมันจากตัวอย่างเมล็ดมะรุม ทำการสกัดน้ำมัน ดังนี้

3.5.2.1 โดยการบีบเย็น ใช้เครื่องบีบอัดแบบสกรู (CSP)

นำเมล็ดมะรุมแห้ง (ไม่เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก) (ความชื้นร้อยละ <5) ใส่ลงในเครื่องบีบอัดแบบสกรู (screw press) ได้น้ำมันที่มีกากของเมล็ดบางส่วนปนอยู่ ทำให้ใส โดยตั้งไว้ให้ตกตะกอน 6 ชั่วโมง แยกเอาน้ำมันแต่ส่วนใสแล้วนำมากรองโดยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์113 (สำหรับงานกรองน้ำมันโดยเฉพาะ) เก็บในขวดสีชาปิดสนิท (เก็บในตู้เย็น) คำนวณปริมาณร้อยละของน้ำมันที่ได้

3.5.2.2 สกัดโดยวิธี Soxhlet ใช้ตัวทำละลายเฮกเซน (SE)

นำเมล็ดมะรุมแห้งที่ได้จาก (ข้อ3.5.1) มาบดโดยเครื่องบดหยาบ (blender) ชั่งมะรุม10 ± 0.1 กรัมห่อด้วยกระดาษกรอง สกัดน้ำมันโดยใช้เครื่อง soxtherm ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที จากนั้นนำมาระเหยตัวทำละลายออกโดย rotary evaporator ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ระเหยจนกว่าตัวทำละลายหมด ได้น้ำมันมะรุมดิบ (Crude moringa oil) และนำมากำจัดยางเหนียว (degumming) ดัดแปลงวิธีจาก Anwar and Bhanger (2003) โดยเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละ 20 กวนผสมนาน 10 นาที โดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนจากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องปั่นเหวี่ยงที่ 6000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำมากรองสูญญากาศ ด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์113 (สำหรับงานกรองน้ำมันโดยเฉพาะ)

กรองเอาส่วนที่เป็นของแข็ง (solid) ออก ได้น้ำมันมะรุมบริสุทธิ์เก็บในขวดสีชาในตู้เย็น และคำนวณปริมาณร้อยละของน้ำมันที่ได้

3.5.2.3 สกัดโดยแช่ในตัวทำละลายเฮกเซน (CSE)

นำเมล็ดมะรุมแห้งที่ได้จาก (ข้อ3.5.1) มาบดโดยเครื่องบดหยาบ (blender) แช่มะรุมแห้งบดในอัตราส่วนมะรุม: เฮกเซน 1:3 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำของเหลวแยกจากของแข็งมาระเหยตัวทำละลายออกโดย rotary evaporator ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ระเหยจนกว่าตัวทำละลายหมด เมื่อได้น้ำมันมะรุมดิบ (crude moringa oil) นำมากำจัดยางเหนียว (degumming) เช่นเดียวกับวิธี 3.5.2.2

3.5.3 ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีแตกต่างกัน

3.5.3.1 ทางด้านกายภาพ

3.5.3.1.1 ความหนืดวัดโดยใช้ Brookfield viscometer รุ่น (Brookfield DV-III) หัววัดเบอร์18 Small sample adapter

3.5.3.1.2 สี วัดโดยเครื่องวัดสี Hunterlab รุ่น (Color Quest XE) วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE อ่านค่าสีเป็น L*a*b* ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง ที่มีอยู่ในช่วง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ค่า a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ถ้าเป็นบวก (+) และความเป็นสีเขียว ถ้าเป็น (-) ค่า b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง ถ้าเป็นบวก (+) และความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าเป็น (-)

3.5.3.1.3 สมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) โดยใช้เครื่องมือ Differential Scanning Calorimetry (DSC) รุ่น DSC 204 F1 Phoenix®

3.5.3.2 ทางด้านเคมี

3.5.3.2.1 ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (AOCS Official Method Cd 3-25)

3.5.3.2.2 ค่าความเป็นกรด (AOCS Official Method Cd 3d-63)

3.5.3.2.3 ค่าไอโอดีน (AOCS Official Method Cd 1-25)

3.5.3.2.4 ค่าปริมาณสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (AOCS Official Method 6b - 53)

3.5.3.2.5 ปริมาณ Tocopherols และTocotrienols โดยใช้เครื่อง HPLC (AOCS Official Method Ce 8-89)

3.5.3.2.6 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน โดยใช้เครื่องGC (In-house method based on AOAC (2005), 996.06 (NFI T 974)

3.5.3.2.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) โดยดัดแปลงจาก Singleton and Lamuela-Raventos (1999)

3.5.3.3 ความคงตัวของน้ำมัน

3.5.3.3.1 ตรวจสอบความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้เครื่อง Rancimat กำหนดอัตราการไหลของอากาศ 20 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

3.5.3.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

3.5.3.4.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scaveng- ing activity) โดยดัดแปลงจาก Murakami และ คณะ (2004)

3.5.3.4.2 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxi- dative potential, FRAP) โดย Benzie and Strain (1996)

3.5.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ยกเว้นข้อ 3.5.3.1.3, 3.5.3.2.5 และ3.5.3.2.6 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

4.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัดที่แตกต่าง

ผลการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมที่แตกต่างกัน 3 วิธีการ แสดงในตารางที่ 4.2 ได้แก่ การบีบเย็น ใช้เครื่องบีบอัดแบบสกรู (cold screw press : CSP) สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ด้วยการใช้สารละลายเฮกเซน แบบใช้ความร้อนหรือวิธี (soxhlet extraction : SE) และสกัดโดยใช้สารละลายเฮกเซนแบบไม่ใช้ความร้อน (cold solvent extraction : CSE) พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้แต่ละวิธีการสกัดแตกต่างกัน การสกัดด้วยวิธี CSP ได้ปริมาณน้ำมันต่ำสุดซึ่งเป็นการบีบอัดน้ำมันทั้งเปลือกหุ้มเมล็ดเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ในการบีบอัดน้ำมัน เนื่องจากการทดลองได้ทดลองบีบเฉพาะเมล็ด พบว่าการบีบอัดที่ไร้เปลือกหุ้มนั้นไม่สามารถบีบน้ำมันให้ออกมาได้ จะได้ลักษณะเหมือนแป้งแทนน้ำมัน

ปริมาณผลผลิตจาก การบีบอัดด้วยเครื่องเช่นนี้ลักษณะการบีบอัดของเครื่องมีผลต่อผลผลิตที่ได้ เช่นการบีบอย่างช้าๆจะได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าบีบเร็ว (เครื่องสกรูเพสที่ใช้ในการบีบอัดในการทดลองนี้มีขนาดกำลังไฟฟ้า 2 แรงม้า) จากการศึกษาเมล็ดมะรุมทั้งเปลือก 1 กิโลกรัม พบว่ามีปริมาณเมล็ด 482-598 กรัม คิดเป็นปริมาณเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ54 ในการทดลองใช้ปริมาณเมล็ดมะรุมที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดติดอยู่ 10 กิโลกรัม ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 1020 กรัม ดังนั้นผลผลิต (yield) ที่ได้เมื่อคิดเทียบจากเมล็ดมะรุมเป็นร้อยละ18.89

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย แบบใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อนร่วม พบว่าการไม่ใช้ความร้อน มีผลผลิตที่ได้ต่ำกว่า การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอาศัยหลักการที่น้ำมันและไขมันสามารถละลายได้ในตัวทำละลายโดยให้ตัวทำละลายสัมผัสกับเมล็ดพืชที่ผ่านการบด เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับตัวทำละลายมากขึ้น การสกัดด้วยตัวทำละลายนี้ทำให้สารอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้วสามารถละลายในสารสกัดทั้งหมดจึงต้องนำน้ำมันไปกำจัดสารที่ไม่ใช่ไขมันออกไป เรียกว่ากระบวนการ degumming การdegumming เป็นวิธีที่สามารถกำจัด phosphatide โลหะต่างๆ สิ่งสกปรกอื่นๆออกจากน้ำมันดิบที่สกัดด้วยสารละลายได้ ในเชิงอุตสาหกรรมนิยมใช้สารเคมี ในการทดลองนี้ใช้น้ำร้อนโดยกระบวนการdegumming ดัดแปลงวิธีจาก Anwar and Bhanger (2003) โดยเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละ 20 กวนผสมนาน 10 นาทีโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวน จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปั่นเหวี่ยงที่ 6000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที จึงได้น้ำมันที่ต้องการ ทำให้มีการสูญเสียน้ำมันบางส่วนออกไปกับสารที่เรากำจัด ด้วยเหตุนี้จึงมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ลดลง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการสกัด

วิธีการสกัด	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละ)
CSP	18.89±0.02
SE	33.99±0.01
CSE	22.04±0.02

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุม สกัดด้วยวิธีการแตกต่าง แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) โดยที่ความหนืดจากการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าสูงสุด (80.40 เซนติพอยส์) ตามด้วยการสกัดด้วยวิธี SE (68.63 เซนติพอยส์) และสกัดด้วยวิธี CSE (47.33 เซนติพอยส์) เนื่องจากวิธี CSP เป็นน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการกำจัดสารข้นหนืด (gumming substances)จึงส่งผลให้น้ำมันหนืดมากกว่า

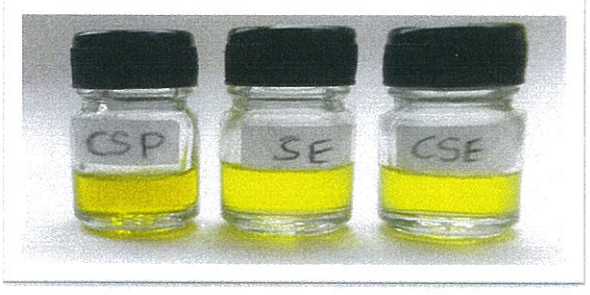
น้ำมันที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลาย สกัดด้วยวิธี SE และสกัดด้วยวิธี CSE พบว่าค่า L* สูงขึ้น แสดงถึงความสว่างมากกว่าน้ำมันจาก CSP เนื่องจากกระบวนการdegumming จะกำจัดสารเหนียวที่อยู่ในน้ำมันออกไป ทำให้น้ำมันมีความสว่างขึ้น นอกจากนี้น้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ยังมีความเป็นสีเขียว (a*เป็น-) มากกว่าน้ำมันสกัดด้วยสกรู เป็นผลจากความสามารถของตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดสารประกอบเม็ดสีคลอโรฟิลล์จากเมล็ดมะรุม (ภาพที่ 4.1)

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันที่สกัดได้ พบว่าการสกัดด้วยวิธี CSE มีค่าต่ำสุด (2.28) ในขณะที่การสกัดด้วยวิธี SE อยู่ระหว่าง (2.90) และการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าสูงสุด (4.43) ซึ่งค่าความเป็นกรดสูง (acid value) แสดงว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเอนไซม์ไลเปสสามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งเพิ่มขึ้นในระหว่างการบีบอัดสกรูที่ประมาณ 50-55 องศาเซลเซียส ทำให้มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นในวิธี CSP (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ค่าความเป็นกรดคิดเป็นมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมของไขมันหรือน้ำมัน มาตรฐานน้ำมันและไขมันบริโภคกำหนดไม่เกิน 4 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (มอก 47-2533)

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดด้วยวิธีแตกต่าง

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	วิธีการสกัด		
	CSP	SE	CSE
ความหนืด (cP)	80.40±0.20^{c}	68.63±0.40^{b}	47.33±0.37^{a}
สี ค่าความสว่าง (L*)	64.28±0.13^{a}	91.38±1.18^{b}	93.28±0.85^{c}
ค่าสีแดง (a*)	11.16±0.78^{c}	-1.29±1.75^{a}	-3.35±0.77^{b}
ค่าสีเหลือง (b*)	105.44±0.17^{b}	114.61±1.39^{c}	101.73±1.51^{a}
ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (mg of KOH/g of oil)	185.82±3.37^{ab}	175.88±5.50^{a}	191.21±7.01^{b}
ค่าความเป็นกรด (as%oleic acid)	4.43±0.06^{c}	2.90±0.03^{b}	2.28±0.12^{a}
ค่าไอโอดีน (wijs) (g of I/100 g of oil)	51.70±0.01^{c}	50.60±0.02^{b}	48.30±0.08^{a}
ค่าปริมาณสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (g/100g)	0.96±0.02^{c}	0.61±0.06^{a}	0.76±0.01^{b}
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (µg gallic acid eq/ml)	32.72±0.14^{a}	33.57±0.02^{b}	34.74±0.12^{c}

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะสีของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัดที่แตกต่าง

ค่าซาพอนนิฟิเคชัน (saponificatiom value) และค่าไอโอดีน (iodine value) จากตัวอย่างน้ำมันทั้ง 3 วิธีการสกัดถึงแม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีความแตกต่างในเชิงคุณภาพมากนัก ค่าซาพอนนิฟิเคชันเป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมัน น้ำมันที่มีค่าซาพอนนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือขนาดโมเลกุลเล็ก ในทำนองเดียวกัน น้ำมันที่มีค่าซาพอนนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือขนาดโมเลกุลใหญ่ ซึ่งงานวิจัยของ Abdulkarim และคณะ (2005) รายงานว่าค่าซาพอนนิฟิเคชันในวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์และการสกัดด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า

วิธีการสกัดที่แตกต่างกันนั้นไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซาพอนนิฟิเคชัน ค่าซาพอนนิฟิเคชันในน้ำมันพืชชนิดอื่นๆเช่นน้ำมันมะกอกมี 188-196 น้ำมันถั่วเหลือง 189-195 น้ำมันมะพร้าว 250-264 และน้ำมันรำข้าว 181-189 จากค่าซาพอนนิฟิเคชันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ น้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว จะมีค่าซาพอนนิฟิเคชันสูง

ส่วนค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้บ่งว่าน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) หรือจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย พบว่าการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าสูงสุด ตามด้วยการสกัดด้วยวิธี SE และการสกัดด้วยวิธี CSE (51.70, 50.60 และ 48.30) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lalas and Tsaknin (2002) น้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้จาก cold press ค่าไอโอดีน 65.73 (กรัมของไอโอดีน/100 กรัมของน้ำมัน) ซึ่งสูงกว่าการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีค่าไอโอดีน 65.58 (กรัมของไอโอดีน/100 กรัมของน้ำมัน) ค่าไอโอดีนในน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันมะกอกมี 74-95 น้ำมันถั่วเหลือง 116-145 น้ำมันมะพร้าว 8-10 และน้ำมันรำข้าว 99-108 กล่าวได้ว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ปริมาณมากจะมีค่าไอโอดีนสูง สังเกตได้จากน้ำมันมะพร้าวที่มีค่าไอโอดีนต่ำเนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว

ค่าปริมาณสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (unsaponifiable matter) คือองค์ประกอบลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซิสด้วยด่าง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่การสกัดด้วยวิธี SE และCSEมีค่าต่ำกว่า CSP อาจเนื่องมาจากกระบวนการdegumming ที่กำจัดสารประกอบต่างๆ เช่น สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คอเลสเตอรอลและไฟโตสเตอรอล ทำให้มีปริมาณลดน้อยลงกว่ากระบวนการผลิตทั้งสองวิธี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) โดยทั่วไปกำหนดให้มีสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ ไม่เกินร้อยละ2ในน้ำมันบริโภค

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic compound) พบว่าการสกัดด้วยวิธี CSE พบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าทั้งสองวิธีการเนื่องจากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถชะล้างสารสำคัญ ออกมามากขึ้นและความได้เปรียบของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ด้วยวิธีการสกัด SE ซึ่งใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในการสกัดซึ่งสารประกอบดังกล่าวอาจจะถูกทำลายโดยความร้อนที่อุณหภูมิสูง สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสาร antioxidant เป็นสารที่พบตามธรรมชาติมีหลายประเภท มีลักษณะและสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันไปสมบัติทั่วไป ของสารประกอบฟีนอลิกคือละลายในน้ำได้เล็กน้อยสามารถละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกถูกแบ่งกว้างๆได้ 5 ประเภท ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) สารประกอบจำพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สติลบีนส์ (stilbens) คูมารินส์ (coumarins) แทนนินส์ (tannins) สารประกอบฟีนอลิก มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH-group)อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารฟีนอลิกพื้นฐาน คือฟีนอล

(phenol) ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ Liu (2004) การศึกษาของ Kong and Lee อธิบายว่าส่วนของรำข้าวพบสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด รองลงมาคือข้าวกล้องและมีปริมาณต่ำสุดในข้าวขาว ในพันธุ์ข้าวสีดำ 2 สายพันธุ์ พันธุ์ Heugjinjubyeo มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ในรำข้าว 108 ข้าวกล้อง 18.20 และข้าวขาว 2.73 (มิลลิกรัมแกลลิคแอซิคอิควิวาเลนซ์/กรัม) และพันธุ์ Heugkwangnyeo มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ในรำข้าว 89.20 ข้าวกล้อง 13.30 และข้าวขาว 1.73 (มิลลิกรัมแกลลิคแอซิคอิควิวาเลนซ์/กรัม) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์หาสารประกอบนอลิกทั้งหมดนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารประกอบกลุ่มใด

4.3.1 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลของคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุม ตรวจวัดโดยวิธี differential calorimetry scanning (DSC) ศึกษาที่ช่วงอุณหภูมิ -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส (5 องศาเซลเซียส/นาที) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อนที่สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งนำมาใช้ในการกำหนดหาลักษณะอุณหภูมิของน้ำมันในขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิสูงสุดคือการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวซึ่งสัมพันธ์กับการหลอมเหลวโดยสมบูรณ์ การเปลี่ยนสถานะนี้ช่วยให้แนวทางในการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานและการเก็บรักษา การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน ของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธีแตกต่าง (ดังตารางที่ 4.4) พบว่าจุดเริ่มต้นการเกิดจุดหลอมเหลว (onset temperature; T_o) มีค่าอยู่ในช่วง -22.2, -23.6, -24.9 องศาเซลเซียสของวิธีการสกัด CSP, SE และวิธีCSE ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างไม่มีผลต่อการเริ่มต้นการเกิดจุดหลอมเหลว ขณะที่ค่าอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature; T_p) พบในวิธี CSP ที่อุณหภูมิ -3.3 องศาเซลเซียสในขณะที่วิธี SE ที่อุณหภูมิ -3.2 องศาเซลเซียส และวิธี CSE ที่อุณหภูมิ -2.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การศึกษาจุดหลอมเหลวของน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ -2.5 ถึง – 3.6 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดจุดหลอมเหลว (conclusion temperature; T_c) ของวิธี SE อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 1.7 องศาเซลเซียส วิธี CSE อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 2.2 องศาเซลเซียสและวิธี CSP อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 2.7 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.2)

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุม

วิธีการสกัด	T_o	T_p	T_c	T_{cr}
CSP	-22.2	-3.3	2.7	-42.6
SE	-23.6	-3.2	1.7	-40.9
CSE	-24.9	-2.5	2.2	-40.8

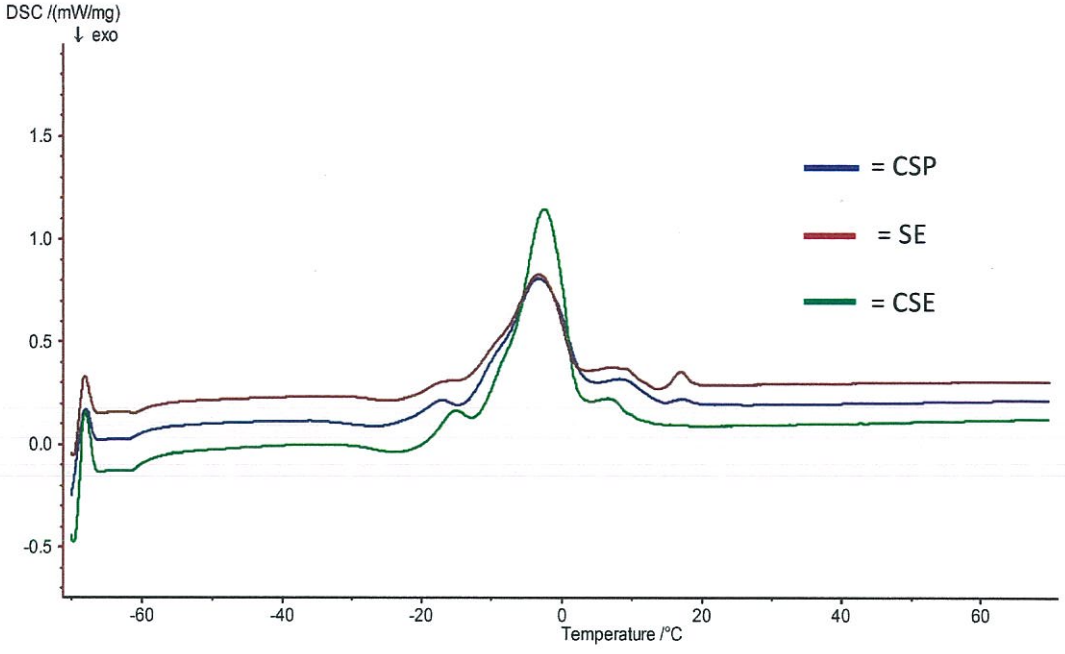
หมายเหตุ T_o= onset temp., T_p= peak temp., T_c = conclusion temp., T_{cr}= crystallized temp.

ในลักษณะการคายพลังงานของการตกผลึก (ภาพที่ 4.3)ของน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการแตกต่างกัน ซึ่งกราฟที่ได้ของน้ำมันแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยที่การตกผลึกของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี CSP, SE และวิธี CSE ตกผลึกที่อุณหภูมิ – 42.6, – 40.9 และ – 40.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

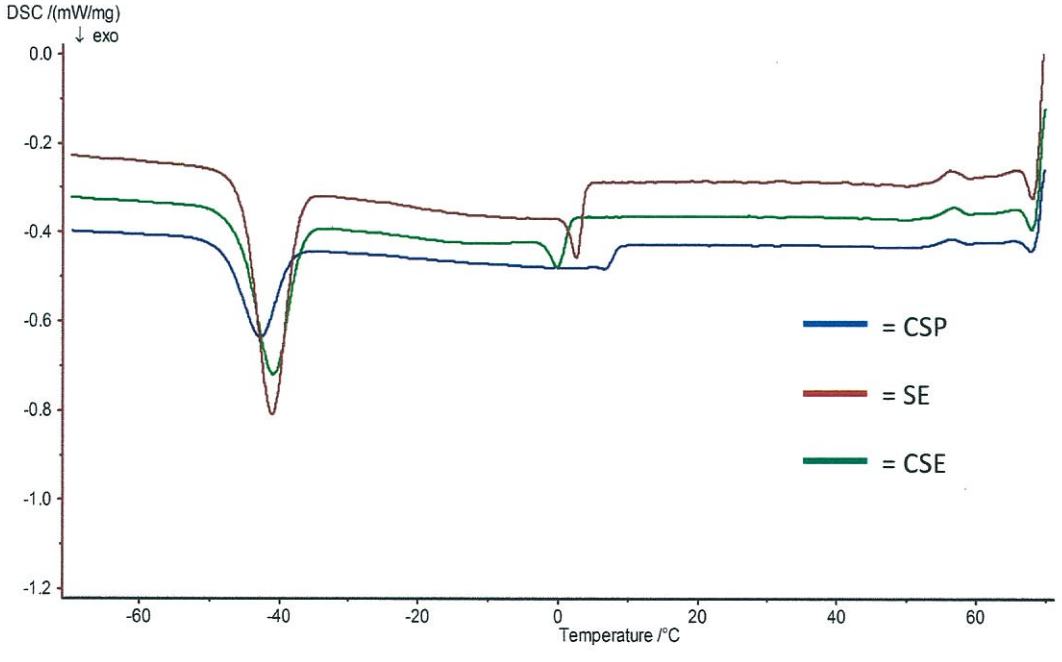
ซึ่งจากงานวิจัยของ Abdulkarim และคณะ (2004) รายงานว่าพฤติกรรมของจุดหลอมเหลวและตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดด้วยสารละลายเฮกเซน พบว่า จุดหลอมเหลวเริ่มต้น (onset temperature; T_o) ที่อุณหภูมิ –12.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature; T_p) ที่อุณหภูมิ - 4.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้ายการหลอมเหลว (conclusion temperature; T_c) ที่อุณหภูมิ 3.4 องศาเซลเซียส และผลึกของน้ำมันตกผลึกที่อุณหภูมิ –38.1 องศาเซลเซียสและน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยเอนไซม์ พบว่า จุดหลอมเหลวเริ่มต้น (onset temperature; T_o) ที่อุณหภูมิ -17.3 องศาเซลเซียส (peak temperature; T_p) ที่อุณหภูมิ-4.4 องศาเซลเซียส (conclusion temperature; T_c) ที่อุณหภูมิ 1.4 องศาเซลเซียสและผลึกของน้ำมันตกผลึกที่อุณหภูมิ-37.5 องศาเซลเซียส

เมทเล่อร์- โทเลโด (ประเทศไทย) รายงานว่าน้ำมันพืชได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืชนั้น โดยนำมาผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยวิธีต่างๆ ส่งผลให้น้ำมันที่ได้นั้นจะมีไตรกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด สเตอรอยด์ วิตามิน สารประกอบฟีนอลิก ฯลฯ แตกต่างกันไปด้วย คุณสมบัติการตกผลึกของน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยเฉพาะชนิดและปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว ข้อมูลของอุณหภูมิในการตกผลึกนี้จะช่วยในการระบุชนิดของน้ำมันและควบคุมกระบวนการกลั่นอย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยให้ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิต หรือเก็บรักษา เพื่อไม่ให้น้ำมันเปลี่ยนสภาพและตกผลึกเป็นไขมัน ตามรายงานของ Chiavaro และคณะ (2008) ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่อง DSC ตรวจสอบ น้ำมันเฮเซลนัทในการกลั่นน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ พบว่าผลึกของน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ตกผลึกที่อุณหภูมิ -38 องศาเซลเซียสและน้ำมันเฮกเซลนัทตกผลึกที่อุณหภูมิ -37 องศาเซลเซียส เมื่อนำน้ำมันเฮกเซลนัทมาผสมลงในน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ทำให้จุดเริ่มต้นในการตกผลึกเปลี่ยนไปด้วย

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาแสดงว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิตกผลึกใช้เป็นบรรทัดฐานในการแยกชนิดของน้ำมัน การที่น้ำมันมีจุดหลอมเหลวและการตกผลึกต่างกันนั้นก็ขึ้นอยู่กับ จำนวนคาร์บอนอะตอม (C) ของน้ำมันแต่ละชนิดนอกจากนี้สามารถใช้จำแนกความแตกต่างของตัวอย่างชนิดน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันออกไป เพื่อเป็นประโยชน์การน้ำน้ำมันไปใช้ในการแยกส่วน หรือทำผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป



ภาพที่ 4.2 เทอร์โมแกรมคุณสมบัติทางความร้อนการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะรุม



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมคุณสมบัติทางความร้อนการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะรุม

4.3.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุม ที่สกัดด้วยวิธีแตกต่างพบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดจากวิธีแตกต่างกันโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.5) ยกเว้นแต่กรดโอเลอิก (oleic acid C18:1) และกรดบีฮีอิก (behenic acid C22:0) มีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวได้ว่าวิธีการสกัดน้ำมันด้วยวิธีแตกต่างกันนั้นไม่ส่งผลต่อความแตกต่างอย่างชัดเจนมากนักของกรดไขมันที่ได้ถึงแม้จะมีความแตกต่างกันก็ตาม แต่ไม่แสดงถึงความโดดเด่น

กรดไขมัน เป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน กรดไขมันที่พบทั้งหมดประกอบไปด้วย ตามประเภทของกรดไขมัน แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ประเภทของกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น monounsaturated fatty acid และpolyunsaturnted fatty acid จากตารางที่ 4.5 กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่พบมากสุดในน้ำมันเมล็ดมะรุมได้แก่ กรดบีฮีนิก (behenic acid C22 : 0) รองลงมาคือกรดสเตรียริก (stearic acid C18:0) และกรดปาล์มิติก (palmitic acid C16:0) ซึ่งกรดทั้งสองชนิดนี้พบในปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วนในกรดไขมันชนิดอื่นๆพบเพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ประเภท monounsaturated fatty acid พบปริมาณกรดโอเลอิกสูงสุด (oleic acid C18:1) และพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิด polyunsaturnted fatty acid เพียงปริมาณน้อยเท่านั้น การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุมนี้ สามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมนั้นมีกรดโอเลอิก เป็นองค์ประกอบสูงสุด โดยที่การสกัดด้วยการใช้สารละลายวิธี CSE พบสูงกว่า วิธี SE และวิธี CSP เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdulkarim และคณะ (2004) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของน้ำมันเมล็ดมะรุมโดยใช้สารละลายและเอนไซม์ในการสกัดซึ่งพบว่าในการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันนั้นปรากฏว่ากรดโอเลอิก (oleic acid C18:1) เป็นองค์ประกอบสูงสุดเช่นเดียวกันและยังรายงานว่าการสกัดด้วยวิธีเอนไซม์พบว่ามีกรดโอเลอิก (oleic acid C18:1) สูงกว่าการสกัดด้วยวิธีการใช้สารละลายอินทรีย์คือมีปริมาณกรดโอเลอิกร้อยละ 70.0 และ 67.9 ตามลำดับ กรดโอเลอิก (oleic acid C18:1) มีปริมาณสูงสามารถทนต่อความร้อนสูงเหมาะสำหรับใช้ปรุงอาหารประเภททอดหรือผัดที่ใช้เวลานานๆ เนื่องจากการมีความคงตัวสูง และ Nzikou และคณะ (2009) ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดมะรุมสายพันธุ์ *Congo – Brazzaville* ที่สกัดด้วยการใช้สารละลาย พบมีปริมาณกรดโอเลอิก (oleic acid C18:1) สูงถึงร้อยละ 74.93 กรดปาล์มมิติก (C16:0) ร้อยละ 6.24 และกรดบีฮีอิก (C22:0) ปริมาณร้อยละ 5.33

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะรุม

กรดไขมัน	วิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของไขมันทั้งหมด)		
	CSP	SE	CSE
Saturated fatty acid			
C14:0	0.11±0.00^{b}	0.10±0.00^{a}	0.09±0.00^{a}
C16:0	5.62±0.02^{b}	5.63±0.06^{b}	5.36±0.04^{a}
C17:0	0.08±0.00^{a}	0.08±0.00^{a}	0.08±0.00^{a}
C18:0	5.60±0.00^{b}	4.96±0.01^{a}	4.93±0.01^{a}
C20:0	3.74±0.02^{b}	3.29±0.00^{a}	3.29±0.00^{a}
C22:0	7.07±0.08^{c}	6.42±0.01^{b}	6.21±0.01^{a}
C24:0	1.12±0.00^{c}	1.08±0.00^{b}	1.05±0.01^{a}
Monounsaturated fatty acid			
C16:1	1.19±0.00^{b}	1.05±0.01^{a}	1.07±0.00^{a}
C18:1	72.24±0.08^{a}	74.46±0.25^{b}	75.00±0.08^{c}
C20:1	2.14±0.00^{a}	1.97±0.30^{a}	1.20±0.14^{a}
C22:1	0.09±0.00^{c}	0.07±0.00^{a}	0.08±0.00^{b}
Polyunsaturated fatty acid			
C18:2	0.76±0.00^{b}	0.71±0.00^{a}	0.70±0.00^{a}
C18:3	0.17±0.00^{a}	0.17±0.07^{a}	0.10±0.00^{a}
C20:4	0.06±0.00^{a}	0.06±0.00^{a}	0.09±0.00^{b}

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Shahidi (2005) รายงานว่า กรดโอเลอิก ยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพในเรื่องการลดปริมาณโคเลสเตอรอลชนิดแอลดีแอล (LDL) ที่ไม่ต้องการในเลือดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นได้แก่ น้ำมันคาโนลา น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์ม พบว่าน้ำมันเมล็ดมะรุมมีกรดโอเลอิกสูงเช่นเดียวกัน ผลจากการศึกษาความคงตัวระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันเมล็ดมะรุมเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชอื่น คือ น้ำมันคาโนล่า (CLO) น้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และน้ำมันปาล์ม (PO) น้ำมันมะรุม (MoO) มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูงถึงร้อยละ 74.5 ของน้ำมันทั้งหมด ในขณะที่กรดโอเลอิก (C18 :1) ในน้ำมันคาโนล่า (CLO) น้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และน้ำมันปาล์ม (PO) (ร้อยละ45.6, 57.4 และ 24.8) ตามลำดับ ตามรายงานของ Abdulkarim และคณะ (2007) น้ำมันเมล็ดมะรุมมีปริมาณกรดโอเลอิกมากเช่นเดียวกับน้ำมันมะกอก (olive oil) และตามรายงานของ Frank D.

Gunstone (2004) พบว่าน้ำมันมะกอกอุดมไปด้วยกรดโอเลอิกร้อยละ78 กรดโอเลอิก มีชื่อทางเคมีว่า octadecenoic acid เป็นกรดไขมัน (fatty acid) ประเภทกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ (double bond) 1 พันธะ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 (ω-9) จัดเป็น monounsaturated fatty acid เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลต่ำแหน่งที่ 9 และมีการเรียงตัวเป็น cis – configuration (นิธิยา รัตนาปนนท์,2548) และงานวิจัยของ Chiavaro และคณะ (2008) ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันมะกอกทางการค้า พบมีปริมาณกรดไขมันแตกต่างกัน ดังนี้ น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ (extra virgin olive oil) น้ำมันมะกอก (olive oil) น้ำมันมะกอกกลั่น (refined olive oil) กากน้ำมันมะกอก (olive-pomace oil) และ กากน้ำมันมะกอกกลั่น (refined olive-pomace oil) มีปริมาณกรดโอเลอิกร้อยละ74.1, 75.2, 74.4, 71.8 และ 72.4 ตามลำดับ กรดปาล์มมิติกร้อยละ 11.8, 10.4, 10.9, 10.8 และ 9.9 ตามลำดับ และกรดลิโนเลอิกร้อยละ 6.9, 8.3, 8.4, 8.8 และ 9.0 ตามลำดับ

4.3.3 ปริมาณทั้งหมดของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในน้ำมันเมล็ดมะรุม แสดงดังตารางที่ 4.6 ปริมาณทั้งหมดของสารสองกลุ่มนี้ถูกเรียกรวมๆว่า "วิตามินอี หรือ โทคอลส์ (Tocols)" โดยการศึกษานี้พบโทโคฟีรอลมากกว่ากลุ่มโทโคไตรอีนอล ซึ่งกลุ่มโทโคไตรอีนอลนี้พบเพียงโครงสร้างที่เป็นรูปฟอร์มแบบแอลฟ่า (α-tocotrienols) เท่านั้น และพบการสกัดด้วยวิธี CSP สูงสุดคือ 41.11 (มก./กก.) การที่มีปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและกระบวนการกำจัดกัมด้วย โทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันชนิดหนึ่ง วิตามินที่บริสุทธิ์จะมีสีเหลืองอ่อนค่อนข้างเหนียวเหมือนน้ำมัน สามารถละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายไขมัน ทนความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส ทนต่อกรด แต่ถูกทำลายได้ง่ายในด่าง แสงอัลตร้าไวโอเลต ออกซิเดชัน หรือในน้ำมันเหม็นหืน (rancidity) หรือมีโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดงอยู่ด้วย (อนุชิต มุ่งงาม, 2555) ปริมาณโทโคฟีรอลที่พบมีทั้งหมด 4 ฟอร์ม ฟอร์มที่พบมากที่สุดตามลำดับคือ γ, α, δ และ β ปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดพบว่าการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าสูงสุดกว่าทั้งสองวิธีการ ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการสกัดน้ำมัน เนื่องจากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์สามารถทำละลายสารกลุ่มโทคอลส์ (Tocols) ออกไปด้วย จึงทำให้มีปริมาณ โทคอลส์ (Tocols) ด้อยกว่าวิธีการสกัดด้วย CSP และกระบวนการกำจัดกัมของน้ำมัน มีผลทำให้ปริมาณกลุ่ม โทคอลส์ (Tocols) ลดลง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในน้ำมันเมล็ดมะรุม

วิธีการสกัด	วิตามินอี (มก./กก.)								
	กลุ่ม Tocopherols				กลุ่ม Tocotrienols				รวม
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	
CSP	66.49	2.73	81.13	42.83	41.11	-	-	-	234.37
SE	33.55	0.26	105.31	46.48	25.11	-	-	-	210.73
CSE	28.66	-	98.30	41.28	14.22	-	-	-	183.30

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Anwar and Bhanger (2003) ที่รายงานว่ากระบวนการกำจัดกัมของน้ำมันส่งผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินอี ซึ่งก่อนการกำจัดกัมมีปริมาณวิตามินอีในฟอร์ม α-โทโคฟีรอลสูงถึง 134.42 γ–โทโคฟีรอล 93.70 และ δ-โทโคฟีรอล 48.0 หลังกำจัดกัม มีปริมาณวิตามินอีในฟอร์ม α-โทโคฟีรอล 110.00 γ–โทโคฟีรอล 81.63 และδ-โทโคฟีรอล 41.00 (มก./กก.) ตามลำดับ

Packer และคณะ (2001) รายงานว่าโทโคไตรอีนอลในบางฟอร์มสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นและมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าโทโคฟีรอล เพราะนอกจากสามารถให้ไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิลได้ดีกว่า ยังมีส่วนของพันธะคู่ที่โซ่ข้างช่วยในการตรึงอนุมูลอิสระและออกซิเจน เช่น α-โทโคไตรอีนอล มีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระได้มากกว่า α-โทโคฟีรอล แต่ในขณะที่ α-โทโคฟีรอล มีบทบาทสำคัญเมื่ออยู่ในร่างกาย ช่วยขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลและสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลประเภท LDL ในเลือด และช่วยเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระเสรี หรือ free radicals นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระประเภทวิตามินเบต้า–แคโรทีน (β-carotene) แคโรทีนนอยด์ (carotenoids) รวมถึงสารประกอบฟีนอลิก เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์, 2549) ในน้ำมันรำข้าวมีปริมาณโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลสูงสุด 300 (มก./กก.)

4.4 สมบัติความคงตัวของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลการศึกษาสมบัติความคงตัวของน้ำมันเมล็ดมะรุม (ตารางที่ 4.7) พบว่าการศึกษาสมบัติความคงตัวของน้ำมันด้วยการวิเคราะห์ความหืนของน้ำมันโดยเร่งให้เกิดการปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันโดยการให้ความร้อนและอากาศเข้าไปในตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่อง rancimat กำหนดอากาศไหลผ่านอัตราการไหลและอุณหภูมิคงที่ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 20 ลิตร/ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของไขมันและเกิดสารประกอบในรูป volatile acids ที่เป็นผลจากออกซิเดชัน สารประกอบดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า

การนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น พบว่าการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน oil stability index (OSI) ของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธีแตกต่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ด้วยวิธีการสกัดน้ำมันที่แตกต่างกัน พบว่าการสกัดด้วยวิธี CSE มีความคงตัวสูงสุดกว่าวิธีการของ SE และ CSP ทั้งนี้การกำจัดกัม (degumming) มีผลทำให้ความคงตัวของน้ำมันเพิ่มขึ้น กระบวนการกำจัดกัมในวิธีการศึกษานี้ใช้น้ำเป็นตัวกำจัดกัม (water degumming) เป็นการกำจัดสารจำพวกฟอสฟาไทด์ และสารที่มีลักษณะใกล้เคียง โดยให้ละลายมาอยู่ในน้ำ ตกตะกอนด้วยการเหวี่ยง (centrifuge) (พอใจ ถามากร, 2554) แต่ผลการศึกษาของ Anwar and Bhanger (2003) รายงานว่าระยะเวลาการเหนี่ยวนำ ของน้ำมันลดลงหลังจากการกำจัดกัมร้อยละ 14 ผลมาจากกระบวนการกำจัดกัม เนื่องจากก่อนการกำจัดกัม มีความเสถียรภาพต่อออกซิเดชัน (oxidative stability) 9.99 ชั่วโมง หลังกำจัดกัม 8.63 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลผ่านของอากาศและอุณหภูมิคงที่ 20 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง rancimat ของน้ำมันเมล็ดมะรุมพันธุ์ที่ปลูก ในภูมิภาคเขตร้อนของประเทศปากีสถาน

ตารางที่ 4.7 ความคงตัวของน้ำมันเมล็ดมะรุม

วิธีการสกัด	ความคงตัวของน้ำมัน (ชม.)
CSP	25.90 ± 3.68^{a}
SE	42.70 ± 1.33^{b}
CSE	47.37 ± 0.52^{c}

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้กระบวนการสกัดน้ำมันที่มีความแตกต่างกันส่งผลต่อชนิดขององค์ประกอบของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ชนิดของกรดไขมันเหล่านี้จะเป็นตัวชี้บ่งความคงตัวของน้ำมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) สอดคล้องกับการรายงานก่อนหน้านี้ (ตารางที่ 4.5) ได้อธิบายถึงกรดโอเลอิกที่พบในปริมาณมากในวิธีการสกัดด้วยวิธี CSE

4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ของน้ำมันเมล็ดมะรุม (ตารางที่ 4.8) พบว่าการสกัดด้วยวิธี CSE มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) สูงสุด แสดงว่าน้ำมันที่สกัดด้วยวิธีนี้มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสองวิธีการและการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุดซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ซึ่งการสกัดด้วยวิธี CSE มีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงสุด และการสกัดด้วยวิธี CSP มีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริกต่ำสุด วิธีการสกัดน้ำมันที่แตกต่างกันนี้ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) การสกัดด้วยวิธี CSP มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกต่ำสุด เป็นเหตุมาจากกระบวนการผลิตน้ำมัน เนื่องจากการบีบอัดโดยใช้สกรูซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบอาจมีการปนเปื้อนร่วมด้วยการใช้ความร้อนในการบีบอัดจึงทำให้น้ำมันออกจากเมล็ด เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันถึงแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะรุม

วิธีวิเคราะห์	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมอิคลิวาเลนธ์ trolox/มล.) วิธีการสกัด		
	CSP	SE	CSE
DPPH	82.84±0.83[a]	88.56±0.29[b]	120.71±0.29[c]
FRAP	22.18±0.22[a]	27.95±1.38[b]	35.87±1.14[c]

[a,b,c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ต่างกัน โดยการใช้ตัวทำละลายแบบใช้ความร้อน (SE) และไม่ใช้ความร้อน (CSE) และวิธีบีบเย็นโดยใช้สกรู (CSP) ที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การสกัดด้วยวิธี SE ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันสูงสุด

2.น้ำมันที่ได้จากการสกัด CSP มีค่าความหนืดสูงสุดและมีสีเข้มกว่าสองวิธีการสกัด คุณภาพน้ำมันที่สกัดจากการบีบอัดแบบสกรูมีคุณภาพน้ำมันที่ด้อยกว่าน้ำมันจากการสกัดทั้งสองวิธี อธิบายได้จากค่าความเป็นกรด (acid value)

3. องค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันที่สกัดทั้ง 3 วิธีมีชนิดของกรดไขมันและปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยมีกรดไขมันชนิดโอเลอิกที่โดดเด่นสูงถึงร้อยละ72-75

4. การศึกษาคุณสมบัติด้านความร้อน พบจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิในการตกผลึกของน้ำมันทั้ง 3 วิธีการไม่มีความแตกต่างกันโดยมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ -2.5 ถึง-3.3 และอุณหภูมิการตกผลึกอยู่ที่ -40.8 ถึง-42.6 องศาเซลเซียส

5. ปริมาณวิตามินอีทั้งหมดในการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ พบมีปริมาณวิตามินอีน้อยกว่าวิธี CSP

6. การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ไปในทิศทางเดียวกันและยังมีความสอดคล้องกันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอีกด้วย

ดังนั้น การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมที่แตกต่างกัน มีองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันมะรุมแต่ละวิธีการสกัดที่มีความแตกต่างกันไป การนำไปใช้จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมด้วยจะมีบทบาทสำคัญต่อการนำไปใช้งานเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางที่ต้องการต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากยังมีการผลิตไม่มาก จำกัดด้วยปริมาณวัตถุดิบจึงทำให้น้ำมันเมล็ดมะรุมมีราคาแพง หากนำไปใช้เดี่ยวอาจไม่เหมาะสม ด้วยคุณสมบัติของน้ำมันควรมีการศึกษาการนำไปใช้ผสมกับ น้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีอยู่ในเชิงพานิชย์ เพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ำมันและมูลค่า

2. ควรมีการศึกษาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้น หลังจากมีการน้ำมันไปใช้งาน

3. ควรมีการศึกษาสารพิษ (toxicity) ที่มีอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้ ซึ่งส่งผลอย่างไรต่อสุขภาพ

บรรณานุกรม

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2554. มะรุม...พืชมหัศจรรย์. วารสารวิชาการอาหาร. ปีที่ 41. ฉบับที่ 2. เมษายน - มิถุนายน 2554.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1.โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 244 น.

พอใจ ถามากร. 2554. เอกสารประกอบการสอนไขมันและน้ำมัน. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 43 น.

วนิดา จันทรเทพเทวัญ. 2553. มะรุม...พืชนี้ดีจริงหรือ (2). วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนาองค์การเภสัชกรรม. ปีที่ 17. ฉบับที่ 4. ตุลาคม – ธันวาคม, 2553.

วรรณภา เสนาดี. 2552. มะรุมพืชผักเป็นยาราคาเยา. วารสารเคหการเกษตร. ปีที่ 33. ฉบับที่12. ธันวาคม 2552.

วิมล ศรีศุข. 2552. มะรุมพืชที่ทุกคนอยากรู้ [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก http://www.medplant.mahidol.ac.th/ document/moringa.asp (วันที่สืบค้น 25 มิถุนายน 2555)

สุธาทิพ ภมรประวัติ. 2550. มะรุมลดไขมันป้องกันมะเร็ง. นิตยสารหมอชาวบ้าน. ปีที่ 29. ฉบับที่ 338. มิถุนายน 2550.

อภิชาต ศรีสอาด. 2553. คู่มือการเพาะปลูก แปรรูป และผลิตภัณฑ์ มะรุม ครบวงจร. นาคาอินเตอร์มีเดียร์. กรุงเทพฯ.

อนุชิต มุ่งงาม. 2555. แอนติออกซิแดนท์ในธัญพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาสารคาม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 230 น.

โอภา วัชระคุปต์. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 1. พี.เอส.พริ้น, นนทบุรี. 200 น.

บริษัท เมทเล่อร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด. 2556. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชโดยเทคนิคเชิงความร้อน DSC. นิตยสาร Food focus thailand ปีที่ 8. ฉบับที่88. กรกฎาคม 2556.

มอก. 47-2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. น้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค.สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.กระทรวงอุตสาหกรรม. เล่มที่ 107 ตอนที่ 84. 22 พฤษภาคม 2533.

Abdulkarim, SM., Long K, Lai, OM, Muhammad SKS, Ghazali HM. 2005. Some physic-chemical properties of *Moringa oleifera* seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. Food Chemistry.93:253-263.

Abdulkarim, SM., Long K, Lai OM, Muhammad SKS, Ghazali HM. 2007. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. Food Chemistry. 105:1382 – 1389.

Anwar, F. and Bhanger, MI. 2003. Analytical characterization of moringa oleifera seed oil grown in temperate regions of Pakistan. J. Agric. Food Chem. 51: 6558-6563.

Anwar, F., Abdullah, I. H., and Shahid, I. 2007. Muhammad Iqbal Bhanger Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with Moringa oleifera oil. Food Chemistry 103 (2007) 1181–1191.

Armelle. 2011. Homepage. Website. Moringanews / Moringa Association of Ghana from: http://www.moringanews.org/documents/moringawebEN.pdf. Accessed June 18, 2011.

AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 17th ed, The Association of Official Analytical Chemists Arlington, Virginia.

AOAC. 2005. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 996.06, (nfi t 974) The Association of Official Analytical Chemists Arlington, Virginia.

AOAC. 2011. Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18 th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, Virginia.

AOCS. 1993. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society 3th ed. Champaign Illinois, USA.

AOCS. 2001. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society 5th ed. Champaign Illinois, USA.

AOCS. 2009. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society 6th ed. Champaign Illinois, USA.

Benzie, Iris F. F. and Strain, J. J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of ''Antioxidant Power'': The FRAP Assay. Analytical Biochemistry 239, 70–76.

Chiavaro, E., Vittadini, E., Rodriguez-Estrada, M. T., Cerretani, L., & Bendini, A. 2008. Differential scanning calorimeter application to the detection of refined hazelnut oil in extra virgin olive oil. Food Chemistry, 110, 248–256.

Chiavaro, E., Maria T R-E., Carlo B., Elena V., Lorenzo C., Alessandra B. 2008. Differential scanning calorimetry: A potential tool for discrimination of olive oil commercial categories. Analytica chimica acta, 625 (2008) 215–226.

Frank, D. Gunstone. 2004. The chemistry of oils and fats. Blackwell pubishing. Oxford ox4 2dq, UK. 288 p.

Jongrungruangchok, S., Bunrathep S., Songsak T. 2010. Nutrients and minerals content of eleven different samples of *Moringa Orleifera* cultivated in Thailand. J Health Res. 24(3): 123-127.

Kong, S., and Lee J. 2010. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars. Food Chemistry. 120:278-281.

Lalas, S, Tsaknis J. 2002. Characterization of *moringa oleifera* seed oil variety Periyakulam 1. J Food Composition and Analysis. 15: 65–77.

Liu, R.H. 2004. Potentil synergy of phytochemicals in cancer prevention:Mechanism of action. Journal of Nutrition. 134:3479-3485.

Manzoor, M, Anwar F, Iqbal T, Bhanger MI. 2007. Physico-chemical characterization of *Moringa concanensis* seeds and seed oil. J Amer Oil Chem Soc. 84:413-419.

Mani, S., Jaya, S. and Vadivambal, R. 2007. Optimization of Solvent Extraction of *Moringa* (*Moringa Oleifera*) Seed Kernel Oil Uaing Response Surface Methodology. Food and Bioproducts processing. 85(C4):328-335.

Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba,T. 2004. Effects of Therma Treatment on Radical-scavenging Activity of Single and Mixed Polyphenolic Compounds. Food Chemistry and Toxicology. Vol. 69, Nr. 1, Fct7-Fct10.

Nzikou, JM., Motos L, Moussounga JE, Ndangui CB, Kimbonguila A, Silou TH, Linder M and Desobry S. 2009. Characterization of *moringa oleifera* seed oil variety congo- brazzaville J Food Technology. 3: 59–65.

Packer, L., Stefan U., Weber and Gerald Rimbach . 2001. Molecular Aspects of α-Tocotrienol Antioxidant Action and Cell Signalling. American Society for Nutritional Sciences. 131:369S - 373S.

Rahman, IMM., Barua, S., Nazimuddin, M., Begum, ZA., Rahman, MA. and Hasegawa, H. 2009. Physicochemical Proprties of *Moringa Oleifera* Lam. Seed Oil of the indgenous-cultivar of bangladesh. Journal of Food Lipids.16:540:553.

Ramachandran, C, Peter KV, Gopalakrishnan PK. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera):* A multipurpose Indian vegetable. Econ. Bot., 34: 276-283.

Rashid, U., Anwar, F., Moser, B.R. and Knotse, G. 2008. Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel. Bioresource Technology. 99:8175-8179.

Roloff, A, Weisgerber H, Lang U, Stimm B. 2009. Enzyklopadieder holzgewachse, handbuch and atlasder dendrologie. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim. North Kent Street, Arlington, USA.

Schmidt, L. and Mwaura, L. 2010. Moringa oleifera Lam. Seed leaflet. World Agroforestry Centre. (University of Copenhagen), 150, November 2010.

Shahidi Fereidoon. 2005. Bailey's industrial oil and fat products vol.1. 6th ed. John Wiley& Sons,Inc.All rights reserved.

Silva, J.P.V. da., Serra, T.M., Gossmann, M., Wolf, C.R., Meneghetti, M.R. and Meneghetti, S.M.P. 2010. Moringa oleifera oil: Studies of characterization and biodiesel production. Biomass and Bioenergy. 34:1527-1530.

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299, 152-178.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน

การวิเคราะห์โดยประมาณ

Proximate Analysis มีประโยชน์ในการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เช่น การทำ nutrition fact ที่ติดอยู่บนฉลากอาหาร ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคอาหารและเครื่องดื่มได้อย่างเหมาะสม

1. การวิเคราะห์ความชื้น (Moisture) (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์หาความชื้น เป็นวิธีการระเหยน้ำออกจากตัวอย่าง ปริมาณน้ำในอาหารจะหาได้จากน้ำหนักของอาหารเริ่มต้นลบน้ำหนักของอาหารแห้ง เนื่องจากจุดเดือดของน้ำในอาหารมีค่าต่ำกว่าองค์ประกอบหลักต่างๆในอาหาร

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (aluminum can)
3. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)

วิธีการ

1.นำ aluminium can ไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นรอทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักแน่นอน (4 ตำแหน่ง)

2.ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้ว 3±0.1 กรัม ไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง โดยเปิดฝาเพื่อให้น้ำระเหยออกจากอาหาร

3.เมื่อครบเวลา ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators) ก่อนชั่งน้ำหนัก เพื่อไม่ให้อาหารดูดความชื้นจากอากาศซึ่งจะทำให้ค่าคลาดเคลื่อน อบซ้ำอีกครั้งๆ ละครึ่งชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งต้องต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม

4.คำนวณหาเปอร์เซ็นความชื้น

การคำนวณหาปริมาณความชื้น ในตัวอย่าง

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักหลังอบ

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) (AOAC, 2011)

เถ้า (ash) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ (inorganic) หรือส่วนที่เหลือจากการเผา ซึ่งได้แก่แร่ธาตุต่าง ๆ เมื่อนำ ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป เหลืออยู่ แต่ส่วนของสารอนินทรีย์ ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถบอกถึงคุณภาพของอาหาร ถ้าค่าของเถ้าสูงมากกว่าปกติอาจมีการปลอมปน

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาไฟฟ้า (hot phat)
3. เตาเผาไฟฟ้า (muffle furnace)
4. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (crucible)
5. โถดูดความชื้น (dessicator)

วิธีการ

1.เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาด ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้มีความชื้นเหลืออยู่ในถ้วยกระเบื้องแล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นเพื่อไม่ให้ถ้วยกระเบื้องมีการดูดความชื้นจากอากาศซึ่งอาจจะทำให้ได้น้ำหนักที่ไม่แน่นอน

2.ชั่งตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้อง (3 ± 0.1 กรัม)

3.เผาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน

4.นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง ให้เป็นเถ้าสีขาว

5.รอให้เตาเผาเย็นลง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา

6.คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้า

การคำนวณหาปริมาณเถ้าในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซนต์เถ้า} = \frac{W2 - W}{W1 - W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

W1 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

W2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและเถ้าหลังเผา

3. โปรตีน (kjeldahl method; AOAC, 2011)

โปรตีนเป็นโพลิเมอร์ของกรดอะมิโน เกิดจากกรดอะมิโนมาจับกับกันด้วยพันธะเป็ปไทด์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนส่วนใหญ่อาศัยความเฉพาะเจาะจง ของกรดอะมิโนหรือพันธะเป็ปไทด์ การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทำได้หลายวิธี แต่ในการทดลองนี้ใช้หลักการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนอาศัยการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในอาหาร โดยวิธีการที่นิยมเรียกว่าวิธีเจลดาห์ (kjeldahl method) เนื่องจากโปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มาธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. หลอดย่อยโปรตีน
3. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl apparatus)
4. บิวเรตขนาด 50 มิลิลิตร
5. ขวดชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. Boiling chip

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2% เตรียมได้จากการละลายกรดบอริก 2 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดคลอริก 1 นอมอล์ ปิเปต 37% กรดไฮโดคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% เตรียมจากชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. ตัวเร่ง(catalyst) (เตรียมจาก 1:8 ของ CuSo4/K2SO4)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์

เตรียม 0.1% เมทธิลกรีนใน alcohol 95%

เตรียม 0.2% เมทธิลเรดใน alcohol 95%

วิธีการ

1. การย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่าง 3 ± 0.1 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน อย่าให้ตัวอย่างเปื้อนข้างหลอด เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตรใส่ boiling chip 3 ลูก

1.2 นำหลอดย่อยโปรตีน วางลงในแลค (rack) ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน (heat shield) และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด (exhaust) ก่อนเปิดสวิทซ์ (power on)

1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 370 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

1.4 ทำการย่อย จนได้สารละลายสีฟ้าใส

1.5 ปิดสวิทซ์ พร้อมยกแลคที่มีหลอดย่อยตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายสีฟ้าเย็นลง ซึ่งช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

2. การกลั่น

2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังน้ำกลั่นหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาณ 60 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสอง อย่างละ 1 หยดจะได้สารละลายสีชมพู่ม่วง วางขวดชมพู่ลงในชุดกลั่นเสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นขึ้นอยู่กลับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

3. การไตเตรท

3.1 นำขวดชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 หรือ 0.1 นอมอล์ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง บันทึกการใช้กรดไฮโดคลอริก

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(A-B)\times N \times 14 \times 100}{W \times 1{,}000} \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (normal)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน × 6.25

4. ไขมัน (Fat) (AOAC, 2011)

ไขมันเป็นองค์ประกอบหลักตัวหนึ่งของอาหาร เป็นสารอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่ไม่สามารถละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ปิโตเลียมอีเทอร์ เฮกเซน คลอโรฟอรม์ ไขมันในอาหารรวมถึงสารประกอบในกลุ่ม ไตรกลีเซอไรด์ โมโนหรือไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟลิปิด สเตรอล แคโรทินอยด์ วิตามินเอและอี ดังนั้นไขมันในอาหารจึงมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามไขมันในอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. ชุดสกัดซอกซ์เล็ต(soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (thimble) และบีกเกอร์
3. ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)
5. ที่คีบ (tong)
6. boiling chip

สารเคมี

1. เฮกเซน (hexane)

วิธีการ

1. อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดอบไล่ความชื้นแล้ว 10 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble)

3. ตวงตัวทำละลายเฮกเซน 140 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง

4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำบีกเกอร์ไขมันออกทิ้งให้เย็นสักครู่แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1-2 ชั่งโมง (หรือจนแน่ใจว่าน้ำหนักสารคงที่) เพื่อระเหยสารละลายออก

5. นำบีกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จดบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

ไขมัน(%) $= \frac{(W_2 - W_1)}{W} \times 100$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W1 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด

W2 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด

5. ใยอาหาร (Crude Fiber) (AOAC, 2011)

ใยอาหาร (crude fiber) คือ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ประกอบด้วย เซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ hemi-cellulose และแร่ธาตุบางชนิด ตามปกติจะใช้เป็นตัววัดคุณค่า ทางอาหารหลายชนิด เพราะใยอาหารย่อยยาก นอกจากนี้ปริมาณใยอาหารยังใช้ใน การตรวจ การปลอมปนในอาหาร

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร (fiber extraction apparatus)
3. ถ้วยชนิดทนไฟ (sinter glass crucible) ขนาดของตัวกรอง (fiber) ประมาณ 40 – 90 ไมครอน
4. เตาเผาไฟฟ้า (muffe furnace)
5. ตู้อบรมร้อน (hot air oven)
6. โถดูดความชื้น (dasiccator)
7. ที่คีบ (tong)
8. กาต้มน้ำ
9. กาแก้ว
10. กรวยกรอง
11. กระบอกฉีดน้ำ
12. เตาไฟฟ้า (hot phate)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (H2 SO4) เข้มข้น 0.255 นอมอล์ (1.25 เปอร์เซ็นต์) ปิเปตกรดซัลฟูริก 98.1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 6.93 มิลลิลิตร หรือปิเปตกรดซัลฟูริก 96 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7.10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร ปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่น

2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอมอล์ (1.25 เปอร์เซ็นต์) เตรียมจากชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3. อะซีโตน

4. สารป้องกันการเกิดฟอง

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว 1กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในถ้วยชนิดทนไฟ (ในกรณีที่ตัวอย่างกรองยาก เติมสารช่วยกรอง ซีไรท์ (celite) ประมาณ 1 กรัมลงบนตัวอย่าง)

2. นำถ้วยชนิดทนไฟ ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร ในส่วนของ hot extraction unit ปิดล็อกให้แน่น

3. เปิดฝาด้านบนของตัวเครื่อง เติมกรดซัลฟูริก 0.255 นอมอล์ ที่อุ่นๆ 150 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยของแต่ละตัวอย่าง

4. เติมสารป้องกันการเกิดฟอง ปริมาณ 2-3 หยด ให้ความร้อนจนเดือด

5. ลดความร้อนลง และต้มเป็นเวลา 30 นาที

6. กรองเอากรอดออก โดนเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้ แรงดันที่ตำแหน่ง pressure ช่วย

7. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง

8. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอมอล์ ที่อุ่นๆ 150 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยของแต่ละตัวอย่าง เติมสารป้องกันการเกิดฟอง ปริมาณ 2-3 หยด ให้ความร้อนจนเดือด

9. ทำซ้ำ ข้อ 5 ถึงข้อ 7

10. ล้างกากที่อยู่ที่ถ้วยชนิดทนไฟด้วยอะซีโตน 25 มิลลิลิตร กรองให้แห้ง

11. นำถ้วยชนิดทนไฟไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

12. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ใยอาหาร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ใยอาหาร (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของถ้วย crucible และกากหลังอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วย crucible และกากหลังเผา (กรัม)

6.วิธีวิเคราะห์ความหนืด Brookfield viscometer (Brookfield DV-III)

brookfiled viscometer เป็นมาตรความหนืด (viscometer) ประเภท rotational viscometer ที่ใช้วัดความหนืด (viscosity) ของของเหลว มีหน่วยเป็นเซ็นติพอยส์ (centipoise) นิยมใช้กันอย่างขว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ตัวเครื่องประกอบด้วย แท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้หมุนได้โดยต่อกับมอร์เตอร์ การวัดความหนืดจะวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นค่าTorque และนำมาคำนวณ โดยการคูณด้วยค่าคงที่ตามที่กำหนดมากับเครื่อง หรือสามารถอ่านค่า เป็น centipoise ได้โดยตรงจากเครื่อง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Brookfield viscometer รุ่น (Brookfield DV-III)
2. ชุด Small sample adapter
3. หัววัดเบอร์ 18

วิธีการวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมัน 8 มิลิลิตร ใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter และควบคุมการวัดที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส
2. ใส่หัววัดเบอร์ 18 และจุ่มในตัวอย่าง
3. กด select spindle เพื่อเลือกขนาดของหัววัด และกด select spindle อีกครั้งเพื่อตอบตกลง
4. เลือกความเร็วรอบ โดยพิจารณาความเร็วรอบจากค่าทอร์ก (torque) ที่เข้าใกล้ 100 หลังจากนั้นอ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cP)

7. วิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

เครื่องวัดสีทำงานโดยใช้หลักการของ Spectrophotometry ดังนี้ ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุ อนุภาคสีบนผิวของวัสดุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และจะสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมาและจะถูกบันทึกโดยชุดรับสัญญาณ (spectrometer) และนำข้อมูลมาประมวลผลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขระบบ CIE (Commission International de I' Eclairage)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Hunter Lab รุ่น (Color Quest XE)
2. ชุด calibration

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องทดสอบและโปรแกรมการทดสอบในคอมพิวเตอร์ ในการตรวจสีของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ใช้ค่าสีระบบ CIE L*a*b*โดยการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) ด้วยการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้ Mode เลือก TTRAN (Total transmission) ใช้วัดสีวัตถุโปรงใส โดยจะรวมแสงที่ผ่านทะลุทั้งหมดและแสงที่กระเจิง และเลือก Illuminant/Observer เลือก D65/10°

2. ทำการ Calibration เครื่องก่อนวัดครั้งแรกด้วยชุด calibration โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมกำหนด ดังนี้

2.1 นำ black card วางที่ transmission port กด OK เมื่อทำการ standardize สมบูรณ์แล้วนำ black card ออก

2.2 นำ cell blank แทนที่ back card

2.3 นำ white calibrated tile วางที่ reflectance port (วางไว้ตลอดการวัดโดยไม่เอาออก)

2.4 ทำการกดอ่านค่า cell blank โดยค่า L* ที่วัดได้จะเท่ากับ 100 หรือใกล้เคียง 100 ค่า a* และค่า b* จะเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0

2.5 จากนั้นเปลี่ยนจาก cell blank เป็นตัวอย่างน้ำมัน วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE L*a*b* โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

L* หมายถึง ค่าความสว่าง ที่มีอยู่ในช่วง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)
a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ถ้าเป็นบวก (+) และความเป็นสีเขียว ถ้าเป็น(-)
b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง ถ้าเป็นบวก (+) และความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าเป็น(-)

8. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermal behavior)

differential calorimetry scanning (DSC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน ซึ่งใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transition) ของสารตัวอย่าง ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม นำมาใช้ในการกำหนดหาลักษณะอุณหภูมิของน้ำมันในขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิสูงสุดคือการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวซึ่งสัมพันธ์กับการหลอมเหลวโดยสมบูรณ์การเปลี่ยนสถานะนี้ช่วยให้แนวทางในการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานและการเก็บรักษา การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวนอกจากนี้สามารถใช้จำแนกความแตกต่างของตัวอย่างชนิดน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันออกไปในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่

ควบคุมอุณหภูมิได้ (sample pan) โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า (reference pan) เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Differential calorimetry scanning รุ่น DSC 204 F1 Phoenix®
2. aluminium volatile pan

วิธีการและสถานการณ์วิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง5-6 มิลิลิตร ใส่ลงใน aluminium volatile pan
2. ทำตัวอย่างให้เย็นจนถึง - 70 องศาเซลเซียส 2 นาที จากนั้นทำให้ร้อนอุณหภูมิ จาก – 70 ถึง 70 องศาเซลเซียสในอัตราระยะเวลา 5 องศาเซลเซียส /นาทีและคงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสไว้ 2 นาที จากนั้นทำให้เย็น จาก 70 ถึง -70 องศาเซลเซียสในอัตราระยะเวลา 5 องศาเซลเซียส /นาที
3. เครื่องทำการบันทึกข้อมูล จุดเริ่มต้น (onset) จุดสูงสุด (peak) และจุดสิ้นสุด (offset)

9. การวิเคราะห์ค่าสะปอนิฟิเคชัน (Saponification Value) (AOCS Cd 3-25,2009)

ค่าสปอนนิฟิเคชัน(saponification value) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัมได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล นิยมหาค่าสะปอนนิฟิเคชันของลิปิดโดยต้มลิปิดที่รู้น้ำหนักแน่นอนกับสารมาตรฐาน KOH ปริมาณเกินพอ หลังจาปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้วหาปริมาณ KOH ที่เหลือโดยนำไปไตเตรทกับกรด ซึ่งจะทำให้ทราบปริมาณ KOH ที่ใช้ไป

อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร
2. Air Condensers พร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง
3. Water bath

สารเคมี

1. Hydrochloric acid 0.5 M (41.60 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 1มิลลิลิตร)
2. Potassium hydroxide (KOH) (ชั่ง 34 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 1 ลิตร)
3. Phenolphthalein indicator 1.0 % ใน ethyl alcohol 95%

วิธีการ

1. หลอมตัวอย่างน้ำมันและชั่งน้ำมัน 4±0.01 กรัม ใสขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 50 มิลลิลิตร

3. ทำสารละลาย blank โดยทำเช่นเดียวกับวิธีดังกล่าว

4. นำขวดตัวอย่างน้ำมันต่อกับเครื่อง air condencers แล้วต้มจนน้ำมันเกิดการ saponnified อย่างสมบูรณ์ ใช้เลาอย่างน้อย 1 ชั่งโมง

5. นำขวดตัวอย่างน้ำมันออกมาทิ้งไว้ในเย็น (ไม่เย็นจนเกินไป)

6. เติมฟีนอล์ทาลีน 1 มิลลิลิตรและไตเตรทด้วยสารละลายไฮโดรคลอลิก 0.5 โมลาร์ จนสารละลายสีชมพูจากหายไป บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไตรเตรท

การคำนวณค่าสะปอนิฟิเคชัน

$$\text{Saponification value} = \frac{(B - S) \times (M)}{(W)} \times 56.1$$

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายไฮโดรคลอลิกที่ใช้ในการไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายไฮโดรคลอลิกที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

M = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอลิก

W = ตัวอย่างน้ำมันหน่วยเป็นกรัม

10. การวิเคราะห์ค่าสารที่สะปอนิไฟด์ไม่ได้ (Unsaponnifiable Matter) (AOCS 6b – 53, 2001)

unsaponnifiable Matter หมายถึง สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำซาพอนนิฟิเคชั่น ได้แก่ สารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุล และสเตอรอล โคเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล (phytosterol) เป็นต้น โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมีสารที่สะปอนิไฟด์ไม่ได้ อยู่ไม่เกิน ร้อยละ 2

อุปกรณ์

1. separatory funnels 250 มิลลิลิตร

2. เครื่อง rotary evaporator

สารเคมี

1 สารละลาย diethyl ether

2 phenolphthalein1.0 % ใน ethyl alcohol 95%

วิธีการ

1. ทำการทดสอบต่อจากการหาค่า saponification value โดยนำสารละลายที่ไตเตรทได้มาทำให้เป็นด่างอีกครั้ง โดยเติม KOH 3 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร

2. เทสารละลายลง separatory funnels 250 มิลลิลิตร ล้างฟลาสค์ ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร50 มิลลิลิตรลบด้วย ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ที่ใช้ในการไตเตรท

3. สกัดด้วยสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร แยกชั้นไดเอทิลอีเทอร์ที่สกัดได้แต่ละครั้งใส่รวมในกรวยแยก (separatory funnels) อีกอันหนึ่งที่มีน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

4. เขย่าล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยน้ำ ไขแยกเอาน้ำออกทิ้ง ล้างไดเอทิลอีเทอร์ซ้ำอีก 2 ครั้ง

5. เมื่อล้างด้วยน้ำเสร็จแล้ว ล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ครั้งละ 20 มิลลิลิตรอีก 2 ครั้ง

6. ล้างด้วยน้ำกลั่น ครั้งละ 20 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้งหรือน้ำล้างไม่เกิดสีชมพูเมื่อหยด phenolphthalein

7. เทไดเอทิลอีเทอร์ ลงในขวด round bottom flak ที่อบและชั่งน้ำหนักแน่นอน

8. ระเหยไล่ ออกโดยใช้ rotary evaporator

9. อบ round bottom flak ในตู้อบรมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณสารที่สะปอนิไฟด์ไม่ได้

$$\text{Unsaponnifiable Matter (g/100g)} = \frac{100 \times (\text{กรัมของส่วนที่เหลือ (residue)} - \text{กรัม blank}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

11. การหาค่า ไอโอดีน (Iodime Value) (Wijs method AOCS Cd 1-25, 2009)

ค่า ไอโอดีน (Iodime value) คือจำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม ค่า IV เป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด หรือ degree of unsaturation ของไขมัน ถ้าค่า IV สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมาก และจะทำให้เกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย

อุปกรณ์

1. Iodine flask ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร
3. ปิเปต ขนาด 10, 20 และ 25 มิลลิลิตร
4. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

6. magnetic stirrer

7. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

8. ตู้อบลมร้อน

สารเคมี

1. สารละลาย Wijs

2. สารละลาย potassium Iodide 10% (w/v)

3. สารละลาย acetic acid-cyclohexane 1:1 (v/v)

4. hydrochloric acid

5. สารละลายน้ำแป้ง 1%

6. สารละลายมาตรฐาน sodium thiosulfate 0.1 N

วิธีการ

1. เตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ หลอมสารละลายตัวอย่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 80–85 °C และกรองผ่านกระดาษกรองใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 500 มิลลิลิตร

2. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำมันจนตัวอย่างมีอุณภูมิ 68 -71 °C

3. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10±0.02 ใสใน Iodine flask ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลาย cyclohexane จำนวน 15 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายเข้ากัน

4. เติมสารละลาย Wijs 25 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าเบาๆจนละลายผสมกัน จับเวลา 30 นาที นำไปเก็บในที่มืด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ประมาณ 25±5 °C

5. จากนั้นเติมสารละลาย potassium iodide (KI) 10% จำนวน 20 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

6. ไตเตรทด้วยสารละลาย sodium thiosulfate 0.1 N จนสารละลายสีเหลืองจางลง จากนั้นเติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ประมาณ 1- 2 มิลลิลิตร ไตเตรทต่อจนสารละลายสีฟ้าเริ่มจากลง

7. ทำสารละลาย blank ควบคู่ไปด้วย โดยใช้วิธีดังกล่าวข้างต้น

การคำนวณไอโอดีน

$$\text{Iodine value} = \frac{(B - S) \times N \times 12.69}{\text{นน.ตัวอย่าง, กรัม}}$$

เมื่อ B = ปริมาตร Sodium thiosulfate, มล. ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

S = ปริมาตร Sodium thiosulfate, มล. ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของสารลาย Sodium thiosulfate $Na_2 S_2 O_3$

12. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value) (AOCS Cd 3d-63, 2009)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ค่าของกรด (Acid value; A.V.) ค่า A.V. ของไขมัน หรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน หรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลาง ซึ่งนิยมเทียบเป็นร้อยละ ของ acid value ดังนั้นค่า A.V. จะเป็นตัวชี้บ่งบอกการหืนของไขมัน และน้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูงแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่าเกิดการหืนมาก

อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flasks 250 มิลลิลิตร
2. magnetic stirrer
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

สารเคมี

1. สารละลาย potassium hydroxide (KOH) 0.1 โมลาร์
2. phenolphthalein 1.0 % ใน ethyl alcohol 95%
3. ethyl alcohol 95%

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10±0.01 จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ในขวดรูปชมพู 250 มิลลิลิตร

2. เติม ethyl alcohol 95% 30 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ประมาณ 60 C เป็นเวลา10 นาที

3. หยด phenolphthalein เป็น indicator 3-4 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลาย potassium hydroxide (KOH) เขย่าแรงๆ จนได้สารละลายสีชมพูจากเหมือนกับสี ethyl alcohol สีต้องคงที่เป็นเวลา 30 วินาที จดบันทึก

การคำนวณความเป็นกรด

$$\text{Acid value, mg KOH/g of test portion} = \frac{\text{ml KOH x M x56.1}}{\text{Wt of sample in gram}}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)

M = ความเข้มข้นของสารละลาย KOH โมลาร์

W = ตัวอย่างน้ำมันหน่วยเป็นกรัม

13. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Determination of total phenolic compounds) (ดัดแปลงจาก Singleton และ Lamuela-Raventos, 1999)

สารเคมี

1. สารละลาย Folin-Ciocalteau reagent

2. โซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2 CO_3$)

3. สารละลายกรดแกลลิกความเข้มเข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ชั่งกรดแกลลิก 0.02 กรัม/อะซิโตน 50 มิลลิลิตร)

4. อะซิโตน (acetone)

การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอด เป็น 10 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteau ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu UV-1601, Japan)

6. เขียนกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัมจะได้กราฟมาตรฐาน ดังแสดงรูปที่ ก1

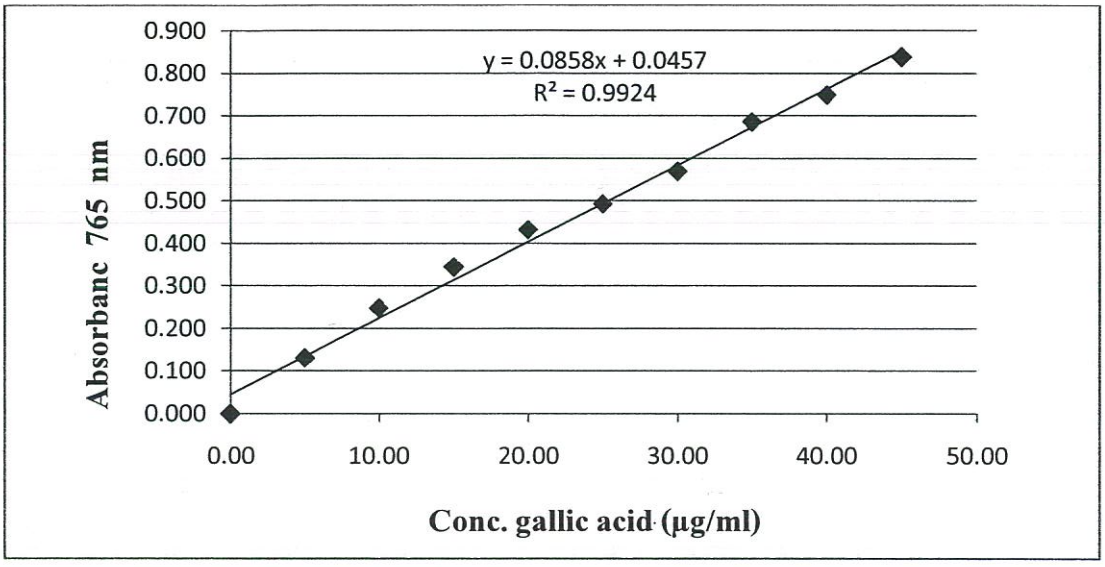
การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

1. ปิเปตสารสกัดน้ำมัน 0.20 มิลลิลิตร เติมอะซิโตน 1.9 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 5 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteau ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

4. นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank



ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ TPC

การคำนวณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลิก

$$y = 0.0858x + 0.0457 \ (R^2 = 0.9924)$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

x = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

C = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSP ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.20 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เท่ากับ 0.607 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของกรดแกลิก ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพ ที่ ก 1) จะได้ $0.607 = 0.0858x + 0.0457$

$x = 6.54$ ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด = 6.54 ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี SE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.20 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เท่ากับ 0.622 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของกรดแกลิก ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพ ที่ ก 1) จะได้ 0.622 = 0.0858x + 0.0457

x = 6.71 ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด = 6.71 ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.20 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เท่ากับ 0.642 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของกรดแกลิก ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพ ที่ ก 1) จะได้ 0.642 = 0.0858x + 0.0457

x = 6.95 ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด = 6.95 ไมโครกรัม/0.20 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

14. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity) (ดัดแปลงจาก Murakami และ คณะ (2004)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และ คณะ (2004) ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH เจือจางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

สารเคมี

1. สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในอะซิโตน (acetone) ปรับปริมาตรรวมให้เป็น 50 มิลลิลิตร
2. อะซิโตน (acetone)

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.6 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และอะซิโตน(acetone) โดยปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยา

รวมทั้งหมดเป็น 5.35 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และอะซิโตน(acetone) จะต้องเท่ากับ 5.4 มิลลิลิตร

3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้อะซิโตน (acetone)เป็น blank

5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยแทนค่าในสมการดังนี้ {1- (ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง / ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม)} x 100

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน (acetone) ให้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6,7,8 และ 9 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.0125 กรัม ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน (acetone) ให้มีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.15, 0.17 และ 0.19 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3. ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน (acetone) ให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร

5.ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มืด

6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้อะซิโตน (acetone) เป็น blank

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยไมโครกรัม

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

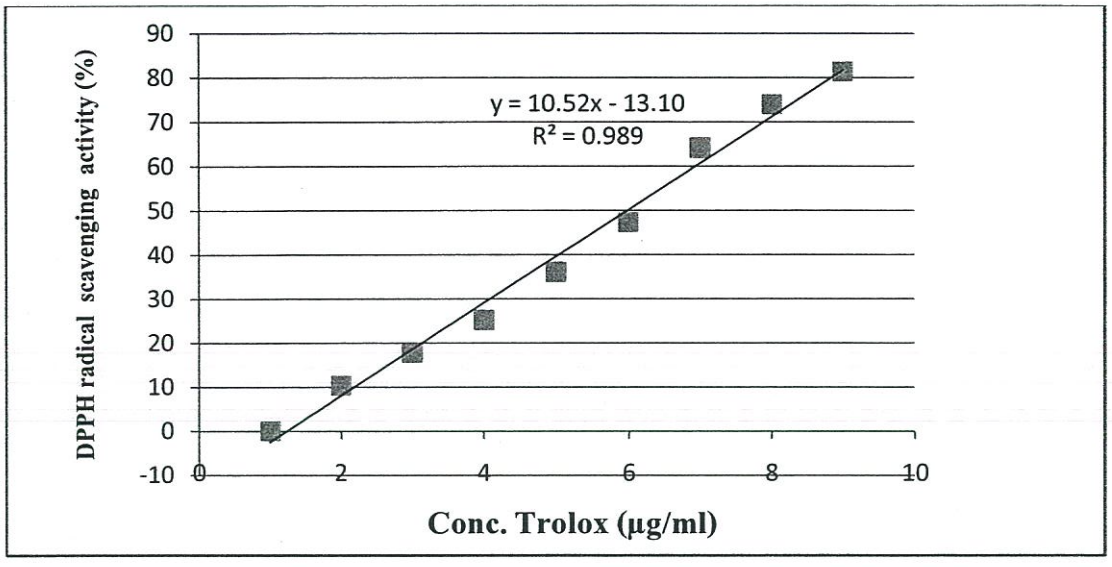
การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่าง สมมูลโทรรอกซ์ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \left[1-\left(\frac{A_{sample}}{A_{control}}\right)\right] \times 100$$

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำมัน

$A_{control}$ = = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรอกซ์ ดังภาพ ที่ ก2



ภาพที่ ก -2 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ ในการวิเคราะห์ DPPH

$y = 10.526x - 13.108$ ($R^2 = 0.9898$)

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

x = ค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSP ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.05 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.546 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุม 0.786 แทนค่าในสมการจะได้

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = {1 – (0.546/0.786)} x 100

= 30.49

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

30.49 = 10.526x- 13.108

x = 4.14 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.05มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี SE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.05 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.523 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุม 0.786 แทนค่าในสมการจะได้

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = {1 – (0.523/0.786)} x 100

= 33.50

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

33.50 = 10.526x- 13.108

x = 4.43 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.05มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.05 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.394 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุม 0.786 แทนค่าในสมการจะได้

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = {1 – (0.394/0.786)} x 100

= 50.42

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

50.42 = 10.526x- 13.108

x = 6.04 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.05มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

15. ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidative potential, FRAP) (Benzie และ Strain, 1996)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie และ Strain (1999) มีหลักการคือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

สารเคมี

1. อะซิเตท บัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ชั่งโซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต 3.1 กรัม ผสมกับกรดแกลเซียมอะซิติก 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น1

ลิตร

2. สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ชั่ง TPTZ 0.156 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

3. สารละลาย $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ชั่ง $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.27 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

4. FRAP reagent ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยให้มีอัตราส่วนของ อะซิเตท บัฟเฟอร์ : สารละลาย TPTZ : สารละลาย $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 10 : 1 : 1 โดยปริมาตร ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 และ8 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน(Acetone)ให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06, 0.07, 0.08 และ 0.09 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน(Acetone) ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 8 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณโทรลอกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่าง

1. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.10 มิลลิลิตร

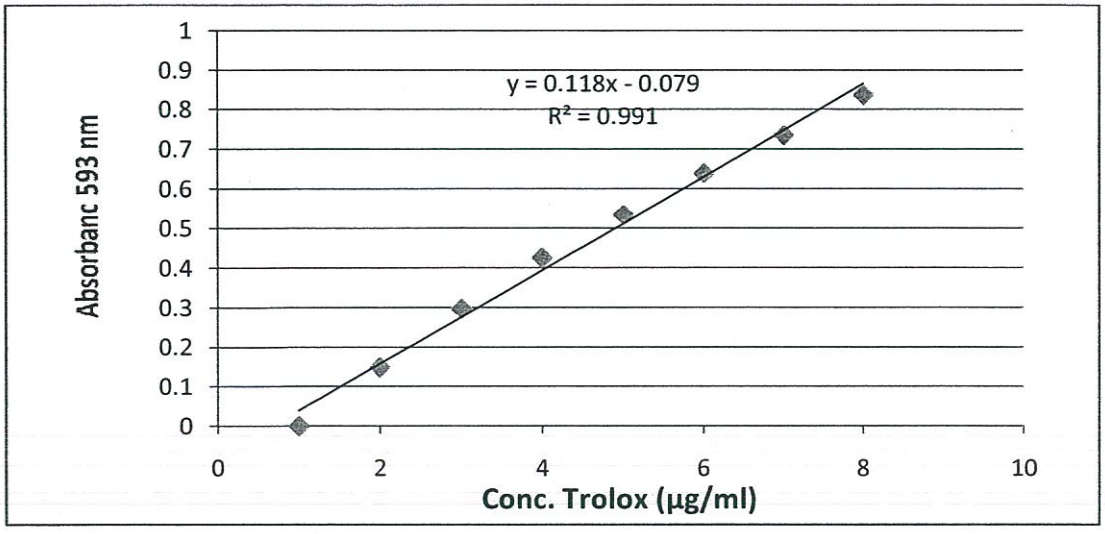
2. เติมสารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร

3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

การคำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างน้ำมัน สมมูลโทรลอกซ์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรอกซ์ ดังภาพ ที่ ก 3



ภาพ ที่ ก -3 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ในการวิเคราะห์ FRAP

$y = 0.118x - 0.0792$ ($R^2 = 0.9919$)

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

x = ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ฟอร์ริก (ไมโครกรัม/0.10 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSP ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.10 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร เท่ากับ 0.218 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ของ FRAP (ภาพ ที่ ก 3) จะได้ $0.218 = 0.118x - 0.0792$

$x = 2.52$ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.1มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีความสามารถในการรีดิวซ์ฟอร์ริก = 2.52 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.10 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี SE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.10 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร เท่ากับ 0.251 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ของ FRAP (ภาพ ที่ ก 3) จะได้ $0.251 = 0.118x - 0.0792$

$x = 2.80$ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.1มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีความสามารถในการรีดิวซ์ฟอร์ริก = 2.80 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.10 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธี CSE ของน้ำมันเมล็ดมะรุม

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะรุม 0.10 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร เท่ากับ 0.344 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ของ FRAP (ภาพ ที่ ก 3) จะได้ 0.344 = 0.118x- 0.0792

x = 3.58 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.1มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำมันมีความสามารถในการรีดิวซ์ฟอร์ริก = 3.58 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทลอกซ์/0.10 มิลลิลิตรของน้ำมันตัวอย่าง

16. วิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมัน (Stability of oil)

เครื่อง rancimat เป็นเครื่องวิเคราะห์ความหืนของไขมันโดยเร่งให้เกิดการปฏิกกริยาออกซิเดชันของน้ำมันหรือไขมันโดยการให้ความร้อนและอากาศเข้าไปในตัวอย่าง เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของไขมันและเกิดสารประกอบในรูป volatile acids ที่เป็นผลจากออกซิเดชัน สารประกอบดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะประมวลผลออกมาเป็นกราฟโดยอัตโนมัติ ซึ่งรายงานเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นค่า Induction time (period) หรือ Oil Stability Index (OSI)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่อง Rancimat (เครื่อง Rancimat รุ่น 743 บริษัท Metrohm Siam)
2. อุปกรณ์สำหรับเครื่อง Rancimat
3. dropper สำหรับหยดน้ำมัน
4. น้ำกลั่น

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. เตรียมชั่งตัวอย่างประมาณ 3±0.01 กรัม ลงใน reaction vessel ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ กับเครื่อง rancimat ตามคู่มือการใช้งานเครื่อง (743 rancimat) เลือกการให้อากาศไหลผ่านอัตราการไหลคงที่และอุณหภูมิ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 20 ลิตรต่อชั่วโมง

2.เมื่อเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างเสร็จ เครื่องจะแสดงผลอัตโนมัติ ทำการบันทึกข้อมูลแสดงค่าเป็น inducation time

17. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) (AOAC (2005), 996.06 (NFI T 974)

วิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี Gas chromatography ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N โดยใช้คอลัมน์ 100m x 0.25 mm ID, 0.20 μm film thickness ยี่ห้อ Supelco รุ่น SP- 2560

สภาวะการทดลอง

Condition การทดสอบ

Oven: temperature program

Initial: 100°C hold 5 min

Ramp 1 : 230°C, rate 4°C/min, hold 21 min

Inlet temperature: 230°C

Detector temperature: 230°C

18. การวิเคราะห์องค์ปริมาณของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล (Tocopherols and tocotrienols content) (AOCS Ce 8-89, 1993)

วิเคราะห์องค์ปริมาณของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลด้วย High-performance liquid chromatography ยี่ห้อ Agilent series รุ่น 1100 โดยใช้คอลัมน์250x4 mm, 5μm สารละลายมาตรฐาน α, β, γ และδ-tocopherols และสารละลายมาตรฐาน α, β, γ และδ-tocotrienols ยี่ห้อ supelco สารละลายที่ใช้ hexane ทำการวิเคราะห์ด้วยระบบ mobile phase : hexane : 2-propanol

สภาวะการทดลอง

Condition การทดสอบ

UV-detector 292 nm.

HPLC mobile phase-propan-2-ol in in hexane (0.5:99:5,v/v)

Flow rate 1 ml/min

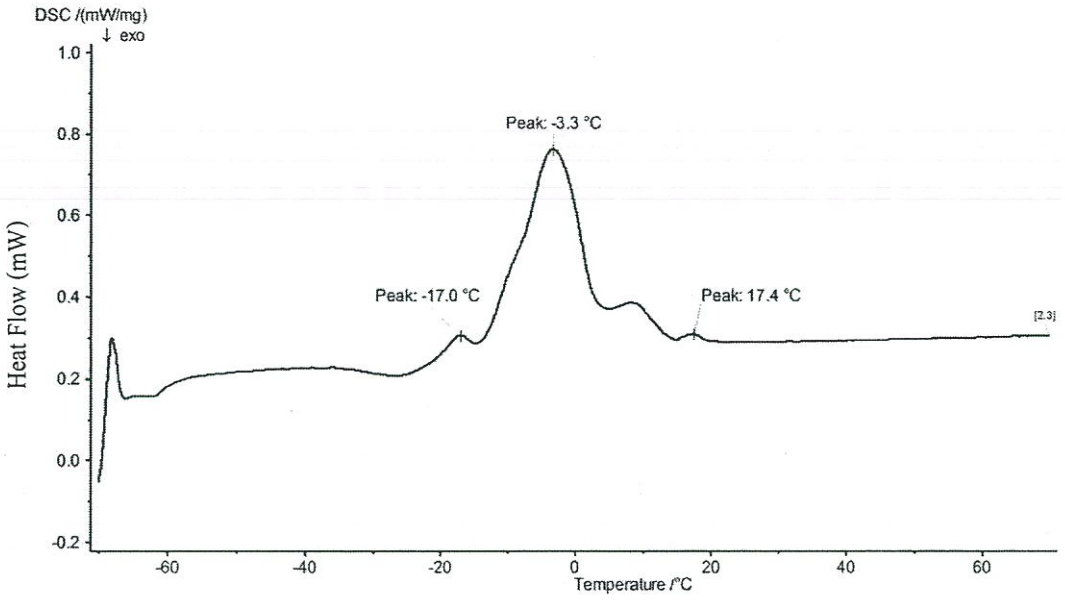
Injection volume : 20 μl.

สูตรการคำนวณ (mg/kg) $\frac{\text{amount x dilution}}{\text{Weight}}$

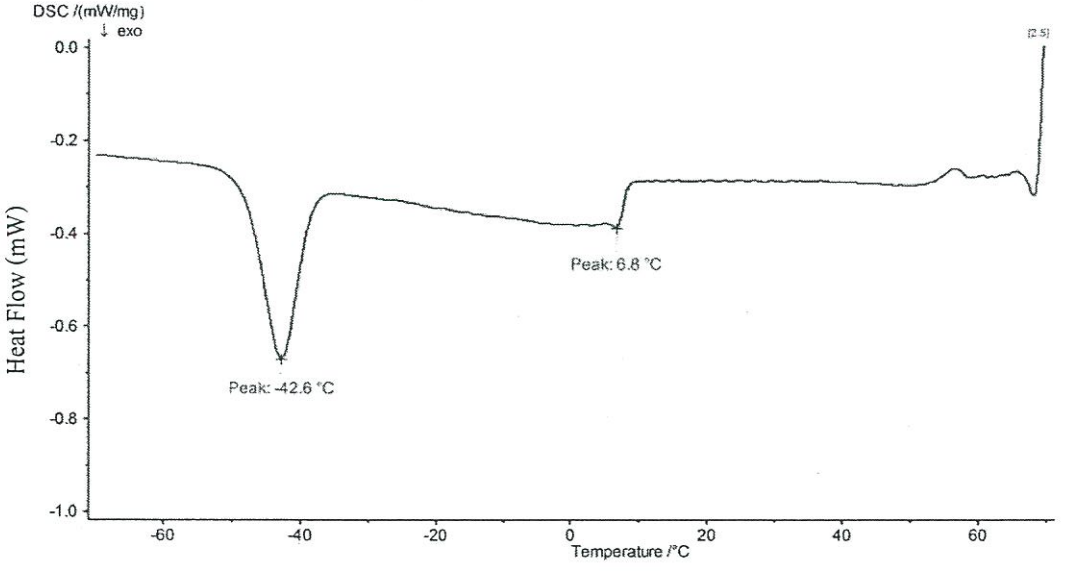
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างเทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน (Thermal behavior)

1. สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้จากวิธีการ Cold screw press (CSP)

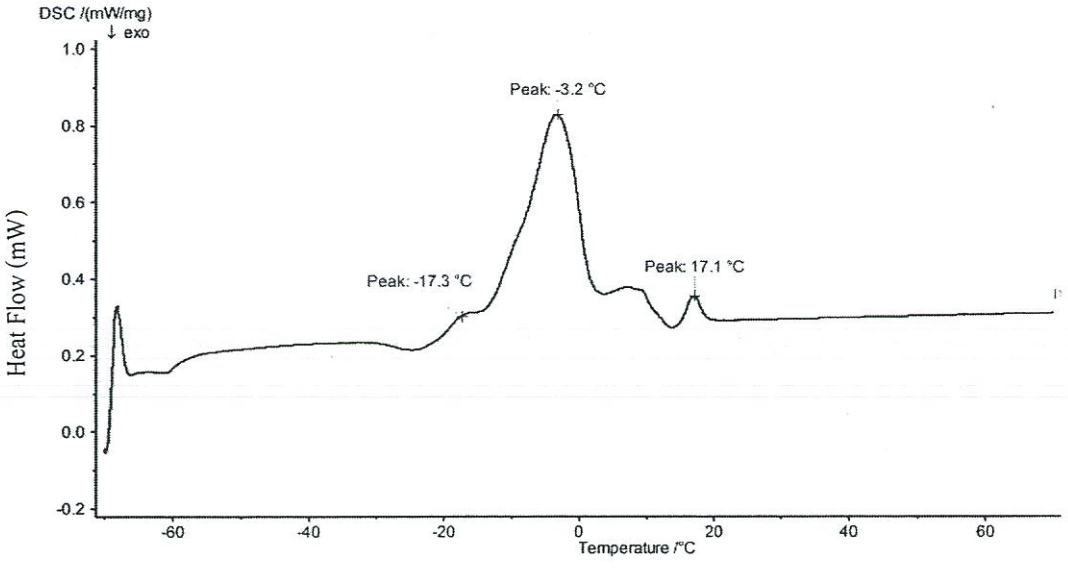


ภาพที่ ข -1 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมัน

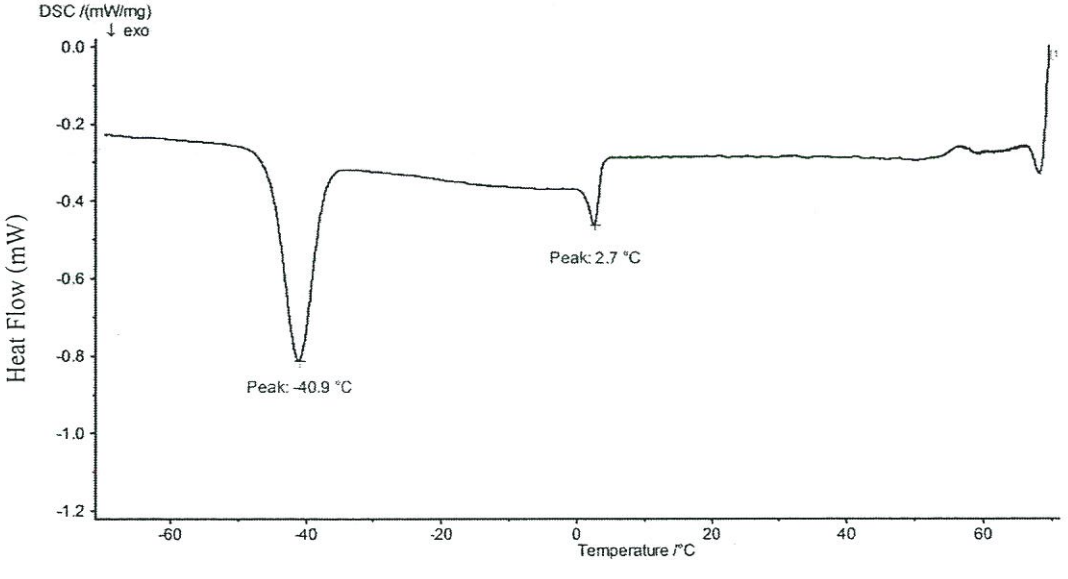


ภาพที่ ข -2 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมัน

2. สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้จากวิธีการ Soxhlet extraction (SE)

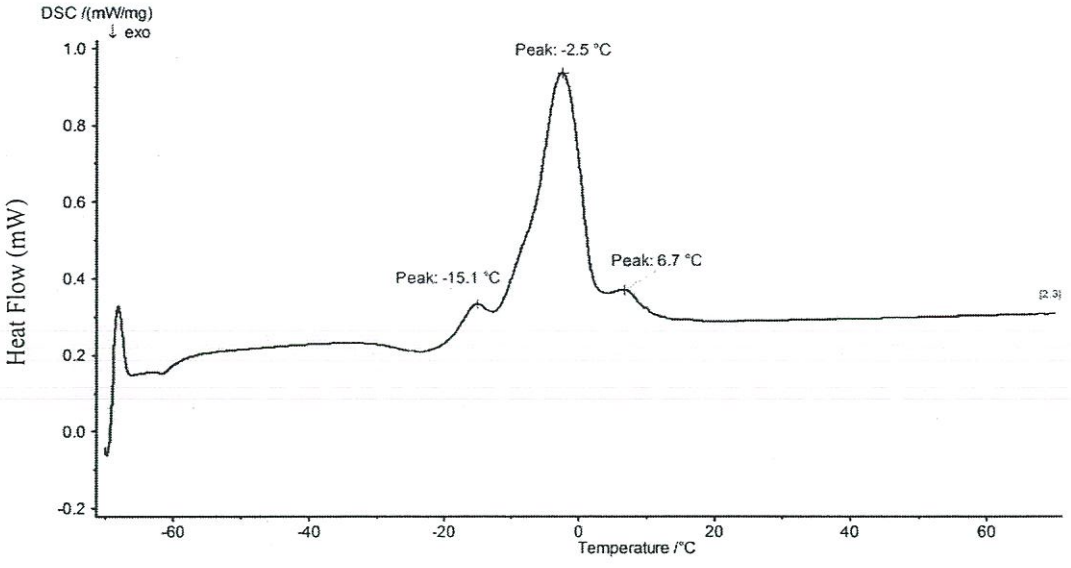


ภาพที่ ข -3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมัน

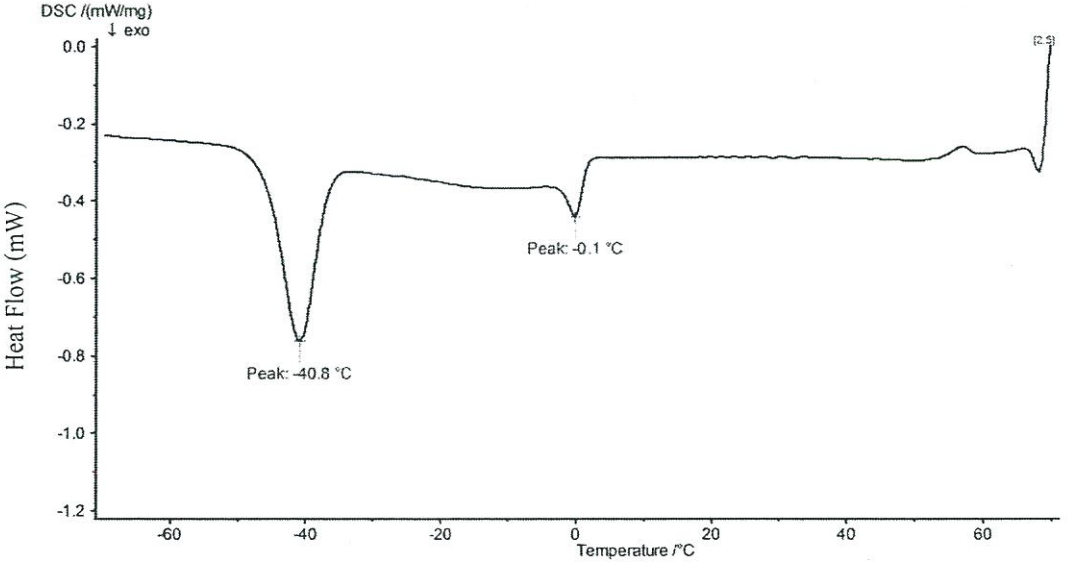


ภาพที่ ข -4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมัน

3. สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่สกัดได้จากวิธีการ Cold solvent extraction (CSE)



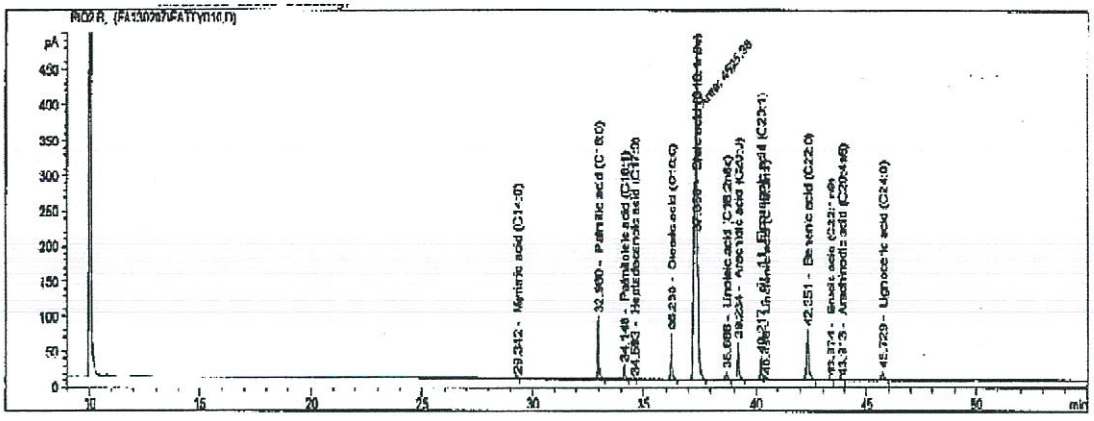
ภาพที่ ข -5 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมัน



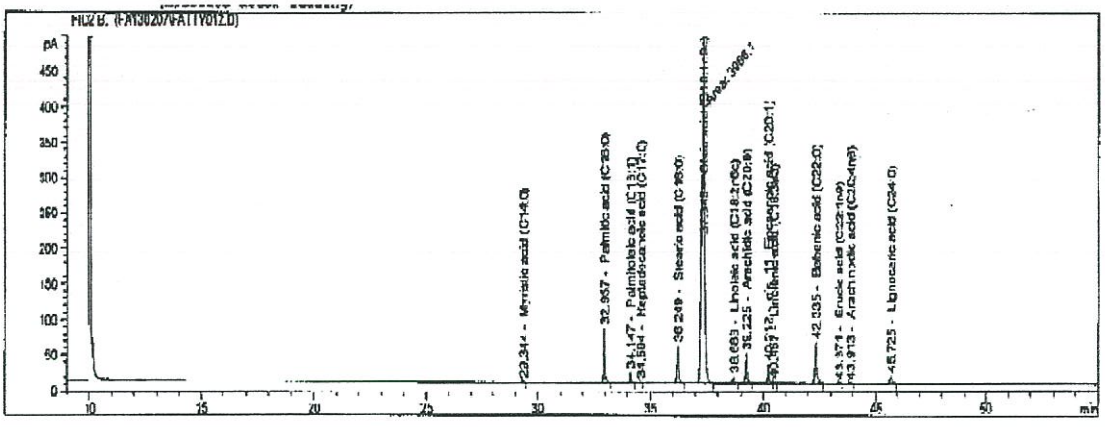
ภาพที่ ข -6 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมัน

ภาคผนวก ค

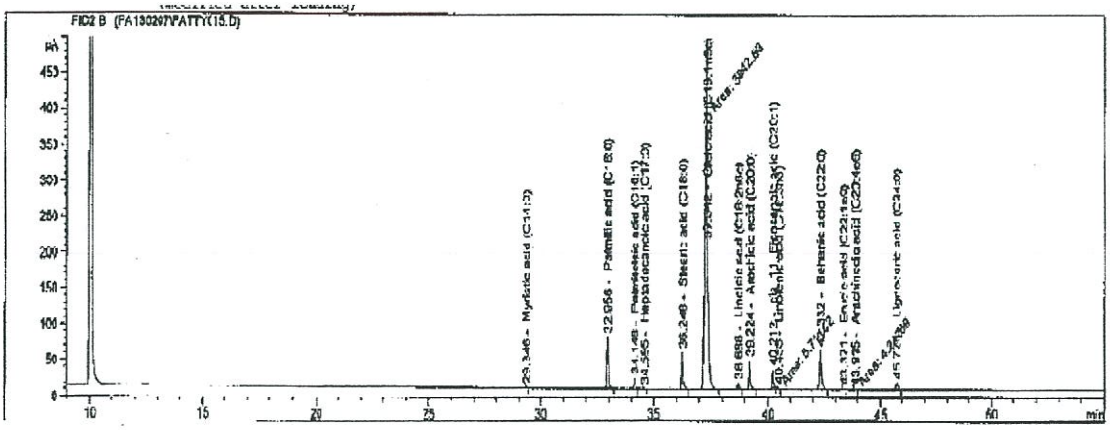
ภาพตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์กรดไขมันด้วยวิธี GC



ภาพที่ ค -1 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีCSP

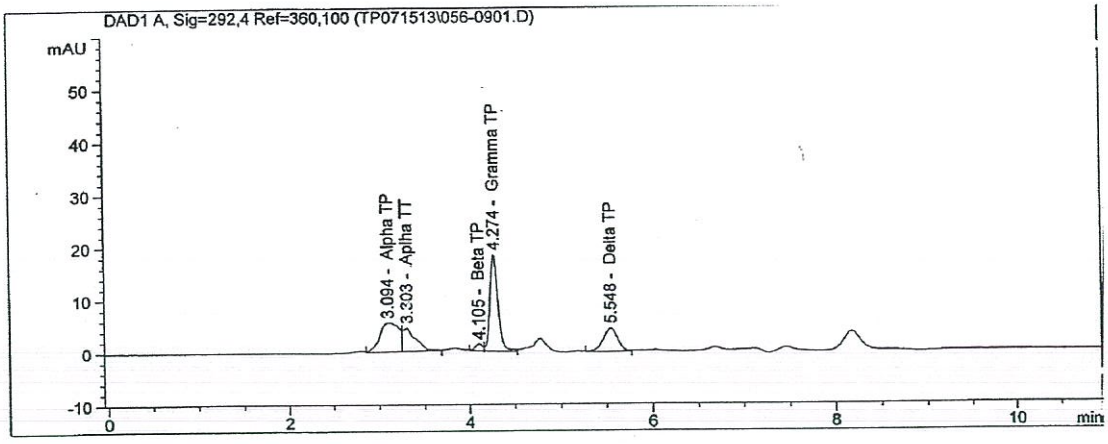


ภาพที่ ค -2 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีSE

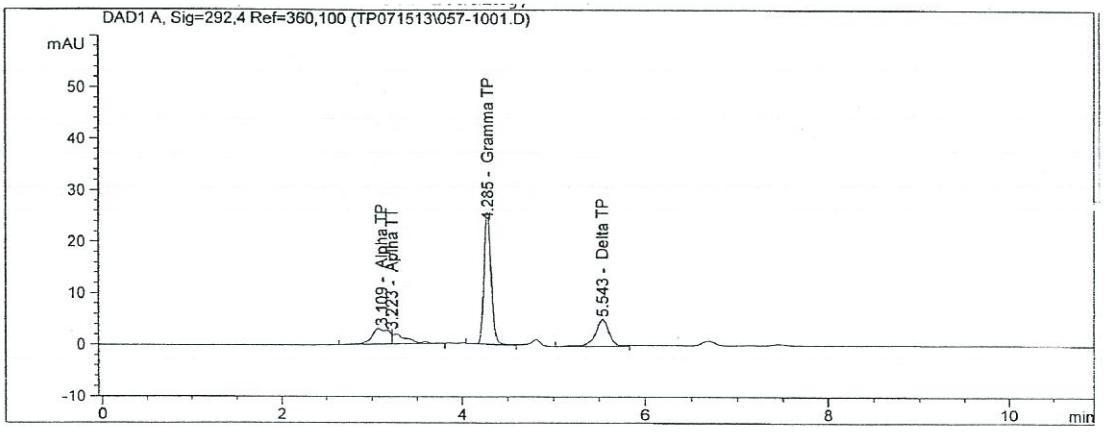


ภาพที่ ค -3 โคมาโตแกรมของชนิดกรดไขมันที่สกัดได้จากวิธีCSE

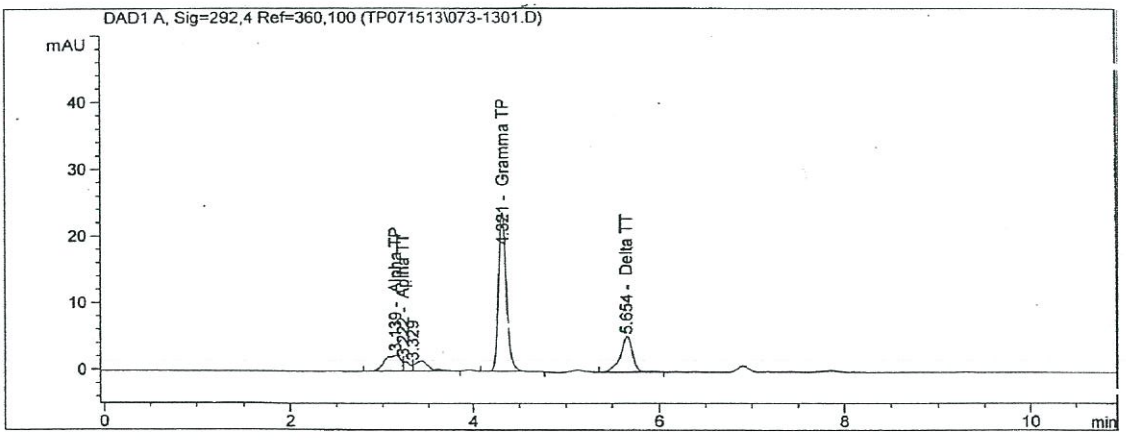
ภาพตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์โทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลด้วยวิธี HPLC



ภาพที่ ค -4 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีCSP



ภาพที่ ค -5 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีSE



ภาพที่ ค -6 โคมาโตแกรมของชนิดโทคอลส์ที่สกัดได้จากวิธีCSE

ภาคผนวก ง

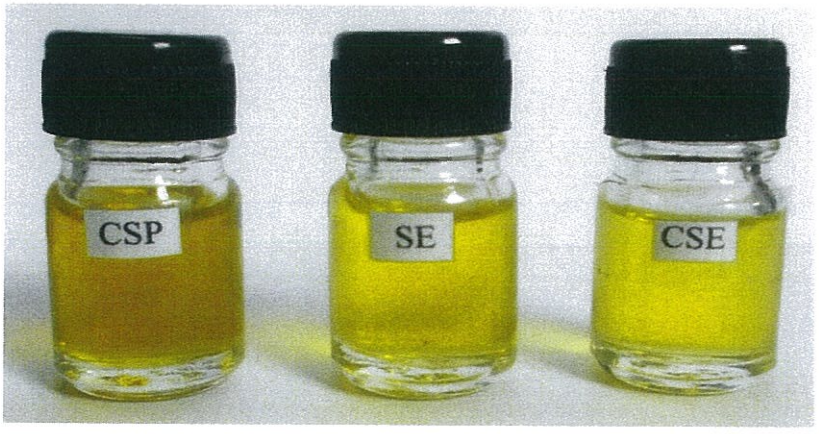
ภาพการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม

ภาพที่ ง-1 เครื่องสกรูเพส

ภาพที่ ง-2 การสกัดน้ำมันแบบบีบอัด (CSP)

ภาพที่ ง-3 การสกัดน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet (SE)

ภาพที่ ง-4 การสกัดน้ำมันด้วยวิธีแช่สารละลาย (CSE)



ภาพที่ ง-5 ลักษณะและสีของน้ำมันเมล็ดมะรุมที่ได้จากการสกัดที่แตกต่าง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล : นางสาวประทุมพร ชาติไทย

วันเดือนปีเกิด : 15 กันยายน 2529

ที่อยู่ : 77/1 หมู่ 10 ต. ทุ่งหลวง อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี70140

โทรศัพท์ : 087-1525158 E-mail : p_chatthai@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2548 – 2551 : วิทยาศาสตร์บัณฑิต อุตสาหกรรมประมง สาขาเทคโนโลยีประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

2552 - 2553 : ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาชีพครู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

2554 – 2556 : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์การอาหาร สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงาน

2552 – 2553 : ครูสอนวิทยาศาสตร์ประถมศึกษา โรงเรียนปัญญาศักดิ์บางบอน เขตบางบอน กรุงเทพมหานคร และ ครูสอนวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษา โรงเรียนวัดสันติการามวิทยา ต.ทุ่งหลวง อ. ปากท่อ จ.ราชบุรี

2553 – 2554 : พนักงานบริษัทเอกชน ตำแหน่ง Supervisor production บริษัท แปรซิฟิคมารีนฟู้ด โปรดักส์ จำกัด ต. โคกขาม อ.เมือง จ. สมุทรสาคร

ผลงานวิจัยที่นำเสนอ

ประทุมพร ชาติไทย และพอใจถามากร. 2556 : Characteristics of *Moringa Oleifera* seed oil from different extraction methods. Food Innovation Asia Conference 2013 ระหว่างวันที่ 13- 14 มิถุนายน 2556 ณ ศูนย์ประชุม ไบเทคบางนา กรุงเทพฯ