

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยการสกัดแบบแช่และการสกัด
ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

Study on papaya seed oil maceration and ultrasound-assisted extraction
by response surface methodology



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-277

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยการสกัดแบบแช่และการสกัด
ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

Study on papaya seed oil maceration and ultrasound-assisted extraction
by response surface methodology



T148020

หญิงฤทัย หนูนยศ

NUENGRUETHAI NOONYOS

สาขาหมู่.....
เลขทะเบียน 148020
วันเดือนปี 9 ต.ค. 2560

b. 00266571
l.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-277

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study on papaya seed oil maceration and ultrasound-assisted extraction
by response surface methodology**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2017

KMITL-2017-AI-M-053-277

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยการสกัดแบบแช่และการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

STUDY ON PAPAYA SEED OIL MACERATION AND ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

ชื่อนักศึกษา

นางสาวหนึ่งฤทัย หนูนยศ

รหัสประจำตัว

59608035

ปริญญา

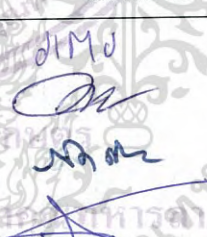
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ระจิตร์ สุวพานิช

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.ระจิตร์ สุวพานิช ผศ.ดร.พอใจ ถามากร ดร.กิตติชัย บรรจง รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 14 กรกฎาคม 2560 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 24 เดือน กค พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยการสกัดแบบแช่และการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง
นักศึกษา	นางสาวหนึ่งฤทัย หนูนยศ
รหัสประจำตัว	59608035
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ระจิตร สุวพานิช

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) และเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณภาพน้ำมัน,ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสมบัติทางความร้อน วิธีการสกัดที่ศึกษา ได้แก่ วิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML) , การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH) , การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) จากการทดลองพบว่าวิธีการสกัดแบบ ME ที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด ได้แก่ ที่สภาวะ 64.82°C เป็นเวลา 11 ชั่วโมง สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ส่วนวิธีการสกัดแบบ UAE ได้แก่ ที่สภาวะ 40°C เป็นเวลา 24 นาที สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยให้ปริมาณน้ำมัน 28.07±0.72 และ 28.54±0.61% หรือร้อยละ 95.67±2.45 และ 97.27± 2.08 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ตามลำดับ ผลจากการทดสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้น พบว่าสมการของการสกัดแบบ ME และ UAE มีความเที่ยงตรง $R^2 = 0.979$ และ 0.894 ตามลำดับ และ $MSE = 1.29$ และ 2.25 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของน้ำมัน พบว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการสกัดแบบ UAE ให้น้ำมันคุณภาพดีที่สุดในทางกลับกัน วิธีการสกัดที่

แตกต่างกันไม่มีผลต่อ Iodine value อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยจะถือว่าผิดกฎหมายและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระ วิธีการสกัดแบบ RE ให้น้ำมันที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermal behavior) ของน้ำมันสกัดที่สภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัดแบบ ME และ UAE พบว่าอุณหภูมิ Onset, Peak height และ Offset ของ Melting point อยู่ในช่วง-13.00 ถึง-12.52 , -7.54 ถึง -3.79 และ 0.77 ถึง 5.96°C ตามลำดับ และอุณหภูมิการเกิดผลึก อยู่ในช่วง -39.25 ถึง -38.37°C ตามลำดับ จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเป็นวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด สามารถลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด โดยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันที่สกัดได้เพียงเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Study on papaya seed oil maceration and ultrasound-assisted extraction by response surface methodology
Student	Miss Nuengruethai Noonyos
Student ID	59608035
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Rachit Suwapanich

ABSTRACT

The optimization of maceration (ME) and ultrasound-assisted extraction (UAE) on the yield of papaya seed oil were conducted by response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD). The independent variables were temperature, time and sample to hexane ratio. The results indicated that the optimum ME was set at 64.82 °C for 11 hours using a sample to hexane ratio of 2 g/100 ml and the optimum UAE was set at 40 °C, 24 minutes and 2 g/100 ml. At those optimum, ME and UAE provided oil recovery of 28.07±0.72 and 28.54±0.61% or 95.67±2.45 and 97.27± 2.08 % of total oil content, respectively. The experimental values were well agreed with the values predicted by the proposed ME and UAE models with $R^2 = 0.979$ and 0.894 , respectively and the mean square of error (MSE) were 1.29 and 2.25, respectively. The different extraction method affected the quality and the antioxidant activity of recovery oil significantly ($p \leq 0.05$) which UAE provided the best quality. In another hand, extraction method were not significantly affected on iodine value ($p > 0.05$). Regarding antioxidant activity, RE provided the oil which highest of antioxidant activity. In term of thermal and crystallization behaviors. The result showed that the melting of papaya seed oil started from -13.00 to -12.52 °C (T_{on}). The peak point were between -7.54 to -3.79 °C (T_p) while T offset were between 0.77 to 5.96 °C. Crystallization point of ME and UAE were between -39.25 to -

38.37 °C. This research result show that UAE was the most effective method to extract oil from

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

papaya seed. This method UAE can reduce extraction temperature and extraction time. Moreover, the effect of UAE on oil quality and antioxidant activity was less than MH and RE.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง และ ดร. ระจิตร์ สุวพานิช ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาถ่ายทอดความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ตลอดจนเสียสละเวลาอันมีค่าสำหรับการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. พอใจ ถามากร, รศ.ดร. ระติพร มูลสาร, ดร. ระจิตร์ สุวพานิช และ ดร. กิตติชัย บรรจง เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และวิชาการต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้ จนกระทั่งประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและการสนับสนุนช่วยเหลือในระหว่างการเรียนรู้ การวิจัยตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณร้านขายผลไม้ตัดแต่ง ตลาดนัดสุวรรณภูมิที่อนุเคราะห์วัตถุดิบซึ่งได้แก่เมล็ดมะละกอ ในการศึกษารุ่นนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานและเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

ความดีความชอบนี้ผู้เขียนขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากปราศจากความช่วยเหลืออันดีจากผู้มีพระคุณทั้งหลาย รูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ และผู้เขียนขอขอบคุณผู้แต่งและวิทยานิพนธ์ที่ข้าพเจ้านำมาอ้างอิงดังกล่าวเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

หนึ่งฤทัย หนูนยศ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญภาพ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เมล็ดมะละกอ.....	4
2.2 น้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	6
2.3 การสกัด.....	9
2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	9
2.3.2 การสกัดแบบรีฟลักซ์.....	10
2.3.3 การสกัดแบบซอห์กเลต.....	11
2.3.4 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	12
2.4 การสกัดน้ำมันโดยตัวทำละลาย.....	14
2.5 สมบัติทางเคมีของน้ำมัน.....	15
2.5.1 ค่าเอชดี.....	15
2.5.2 ค่าเพอร์ออกไซด์.....	15
2.5.3 ค่าไอโอดีน.....	15
2.6 อนุพลีอิสระ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	16
2.8 ปฏิกริยาออกซิเดชันของลิพิด.....	18
2.9 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	20
2.9.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ.....	20
2.9.2 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ.....	20
2.10 พื้นผิวตอบสนอง.....	21
2.11 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1 วัตถุประสงค์.....	31
3.2 สารเคมี.....	31
3.3 เครื่องมือ.....	32
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	32
3.4.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดมะละกอ.....	32
3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ.....	33
3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ.....	33
3.4.3.1 การสกัดแบบแช่.....	34
3.4.3.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	35
3.4.4 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ.....	35
3.4.4.1 สมการการสกัดแบบแช่.....	36
3.4.4.2 สมการการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	36
3.4.5 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน.....	37
3.4.5.1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน.....	37
3.4.5.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัน.....	38
3.4.5.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	40
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเมล็ดมะละกอ.....	40
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ.....	41
4.2.1 การสกัดแบบแช่.....	41
4.2.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	45
4.3 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ.....	48
4.3.1 การสกัดแบบแช่.....	49
4.3.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด.....	49
4.4 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด.....	51
4.5 ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	52
4.6 ผลของวิธีการสกัดต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	55
4.7 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	60
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก	
ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ.....	69
ข. วิธีการสกัด.....	78
ค. การคำนวณปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดน้ำมัน.....	80
ง. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพื้นที่ผิวตอบสนอง.....	82
จ. การทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ.....	85
ฉ. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน.....	87
ช. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัน.....	91
ซ. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของน้ำมัน.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้เขียน 105



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอสุก.....	4
2.2 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุก.....	4
2.3 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุก.....	5
2.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	6
2.5 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	7
2.6 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะกอก.....	7
2.7 เปรียบเทียบผลตอบรับจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน.....	24
2.8 น้ำหนักตัวและสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	25
2.9 เมแทบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงของสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	26
2.10 น้ำมันพืชจากแหล่งที่มาต่างๆ.....	28
2.11 ผลของอัตราส่วนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	29
3.1 ช่วงของปัจจัยของการสกัดแบบ ME ที่ใช้ในแผนการทดลองแบบ CCD.....	34
3.2 ช่วงของปัจจัยของการสกัดแบบ UAE ที่ใช้ในแผนการทดลองแบบ CCD.....	35
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบ ME.....	36
3.4 สภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบ UAE.....	37
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดมะละกอสุก.....	40
4.2 ผลตอบรับของการสกัดแบบ ME.....	43
4.3 ผลตอบรับของการสกัดแบบ UAE.....	45
4.4 ปริมาณน้ำมันตอบรับของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ ME.....	50
4.5 ปริมาณน้ำมันตอบรับของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ UAE.....	50
4.6 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแบบ ME และ UAE.....	51
4.7 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	53
4.8 ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	55
4.9 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ ME (Quadratic model).....	83
ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ ME (Linear model).....	83
ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ UAE (Quadratic model).....	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 GC analysis ของสารสกัดเมล็ดมะละกอ.....	8
2.2 ส่วนประกอบของ Reflux apparatus.....	11
2.3 โมเดลแสดงการกระจายของปัจจัยด้วยแผนการทดลองแบบ BBD และ CCD.....	22
2.4 กราฟโครงร่าง (contour plot) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (surface plot).....	23
2.5 ลักษณะเฉพาะ 3 แบบ ของกราฟพื้นผิวตอบสนอง (surface plot).....	23
2.6 ผลของวิธีการสกัดแบบ ME และการสกัดแบบ UAE ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จาก flax seed.....	25
2.7 การถดถอยเชิงเส้นของความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ OH.....	27
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ผลผลิตที่ได้จากการสกัดแบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....	29
4.1 กราฟสามมิติแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยในการสกัดของการสกัดแบบ ME.....	44
4.2 กราฟสามมิติแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยในการสกัดของการสกัดแบบ UAE.....	47
4.3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	59
4.4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	59
จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายและค่าจริงของปริมาณน้ำมันในการสกัด.....	86
ช.1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ TPC.....	93
ช.2 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ DPPH.....	96
ช.3 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ ABTS.....	99
ช.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	100
ช.1 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันจากการสกัดแบบ MH.....	102
ช.2 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันจากการสกัดแบบ MH.....	103
ช.3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันจากการสกัดแบบ UAE.....	103
ช.4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันจากการสกัดแบบ UAE.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เมล็ดมะละกอสุกเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร เช่น อุตสาหกรรมตัดแต่งผลไม้สด อุตสาหกรรมซอสพริกและปลากระป๋อง และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น ในมะละกอหนึ่งผลประกอบด้วยส่วนที่รับประทานได้ 46% และเมล็ด 22% (Briones-Labarca และคณะ., 2015) ซึ่งเมล็ดดังกล่าวจัดว่าเป็นแหล่งของสารประกอบทางธรรมชาติต่างๆที่น่าสนใจ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีนคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (Malacrida และคณะ., 2011) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบทางธรรมชาติที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ อาทิ กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Tian และคณะ., 2005) ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะนำของเหลือทิ้งดังกล่าวมาแปรรูปให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าอีกครั้ง จากองค์ประกอบต่างๆดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดการเกิดมลภาวะที่เกิดจากของเหลือทิ้ง วิธีการที่นิยมใช้เพื่อนำสารประกอบทางธรรมชาติดังกล่าวออกมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ วิธีการสกัด โดยการสกัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเป็นวิธีการสกัดทางเลือกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการสกัดดังกล่าวช่วยลดระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัดทำให้สามารถงสารประกอบต่างๆที่ไม่เสถียรไว้ได้และยังสามารถให้ปริมาณผลตอบรับมากกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมจากการเกิด cavitation การทดลองดังกล่าวเป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยประมาณของเมล็ดมะละกอสุก ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยการสร้างพื้นผิวตอบสนองพร้อมทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด และศึกษาว่าวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) มีผลกระทบต่อคุณภาพ (AV, FFA, PV, p-AV และ IV), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (total phenolic, DPPH และ ABTS) และสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้หรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML), การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH) และการสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการและสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงมีผลกระทบในแง่ลบต่อสมบัติทางเคมี, ปริมาณและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้หรือไม่

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอสุกสายพันธุ์ฮอลแลนด์ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองและสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัด โดยปัจจัยในการสกัดที่ต้องการศึกษาคืออุณหภูมิ (ME และ UAE: 31.18-64.82°C) เวลา (ME: 0.95-11.05 ชั่วโมง และ UAE: 4.77-55.23 นาที) และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน (ME และ UAE: 1.59-18.41 กรัม/100 มิลลิลิตร) และตัวแปรที่สนใจได้แก่ปริมาณน้ำมันดอรับที่ได้จากการสกัด ทวนสอบความเที่ยงตรงของสภาวะที่เหมาะสมและสมการที่ได้จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด และศึกษาว่าวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) มีผลกระทบในแง่ลบต่อสมบัติทางเคมี, ปริมาณและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้หรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML), การสกัดแบบแช่อุณหภูมิ 58°C (MH) และการสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำเมล็ดมะละกอซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรมาสกัดเป็นน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง
- 1.4.2 สามารถนำสมการที่ได้มาใช้คำนวณเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสภาวะในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดที่ใช้ระยะเวลาและสารละลายในการสกัดน้อยที่สุดและได้ปริมาณน้ำมันสูงเท่าที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถใช้คำนวณเปรียบเทียบกันได้
- 1.4.3 สามารถยืนยันได้ว่าการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ไม่มีผลกระทบในแง่ลบต่อ

1.4.4 สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาและปริมาณตัวทำละลายน้อย และได้ปริมาณน้ำมันสูง โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เมล็ดมะละกอ

ในมะละกอหนึ่งผลประกอบด้วยเมล็ด 22% เมล็ดมะละกอเกาะติดอยู่กับผนังด้านในของผลมะละกอ ลักษณะเมล็ดหัวท้ายแหลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร มีสีดำหรือสีเทา ผิวเมล็ดเป็นหนามสั้นๆ (spiny seed) มีส่วนที่มีลักษณะคล้ายรูในไสๆ ล้อมรอบอยู่ Malacrida และคณะ (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของเมล็ดมะละกอสุก จากข้อมูลพบว่าเมล็ดมะละกอสุกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันสูง แสดงดังตาราง 2.1 นอกจากนี้ในเมล็ดมะละกอ ยังไปกอบไปด้วยแร่ธาตุและกรดอะมิโนอีกหลายชนิด แสดงดังตาราง 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมล็ดมะละกอประกอบด้วยสารประกอบทางธรรมชาติที่น่าสนใจหลายชนิด เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและแร่ธาตุ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอสุก (Malacrida และคณะ. 2010)

Parameters	Content
Moisture (g 100 g ⁻¹)	6.43 ± 0.12
Protein (g 100 g ⁻¹)	25.63 ± 0.29
Lipid (g 100 g ⁻¹)	29.16 ± 0.88
Ash (g 100 g ⁻¹)	8.27 ± 0.01
Carbohydrate (g 100 g ⁻¹)	30.51

ตารางที่ 2.2 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุก (Dakare และคณะ. 2011)

Element	mg/100g
Calcium (Ca)	53.87 ± 2.11
Sodium (Na)	45.60 ± 0.07
Potassium (K)	18.03 ± 0.67
Magnesium (Mg)	318.1 ± 3.02
Manganese (Mn)	0.780 ± 0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Iron (Fe)	7.08 ± 0.17
Copper (Cu)	2.87 ± 0.07
Zinc (Zn)	3.672 ± 0.08
Nickel (Ni)	0.45 ± 0.02
Lead (Pb)	1.4 ± 0.07
Silver (Ag)	4.9 ± 0.02
Cadmium (Cd)	0.03 ± 0.01
Chromium (Cr)	0.589 ± 0.01

ตารางที่ 2.3 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดมะละกอสุก (Dakare และคณะ. 2011)

Amino Acid	Papaya seed (g/100g protein)
Lysine	4.21
Histidine	2.21
Arginine	6.44
Phenylalanine	3.38
Methionine	1.30
Threonine	2.85
Leucine	7.78
Isoleucine	3.09
Valine	2.25
Aspartic acid	7.05
Glutamic acid	12.39
Serine	3.01
Proline	2.13
Glycine	4.26
Alanine	3.22
Cystine	1.14
Tyrosine	2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันเมล็ดมะละกอ

ในเมล็ดมะละกอแห้งประกอบด้วยน้ำมัน 25-30% มีสีเหลืองส้ม มีความคงตัวต่อการออกซิเดชัน มี phosphatide ต่ำ และมีแคโรทีนอยด์ประกอบอยู่ 10 mg/100g Malacrida และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอดังกล่าว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.4 นอกจากนี้ Syed และคณะ (2012) ยังศึกษากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดมะละกอดังกล่าว พบว่ามี Oleic acid ที่เป็น monounsaturated fatty acid (MUFA) สูงถึง 72.5% แสดงดังตาราง 2.5 ซึ่งสูงพอๆกับน้ำมันมะกอก แสดงดังตาราง 2.6 (Orsavova และคณะ., 2015) โดยมีผู้ศึกษาผลของการรับประทาน Oleic acid ต่อสุขภาพ เช่น งานวิจัยของ Kien และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการรับประทานน้ำมันที่มี Oleic acid สูง ต่อระดับคลอเลสเตอรอลในเลือด จากการทดลองพบว่า การรับประทานน้ำมันที่มี Oleic acid สูง ส่งผลให้ระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดลดลง ซึ่งมีผลทำให้ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจได้ จากการทดลองของ Dakare, Syed และ Kein (Syed และคณะ. 2011 ; Syed และคณะ. 2012 ; Kein และคณะ. 2014) ทำให้ทราบว่าเมล็ดมะละกอเป็นแหล่งไขมันบริโภคจากพืชที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาปริมาณและคุณภาพของน้ำมัน

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (Malacrida และคณะ. 2010)

Characteristics	Values
Refractive index (40°C)	1.4581 ± 0.0001
Iodine value (g L.100g-1)	79.95 ± 1.25
Saponification value (mg KOH.g-1)	96.40 ± 1.37
Unsaponifiable matter (%)	1.35 ± 0.14
Free fatty acids (%)	1.27 ± 0.04
Acid value (mg KOH.g-1)	2.53 ± 0.08
Peroxide value (mEq.Kg-1)	5.37 ± 0.13
Stability oxidative (hours)	77.97 ± 0.89

ตารางที่ 2.5 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดมะละกอ (Syed และคณะ. 2012)

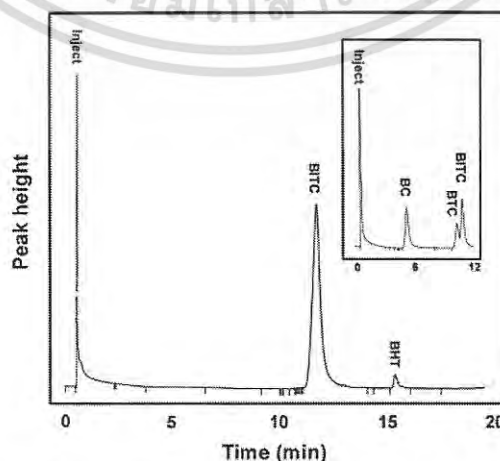
Fatty acid	Determined values
Myristic (C14-0)	0.24
Palmitic (C16-0)	13.5
Palmitoleic (C16-1)	0.21
Stearic (C18-0)	4.5
Oleic (C18-1)	72.5
Linoleic (C18-2)	2.90
Linolenic (18-3)	0.23
Arachidonic (C20-0)	0.39
Eicosenoic	0.28
Behenic (C22:0)	0.23

ตารางที่ 2.6 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะกอก (Orsavova และคณะ. 2015)

Fatty acid	Determined values
Palmitic (c16:0)	16.5
Palmitoleic (c16:1)	7.5-20.0
Stearic (c18:0)	2.3
Oleic (c18:1 n-9)	55.0-83.0
Linoleic (c18:2 n-6)	3.5-21.0
Arachidic (c20:0)	1.01
Eicosenoic (c:20:1)	<0.4
MUFA	68.2
PUFA	18.0
SFA	19.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอส่วนมาก (Puangsri และคณะ 2004 ; Malacrida และคณะ 2010 ; Dakare และคณะ. 2011) ได้แนะนำว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่น่าสนใจในการเป็นน้ำมันเพื่อบริโภค แต่สิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือสารพิษที่ควรมีการศึกษา ก่อนนำน้ำมันเมล็ดมะละกอดังกล่าวมาบริโภคหรือเข้าสู่การค้า โดยสารพิษดังกล่าว ได้แก่ Carpaine (an alkaloid), Carpasemine (ภายหลังระบุว่าเป็น benzyl thiourea โดย Panse และ Paranjpe, 1943) และ Benzyl isothiocyanate (Krishnakumari และ Majumder. 1960 ; Tang. 1971) โดย Benzyl isothiocyanate มีพิษร้ายแรงมากที่สุด (Dar และคณะ., 1965) โดย Benzyl isothiocyanate เกิดจากการทำปฏิกิริยา Glucosinolate (ไม่เป็นพิษ) โดยเอนไซม์ไมโรซิเนส จากงานวิจัยของ Malathi และ Vasugi (2015) พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะละกอสามารถกำจัดลิกนินได้ โดยจากผลการทดลองพบว่า เป็นผลมาจาก flavanoids, tannins, alkaloids, saponins, phenolic compounds และ coumarins ในทางตรงกันข้ามมีงานวิจัยหลายฉบับได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของ BITC ต่อมนุษย์ ซึ่งส่วนมากเป็นผลในแง่บวก เช่น งานวิจัยของ Kermanshai และคณะ (2001) ศึกษาความสามารถในการทำลายปรีติของสารสกัดจากเมล็ดมะละกอ โดยสารสกัดดังกล่าวได้มาจากการสกัดเมล็ดมะละกอโดยไดเอทิล อีเทอร์ จากการทดลองพบว่าสารประกอบตัวหลักๆ ในสารละลายดังกล่าวที่มีความสามารถในการทำลายปรีติ ได้แก่ Benzyl isothiocyanate (BITC) นอกจากความสามารถในการทำลายปรีติแล้ว จากงานวิจัยของ Liu และคณะ (2015) ได้ศึกษาความสามารถของ Benzyl isothiocyanate ในการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านม จากการทดลองพบว่า Benzyl isothiocyanate สามารถยับยั้ง tumorigenesis ของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ โดยจากการศึกษาพบว่า Benzyl isothiocyanate สามารถละลายได้ในไดเอทิล อีเทอร์ ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นในน้ำมันเมล็ดมะละกอจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะมี Benzyl isothiocyanate อยู่ แต่เนื่องจาก BITC ไม่เสถียรต่ออนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าแม้ BITC สามารถถูกสกัดออกมาได้พร้อมการสกัดน้ำมันแต่ในสภาวะการสกัดที่อนุมูลอิสระสูงอาจทำให้ BITC เสื่อมสภาพได้



ภาพที่ 2.1 GC analysis ของสารสกัดเมล็ดมะละกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : Kermanshai และคณะ (2001)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การสกัด

การสกัดเป็นกระบวนการแยกสารประกอบที่ต้องการออกจากสิ่งที่ไม่ต้องการ ในการสกัดของแข็ง-ของเหลว ตัวทำละลายจะต้องแพร่เข้าไปในของแข็งที่อิ่มตัวด้วยตัวทำละลายไปยังเฟสของตัวทำละลาย อัตราการแพร่หาจากระยะเวลาที่ต้องการให้สมดุลเกิดขึ้นระหว่างทั้งสองเฟส ซึ่งระยะเวลาห่างระหว่างกระบวนการแพร่เพื่อให้สมดุลเป็นสัดส่วนกลับกำลังสองของระยะทางการแพร่ ดังนั้นในการสกัดด้วยตัวทำละลาย แม้ว่าขนาดอนุภาคของของแข็งจะมีผลต่ออัตราการสกัด กล่าวคือ ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสหรือ interfacial area มาก ทำให้อัตราการถ่ายเทองค์ประกอบที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้นตาม แต่ในทางกลับกัน กรณีที่อนุภาคเล็กมากจะต้านทานและยับยั้งการหมุนเวียนของตัวทำละลายที่ผ่านชั้นของของแข็ง ทำให้ไม่ช่วยเรื่องการถ่ายเทมวล การสกัดเป็นวิธีพื้นฐานในการสกัด โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สนใจเพื่อใช้ประโยชน์ทางชีววิทยาและทางการแพทย์โดยการทำลายหรือเปิดเซลล์ การรบกวนเซลล์สามารถกระทำได้หลายวิธีโดยวิธีการที่ใช้ขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อ โดยการสกัดสามารถใช้ได้เกือบทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นราก ลำต้น ใบ ผลหรือเมล็ด เนื้อเยื่อที่นุ่มกว่าสามารถรบกวนได้ง่ายกว่า การสกัดจะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ถูกรบกวนแล้ว โดยการสกัดจะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้วิธีการและสารละลายที่เหมาะสม การเลือกตัวทำละลายหรือสารละลายเป็นปัจจัยเบื้องต้นก่อนเริ่มการสกัด ในการเลือกตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดและปัจจัยในการสกัดขึ้นอยู่กับหลายอย่างด้วยกัน เช่น วัตถุประสงค์ของการสกัด, ความมีขี้้วของสารละลายที่สนใจ, สารประกอบที่ไม่พึงประสงค์, ค่าใช้จ่าย, ความสะดวกและความปลอดภัย สิ่งเหล่านี้ล้วนจำเป็นต่อการพิจารณาเพื่อให้ได้ผลตอบรับในการสกัดที่สูงที่สุด วิธีการสกัดมีหลากหลายวิธีด้วยกัน โดยการสกัดแต่วิธีมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสารประกอบที่ต้องการสกัดแตกต่างกัน เช่น ความร้อน ระยะเวลาในการสกัดและความดัน เป็นต้น ส่งผลให้ในการสกัดสารประกอบชนิดเดียวกันในวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ให้สารประกอบที่ได้จากการสกัดที่มีปริมาณหรือฤทธิ์แตกต่างกัน ในปัจจุบันมีวิธีการสกัดหลากหลายวิธีให้เลือกดำเนินการตามความเหมาะสมของสารประกอบที่ต้องการสกัด เครื่องมือหรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน อาทิ การสกัดด้วยตัวทำละลาย, การสกัดแบบรีฟลักซ์และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด เป็นต้น (วรัญญา, 2558)

2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายหรือการสกัดแบบ solvent extraction เป็นกระบวนการแยกสารที่ต้องการออกจากสิ่งที่ไม่ต้องการ โดยการใช้ของเหลวขะสารเคมีออกมา การสกัดแบบ solvent extraction สามารถสกัดได้ทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแล้ว วัตถุประสงค์ที่ต้องการนำมาสกัดมักผ่านการทำแห้งและผสมกับสารละลายหรือตัวทำละลายโดยพิจารณาจากความเป็นขี้้วของสารที่ต้องการเป็นหลัก รวมถึงพิจารณาค่าใช้จ่ายและผลต่อสภาพแวดล้อม หากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปนเปื้อนสารละลายอยู่บ้าง จะต้องใช้สารละลายที่ไม่มีพิษ สารประกอบที่ต้องการและสารละลายที่ผสมกันอยู่เรียกว่า miscella โดย miscella จะถูกแยกออกจากส่วนของพืช การสกัดด้วยตัวทำละลายมีข้อดีคือสามารถดำเนินการสกัดได้ง่าย ไม่ต้องการอุปกรณ์ที่จำเพาะ แต่ข้อเสียของการสกัดด้วยตัวทำละลายคือ ไม่สามารถสกัดสารประกอบจากพืชได้ทั้งหมด โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย จำแนกออกเป็น 5 วิธี ได้แก่ maceration , percolation และ countercurrent

2.3.1.1 การสกัดแบบแช่ขุ่ย (Maceration with solvent) การสกัดแบบแช่ขุ่ย เป็นการสกัดโดยใช้การแช่และการกวนของวัตถุดิบที่ต้องการสกัดและสารละลายร่วมกัน สารละลายจะถูกถ่ายออก คงเหลือไว้แต่ micelle ที่สกัดออกมาจากวัตถุดิบที่ได้จากการกดหรือหมุนเหวี่ยง วิธีการสกัดดังกล่าวไม่สามารถสกัดสารประกอบจากพืชได้ทั้งหมด

2.3.1.2 การสกัดแบบให้ของเหลวไหลผ่าน (Percolation) วิธีการสกัดแบบ percolation กระทำโดยวัตถุดิบจะถูกชุบกับสารละลาย วัตถุดิบจะเกิดการบวมก่อนถูกนำมาบรรจุใน percolation chambers วัตถุดิบจะถูกรดด้วยสารละลายอีกครั้งจนสารประกอบออกมาทั้งหมด สารละลายจะถูกนำกลับมาใช้อีกจนกว่าจะอิ่มตัว สารละลายใหม่จะถูกใช้ในวัตถุดิบจนเกือบสกัดสมบูรณ์ วิธีการสกัดดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบที่สกัดได้เมื่อเทียบกับวิธีการสกัดแบบแช่ขุ่ย

2.3.1.3 การสกัดด้วยน้ำร้อน (Boiling with water หรือ infusion) วิธีการสกัดด้วยน้ำร้อน เป็นกระบวนการสกัดสารเคมีหรือสารประกอบโดยการแช่ตัวอย่างลงในสารละลาย เช่น น้ำ น้ำมันหรือแอลกอฮอล์ โดยตัวอย่างจะถูกแช่ในสารละลายเป็นเวลานานและไหลผ่าน

2.3.1.4 การสกัดด้วยไขมันเย็น (Extraction with cold fat หรือ enfleurage) วิธีการสกัดด้วยไขมันเย็นเป็นวิธีการสกัดสารประกอบที่มีกลิ่นหอมจากพืชโดยใช้ไขมันที่ไม่กลิ่นที่มีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง สกัดสารประกอบที่มีกลิ่นหอมออกมา

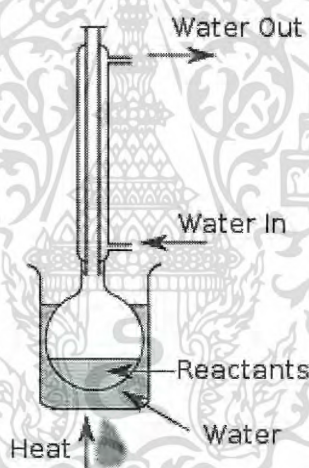
2.3.1.5 การสกัดด้วยไขมันร้อน (Extraction with hot fat) การสกัดด้วยไขมันร้อนเป็นวิธีที่ใช้สกัดสารประกอบที่มีกลิ่นหอม กระทำการสกัดโดยการจุ่มพืชลงยังไขมันร้อนหลายๆครั้ง ไขมันร้อนดังกล่าวจะสกัดกลิ่นหอมของพืชออกมา (วรัญญา, 2558)

2.3.2 การสกัดแบบรีฟลักซ์ (Reflux extraction)

การสกัดแบบรีฟลักซ์เป็นการสกัดที่ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของสารละลายให้สารละลายระเหยแล้วทำการกลั่นกลับมา ภายในคอลัมน์จะมีของเหลวเย็นที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนอุณหภูมิให้สารละลายที่ใช้ในการกลั่นเย็นลงและควบแน่นลงมา ในทางทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดแบบรีฟลักซ์ขึ้นอยู่กับคอลัมน์ที่ใช้แยกวัตถุดิบที่อุณหภูมิยังไม่ถึงจุดเดือดของสารละลายและวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารละลาย ภาชนะจะได้รับอุณหภูมิ

สูงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ โดยวัตถุประสงค์ของการสกัดดังกล่าวเพื่อใช้อุณหภูมิสูงเร่งการสกัดสารประกอบที่มีกลิ่นหอมออกจากพืช ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว การสกัดด้วยวิธีนี้มักใช้กับพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยสูง เช่น ดอกมะลิ ดอกกุหลาบ และดอกอัญชัน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยวิธีนี้มักใช้กับพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยสูง เช่น ดอกมะลิ ดอกกุหลาบ และดอกอัญชัน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยวิธีนี้มักใช้กับพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยสูง เช่น ดอกมะลิ ดอกกุหลาบ และดอกอัญชัน เป็นต้น

ปฏิกิริยา (เช่น ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย) ประโยชน์ของการสกัดแบบรีฟลักซ์คือ สามารถดำเนินงานเป็นระยะเวลาสั้นได้โดยไม่ต้องเติมสารละลายเพิ่มหรือจะไม่เกิดการแห้งของสารละลายขึ้น เนื่องจากไอที่ระเหยจะถูกกลั่นให้เป็นของเหลวโดยทันทีที่ condenser นอกจากนี้สารละลายมักจะได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิที่คงที่ทำให้มั่นใจได้ว่าในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเคี้ยวที่ต่อเนื่องดังกล่าวจะช่วยคงปฏิกิริยาให้เกิดอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการสกัดแบบรีฟลักซ์เป็นวิธีการสกัดที่ดำเนินการในสภาวะอุณหภูมิสูง จึงมีข้อจำกัดในการสกัดสารประกอบที่ไม่เสถียรต่อความร้อน รูปภาพด้านล่างจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของ reflux apparatus การดำเนินงานค่อนข้างจำเป็นที่จะต้องระมัดระวังเมื่อต้องใช้สารละลายที่ไวไฟหรือเกิดประกายไฟได้ง่าย โดยการสกัดดังกล่าวต้องระมัดระวังการใช้ไฟโดยตรง อาจใช้อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแทน



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของ reflux apparatus

ที่มา : King (1980)

2.3.3 การสกัดแบบซอห์กเลต (Sohxlet extraction)

การสกัดแบบซอห์กเลตถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสกัดระหว่างของแข็ง-ของเหลว sohxlet apparatus กลายเป็นอุปกรณ์ที่พบได้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานหรือใช้เป็นวิธีการอ้างอิงสำหรับการสกัดแบบของแข็ง-ของเหลว (ISO 659-1988) การสกัดแบบซอห์กเลตยังมีข้อเสียบางอย่าง เช่น การใช้ระยะเวลาดำเนินงานมาก, ความเข้มข้นที่จำเป็นในตอนท้ายของการสกัดและ thermolabile ที่ไม่เพียงพอแก่การวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (Ultrasound-assisted extraction)

การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูง, คลื่นอัลตราซาวนด์หรืออัลตราโซนิกส์ หมายถึงการสกัดที่ประยุกต์ใช้คลื่นเสียงหรืออัลตราโซนิกในช่วงความถี่ดังกล่าวซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินมาเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ในปัจจุบันอัลตราโซนิกส์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหารอย่างหลากหลาย โดยสามารถแบ่งออกได้สองประเภท ได้แก่

- การใช้อัลตราโซนิกส์กำลังต่ำและความถี่สูง (low power and high frequency) ความถี่ที่ใช้ในช่วง 5-10 MHz และให้พลังงานเสียงอยู่ในระดับ 100 mW/cm^2 - 1 mW/cm^2 ซึ่งใช้ในด้านการวิเคราะห์ (diagnostic ultrasound) เป็นส่วนใหญ่

- การใช้อัลตราโซนิกกำลังสูงและความถี่ต่ำ (high power and low frequencies) หรือที่เรียกว่า power ultrasonic ความถี่ที่ใช้ในช่วง 20-100 kHz และให้พลังงานเสียงอยู่ในระดับ 10 - 1000 W/cm^2 ลักษณะเครื่องผลิตดังกล่าวเป็นแบบ probe (Baumann และคณะ, 2005) มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

ในการประยุกต์อัลตราโซนิกส์เพื่อสกัดเนื้อเยื่อพืช จะใช้คลื่นอัลตราซาวนด์ความถี่ต่ำ (low frequency ultrasound) ช่วง 20-100 kHz ช่วยในการสกัด การสกัดจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ กระบวนการแพร่ผ่านผนังเซลล์ของตัวทำละลายและการชะสารที่ต้องการออกจากเซลล์เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายลง ส่วนการสกัดพืชแห้งจะเพิ่มอีกหนึ่งกระบวนการ คือ กระบวนการดูดน้ำกลับ (Hydration and swelling) โดยอัลตราซาวนด์จะช่วยให้ swelling index สูงขึ้น อัลตราซาวนด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวโดยการเกิด cavitation โดย cavitation เกิดมาจากคลื่นที่ประกอบด้วยช่วงอัดและขยาย ในช่วงขยายภายในตัวกลางที่ยืดหยุ่นจะเกิดโพรงอากาศเล็กๆขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงอัดของคลื่นโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงขยายดังกล่าวจะแตกออก ทำให้เกิด microjet ทำลายผนังเซลล์ทำให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะสารสำคัญออกจากเซลล์ที่ถูกทำลายได้มากขึ้น การสกัดโดยวิธีอัลตราซาวนด์ช่วยสกัด มี 3 รูปแบบ คือ

1. การสกัดทางอ้อมโดยอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านคลื่น เช่น น้ำ
2. การสกัดโดยตรงแบบใช้ ultrasound horn หรือ probe เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น
3. การสกัดโดยตรงแบบให้แหล่งกำเนิดคลื่นติดกับถังสกัด (สุเมธ, 2555)

อัลตราซาวนด์มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการรบกวนเซลล์ (lysis) หรือการสลายตัวของผนังเซลล์ (Allinger และคณะ, 1975) เมื่อเกิด Sonication ในของเหลวที่มีความหนาแน่นสูง คลื่นเสียงที่แพร่อยู่ในของเหลวตัวกลางจะส่งผลให้เกิดการบีบอัด (เมื่อแรงดันสูง) และขยาย (เมื่อแรงดันต่ำ) เป็นวัฏจักร โดยระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับความถี่ ในระหว่างช่วงความดันต่ำคลื่นอัลตราซาวนด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะสร้างโพรงอากาศที่เป็นสุญญากาศเล็กๆหรือเกิดช่องว่างขึ้นในของเหลว เมื่อโพรงอากาศขยายตัวถึงจุดที่ไม่สามารถรับพลังงานเพิ่มขึ้นอีกได้ โพรงอากาศดังกล่าวจะเกิดการแตกตัว

หรือเกิดการยุบอย่างรุนแรงในระหว่างสภาวะความดันสูง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการเกิดคาโพหรือเกิดการยุบอย่างรุนแรงในระหว่างสภาวะความดันสูง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการเกิดคาโพไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cavitation หรือการเกิดโพรงอากาศ ในระหว่างการระเบิดของฟองอากาศในสภาวะอุณหภูมิสูง (~ 5,000 K) และความดัน (~ 2,000 atm) จะเกิดขึ้นตามมา การระเบิดของฟองอากาศยังส่งผลต่อการสูญเสียของเหลวได้สูงถึง 280 m/s ผลของการเกิดแรงกลเหมือนจะไปทำลายเซลล์และปรับปรุงการถ่ายโอนของสารละลายสู่ตัวอย่าง ความสามารถของอัลตราซาวด์ในการทำลายหรือก่อให้เกิดผลต่อเซลล์ขึ้นกับตัวแปรของ Sonication ที่ใช้ โดยทั่วไปอัลตราซาวด์สามารถนำไปสู่การเจาะของ cell membrane (Mummery และคณะ, 1978) และสามารถลดความสามารถในการเลือกผ่านของผนังเซลล์ ผลทางกลของอัลตราซาวด์ช่วยสนับสนุนการแพร่กระจายของสารละลายหรือตัวทำละลายสู่เนื้อเยื่อ นอกจากนี้อัลตราซาวด์ยังทำลายผนังเซลล์โดยแรงกลของ cavitation ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกต่อการถ่ายโอนสารประกอบจากเซลล์สู่สารละลาย นอกจากนี้ cavitation ที่เกิดจากอัลตราซาวด์ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในบริเวณที่สัมผัสกันระหว่างส่วนของของแข็งและส่วนของของเหลว (Kim และคณะ, 1989) ในการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการสกัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืชและเมล็ดทำให้การสกัดเกิดขึ้นได้ได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การยับยั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ (preservation) เป็นความสามารถอีกอย่างหนึ่งของอัลตราซาวด์ในกระบวนการผลิตอาหาร ปัจจุบัน การ preservation โดยการใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น (Pasteurization) ยังคงเป็นวิธีที่พบได้มากที่สุดในการยับยั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ซึ่งนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น แต่เนื่องจากการสัมผัสอุณหภูมิสูงก็มีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การเกิดสารประกอบใหม่จากความร้อนและการเกิดการเปลี่ยนแปลงของ macromolecules ซึ่งอาจนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพลดลง ดังนั้นการใช้ความร้อนจึงสามารถเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ทางประสาทสัมผัส เช่น รสชาติ สี กลิ่นและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินและโปรตีน อัลตราซาวด์เป็นวิธีการทางเลือกที่ปราศจากความร้อน (ใช้ความร้อนเล็กน้อย) ความร้อนจะถูกสร้างจากการเกิด cavitation และการเกิดอนุมูลอิสระสามารถนำไปสู่การยับยั้งเอนไซม์โดยการเกิด sonication (El'piner, 1964) การใช้ sonication ในระดับต่ำ โครงสร้างและ metabolites จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ก่อให้เกิดการทำลาย ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ peroxidase ที่พบในวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการ blanching ที่อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และสีน้ำตาล สามารถลดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวได้โดยการใช้อัลตราซาวด์ นอกจากนี้เอนไซม์ที่ทนร้อน เช่น lipase และ protease สามารถถูกยับยั้งแบบมีประสิทธิภาพได้โดยการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับความดัน นอกจากนี้อัลตราซาวด์ยังมีความสามารถในการทำลาย food-borne pathogens เช่น *E.coli*, *Salmonellae*, *Ascaris*, *Giardia*, *Cryptosporidium cysts* และ *Pliovirus* การประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์เพื่อต้านจุลินทรีย์มักดำเนินการร่วมกับอุณหภูมิและความดัน เช่น

- thermo-sonication (ความร้อนและอัลตราซาวด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งmano-sonication (ความดันและอัลตราซาวด์) เอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- mano-thermo-sonicator (ความดัน, ความร้อนและอัลตราซาวด์)

2.4 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

การสกัดไขมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการที่นิยมมาก โดยตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ hexane, carbon disulfide และ diethyl ether เป็นต้น โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ hexane เมื่อทำการสกัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะแยก miscella กับกากออกโดยการกรอง โดย miscella ที่กรองได้จะนำไประเหยที่ความดันต่ำ โดยต้องใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด หากใช้อุณหภูมิสูงจะเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้ม โดยน้ำมันที่ได้จะเรียกว่า crude oil ที่มักมีสารประกอบต่างๆปนอยู่มาก ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป ในการสกัดแบบใช้ตัวทำละลายไม่เหมาะกับไขมันที่มีกลิ่นหอม เนื่องจากช่วงระเหยสารละลายจะทำให้สารระเหยที่ให้ความหอมดังกล่าวสูญเสียไป นอกจากนี้วิธีการสกัดแบบใช้สารละลายยังไม่เหมาะกับไขมันสัตว์เนื่องจากองค์ประกอบที่ซับซ้อนและแข็งแรงของเนื้อเยื่อสัตว์ โดยไขมันสัตว์มักใช้วิธีการเจียวและบีบแทน (วรัญญา, 2558)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมันและน้ำมัน ได้แก่

- ปริมาณของตัวทำละลาย ยิ่งใช้ตัวทำละลายมาก จะยิ่งทำให้สกัดออกมาได้มาก แต่การใช้ตัวทำละลายมากจะต้องใช้ระยะเวลาในการระเหยเอาตัวทำละลายออกนาน ทำให้สูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปมากขึ้น
- ชนิดของตัวทำละลาย ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัตถุดิบที่ต้องการสกัด และสารละลายดังกล่าวต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ hexane
- อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด การสกัดด้วยตัวทำละลายต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60°C เพื่อช่วยให้น้ำมันละลายออกมาจากวัตถุดิบได้ง่ายขึ้น
- ความหนาแน่นของแผ่นวัตถุดิบอัด เช่น ในน้ำมันพืช เมล็ดพืชจะถูกบดให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆและอัดเป็นแผ่น แล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมเข้าไปสัมผัสกับแผ่นเมล็ดพืชอัด ถ้าเมล็ดพืชที่ถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปได้ยาก
- ความชื้นของเมล็ดพืช ควรมีความชื้นไม่เกิน 10% และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นอยู่ เพราะจะทำให้สกัดน้ำมันออกได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลาที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด (นิธิยา, 2548)

2.5 สมบัติทางเคมีของน้ำมัน

2.5.1 ค่ากรดหรือฟรีแฟตตี้ (Acid value , A.V. หรือ Free Fatty Acid , FFA)

เป็นการตรวจสอบการสลายตัวและการหืนของไขมันและน้ำมัน Acid value ของไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม เป็นกลางพอดี ผลการทดลองอาจจะนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระก็ได้ ค่า Acid value ที่วิเคราะห์ได้ใช้เป็นตัวบ่งบอกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า A.V. สูง แสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่ามี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมันนั้น โดยความร้อนและแสงช่วยเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น

2.5.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value , P.V.)

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัด degree of lipid oxidation โดยการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด Oxidation rancidity เป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด oxidation rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้ชี้บ่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน เพราะเปอร์ออกไซด์เป็นอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.5.3 ค่าไอโอดีน (Iodine number , I.N. หรือ Iodine value , I.V.)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อชี้บ่งจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ผสมรวมกันอยู่ในไขมันหรือน้ำมันตัวอย่าง ค่าไอโอดีนของไขมันหรือน้ำมันใดๆ คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึมโดยไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม (นิธิยา, 2548)

2.6 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (radical หรือ free radical) คือ อะตอม โมเลกุลหรือไอออนซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวหรือการจัดเรียงเป็นเชลล์เปิด (open shell) อนุมูลอิสระอาจมีประจุเป็นบวก ลบหรือเป็นศูนย์ก็ได้ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหล่านี้ทำให้อนุมูลอิสระว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการสันดาปเคมีบรรยากาศ พอลิเมอร์ไรเซชัน เคมีพลาสมาชีวเคมีและกระบวนการทางเคมีอีกหลายอย่างในสิ่งมีชีวิต ซูเปอร์ออกไซด์ ไนตริกออกไซด์และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยามีผลต่อการควบคุมหลายกระบวนการในร่างกาย เช่น ควบคุมการบีบตัวของหลอดเลือด ซึ่งควบคุมความดันโลหิตอีกต่อหนึ่ง นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังมีบทบาทสำคัญในเมแทบอลิซึมตัวกลางของสารประกอบทางชีวภาพหลายชนิด อนุมูลอิสระเกิดขึ้นเป็นปกติจากปฏิกิริยาในร่างกายอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์ โครเมียม นิเกิล น้อย มักเกิดเป็นปฏิกิริยาถูกใช้ โดยร่างกายจะมีระบบกำจัดอนุมูลอิสระ แต่หากร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระจากภายนอก เช่น ได้รับจากอาหารบางชนิดจากกระบวนการประกอบอาหาร เช่น การย่างเนื้อสัตว์ที่มีไขมันประกอบสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง ๆ มาใช้อีก หรือจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงอาทิตย์ซึ่งมีรังสีอัลตราไวโอเล็ต การแผ่รังสี รังสีเอกซ์ หรือจากมลพิษ เช่น คาร์บอนหรือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียรถยนต์ มากเกินไป หรือในภาวะที่ร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ลดลง ก็จะทำให้มีอนุมูลอิสระมากเกินไป เป็นสาเหตุของโรคภัยได้ อนุมูลอิสระที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อไขมัน (โดยเฉพาะไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ) โปรตีน หน่วยพันธุกรรม และคาร์โบไฮเดรต ทำให้เพิ่มอัตราการเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลายชนิด โรคที่สำคัญและมีการศึกษากันมาก ได้แก่ โรคหลอดเลือดตีบและแข็งตัว โรคมะเร็งบางชนิด โรคอัลไซเมอร์ โรคไขข้ออักเสบ โรคความแก่ เป็นต้น (Herzberg, 1971)

2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆ ได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาถูกใช้และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาถูกใช้เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ อาทิ ไรออล กรดแอสคอร์บิกและ โพลีฟีนอล

สารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
2. Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
3. Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง

สารต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive)

1. สารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ

- phenolic compounds
- แอสตาแซนทีน (astaxanthin)
- ยูจีนอล (eugenol) ในกานพลู
- วิตามินซี (vitamin C)
- วิตามินอี (vitamin E)
- กรดซิตริก
- แอนโทไซยานิน (anthocyanin)
- ซีลีเนียม (selenium)

2. สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ เช่น

- BHA (butylated hydroxyanisole)
- BHT (butylated hydroxytoluene)
- TBHQ (tertiary butyl hydro quinone)

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต หากแต่ก็ยังคงเกิดโทษเช่นกัน ดังนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบยับยั้งของปฏิกิริยาโดยสารต้านอนุมูลอิสระดัง เช่น กลูตาไธโอน วิตามินซีและวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ รวมถึงเพอรอกซิเดสต่างๆ ระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากเกินไปจะยังผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ ในภาวะที่ออกซิเดชันมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคในมนุษย์หลายโรค การใช้สารต้านอนุมูลอิสระในทางเภสัชวิทยาได้รับการศึกษาอย่างละเอียดในการรักษาภาวะโรคหลอดเลือดในสมองและโรค neurodegenerative อย่างไรก็ตามก็ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าออกซิเดชันที่มากเกินไปนั้นเป็นสาเหตุการเกิดโรคหรือไม่ สารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด ด้วยคาดหวังในการรักษาสุขภาพและป้องกันโรคอย่างโรคมะเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ แม้การศึกษาในช่วงแรกสนับสนุนการเติมสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ช่วยให้สุขภาพดีขึ้น ภายหลังการศึกษาในระยะคลินิกพบว่าสารที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะอื่น ไม่นับว่าปลอดภัยไปเสียประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมลงไปไม่ได้ช่วยหรือก่อให้เกิดประโยชน์อันใดแก่ผู้บริโภค ซ้ำยังผลมาซึ่งอันตรายจากการรับประทานที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเกสรชกัณฑ์และส่วนประกอบอื่นๆในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สารกันบูดในอาหารและเครื่องสำอาง (Baille และคณะ., 2009 ; Bjelakovic และคณะ., 2007)

2.8 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ระหว่างออกซิเจนกับลิพิด (lipid) ซึ่งหมายถึงไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ณ ตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นและรสที่ผิดปกติ เรียกว่า การหืน (rancidity) เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เพราะอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นจะกระตุ้น โมเลกุลกรดไขมันที่เหลือให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

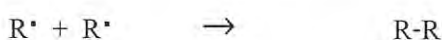
1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) ขั้นตอนการเริ่มเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ซึ่งไม่แข็งแรง ไวต่อปฏิกิริยา โดยเริ่มต้นที่คาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยแสง รังสี โลหะ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน (R^\bullet) ซึ่งจะต่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ที่เป็น unpair electron ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา



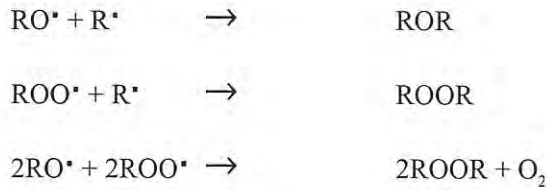
2. ขั้นลูกกลม (Propagation) เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็น peroxy radical (ROO^\bullet) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ($ROOH$)



3. ขั้นสุดท้าย (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเองเกิดเป็นสารใหม่ (secondary product) เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ แอลเคน และกรดอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่น และรส ที่ผิดปกติของน้ำมันและไขมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลต่อคุณภาพของน้ำมันและไขมัน

1. การเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสของน้ำมัน ได้แก่ เกิดกลิ่นหืน เปลี่ยนสี
2. สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย
3. เป็นอันตรายต่อการบริโภค

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของลิพิด

1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่า โดยกรดไขมันชนิดซิส (cis) ไอโซเมอร์ เกิดออกซิไดส์ได้เร็วกว่าทรานส์ (trans) ไอโซเมอร์

2. กรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระ (free fatty acid) จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

3. ปริมาณออกซิเจนและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน ออกซิเจนเข้าร่วมในปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากอาหารอยู่ในบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนมากหรือมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนได้มากจะเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็ว ดังนั้นการกำจัดออกซิเจนออกจากบรรจุภัณฑ์ด้วยการบรรจุสุญญากาศ (vacuum packaging) การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) หรือใช้สารกำจัดออกซิเจน (oxygen scavenger) ในบรรจุภัณฑ์จะช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้

4. อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาอาหารแช่เย็น แช่เยือกแข็ง (freezing) จะลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้

5. วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) ของอาหาร

6. แร่ธาตุหรือ โลหะ เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของอาหารโดยธรรมชาติ เช่น เหล็กในไมโอโกลบิน (myoglobin) หรือ โลหะและแร่ธาตุที่ปนเปื้อนจากดิน หรือจากอุปกรณ์ในการแปรรูป โดยโลหะถึงแม้เพียงส่วนเล็กน้อย 0.1-5 ส่วนในล้านส่วน ก็สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังนั้นในกระบวนการทำน้ำมันและไขมันให้บริสุทธิ์จึงต้องมีขั้นตอนของการฟอกสีและกำจัดโลหะหนัก เช่น เหล็กและทองแดง นอกจากนี้การใช้สารพวกคีเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติง (chelating agent) เช่น EDTA ซึ่งสารพวกนี้จะไปรวมตัวกับ โลหะเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เป็น การลดสารเร่งปฏิกิริยาให้น้อยลง โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกหน่วงให้ช้าลง

7. แสงและรังสีต่าง ๆ เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) และการฉายรังสี อาหาร (food irradiation)

8. สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หรือสารต้านอนุมูลอิสระสารต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็น วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เพื่อป้องกันปฏิกิริยา lipid oxidation มีทั้งสารธรรมชาติเช่น วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินอี (Vitamin E) กรดซิตริก หรือ สารสังเคราะห์ เช่น BHA (Butylated hydroxyanisole), BHT (butylated hydroxytoluene), TBHQ, propyl gallate เป็นต้น (Earpin และ Chamchumroon, 2007)

2.9 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการวิเคราะห์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละ ประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกัน ในการตรวจสอบและสรุปผล

2.9.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของสารต้าน อนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น การทำให้เกิดสี การทำให้เกิดตะกอน ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายและการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระที่นิยม ได้แก่ การตรวจวัดสารโพลีฟีนอลชนิดต่างๆ เช่น Shinoda test และ Pew test , โครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) และการตรวจหาสารต้าน อนุมูลอิสระชนิดต่างๆโดยใช้เครื่องมือ High performance liquid chromatography(HPLC)

2.9.2 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิง ปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้าน อนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่างๆ วิธีที่นิยม ได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการ ทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS•+) และการ วิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ซึ่งวิธีการ ดังกล่าวข้างต้นจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถ ในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

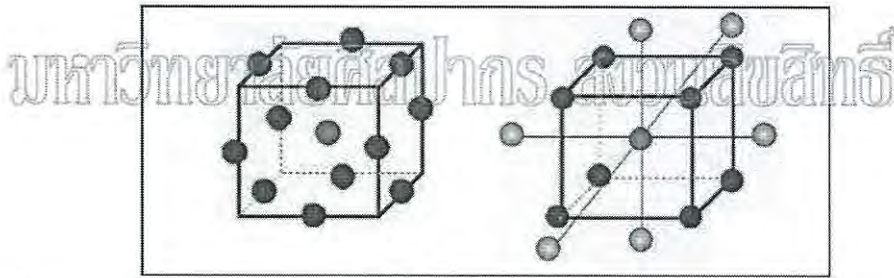
ที่เหนือจากค่าการดูดกลืนแสง สารอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ เช่น ABTS•+ และ DPPH• การคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหาได้จากอัตราส่วนของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน (เช่น trolox, vitamin C และ ferrous sulfate) หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณแสดงได้ 2 แบบ คือ

1. แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงก็แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง
2. แบบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50 % (IC50, 50 % of inhibitory concentration) โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงทั้งสองแบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ $\mu\text{M}/\text{mg}$, mM/mg , $\mu\text{M}/\text{mL}$, mM/mL เป็นต้น

2.10 พื้นผิวตอบสนอง

Response Surface Methodology (RSM) หรือพื้นผิวตอบสนอง เป็นวิธีการที่ใช้เทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาและหาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการหรือใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิม สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ดี เพื่อหาคุณลักษณะของคุณภาพ (Quality characteristics) ของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าตัวแปรตอบสนอง (Response) หรือผลลัพธ์ โดยในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของผลลัพธ์กับปัจจัยการทดลองจะต้องมีการวางแผนและออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลด้วย (Box และคณะ, 1978)

การออกแบบการทดลองด้วยวิธี full fractional factorial ที่อาศัยค่ากลางของข้อมูลจากระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองสูงสุด โดยนิยมออกแบบการทดลอง 2 วิธี คือ Central Composite Design (CCD) และ Box-Behnken Design (BBD) โดยใช้การกระจายระดับของข้อมูลออกจากศูนย์กลาง เพื่อศึกษาระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองสูงสุด ลักษณะการวางตำแหน่งและการกระจายระดับของปัจจัย ดังภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบ BBD จะเน้นที่จุดรอบๆ ค่ากลาง โดยไม่รวมค่าการกระจายในระดับแกน (axial point) และค่าที่มุม (factorial point) ทำให้ค่าคงที่ได้ไม่ครอบคลุมปลายสุดของระดับปัจจัย ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบ CCD จึงได้รับความนิยมมากกว่า (Draper, 2006)



ภาพที่ 2.3 โมเดลแสดงการกระจายของปัจจัยด้วยแผนการทดลอง Box-Behnken Design (ซ้าย) และ
แผนการทดลอง Central Composite Design (ขวา)

ที่มา : (Draper, 2006)

ในการกำหนดรหัส (code value) ของระดับปัจจัย กำหนดให้ 0 แทนค่ากลาง (center point) ซึ่งในการทดลองทั่วไปนิยมทำค่ากลางไว้หลายจุด เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองในการประมวลผลทางสถิติน้อยที่สุด ถ้าการทดลองที่ 2 ปัจจัย การทดลองจะเป็น 2^k คือ 4 ในแต่ละชนิดของปัจจัยค่ามุม (factorial point) จะมีอยู่ 4 จุด ให้ค่าเป็น +1 สำหรับค่าสูง และ -1 สำหรับค่าต่ำ และค่าแกน (axial point) จะมีอยู่ 4 จุด ให้ค่าเป็น $+\alpha$ และ $-\alpha$ แทนค่าสูงและต่ำตามลำดับ โดยค่า α สามารถหาได้จากรากที่ 4 ของ 2^k เมื่อ k คือ จำนวนของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยค่า α ที่ได้จะต้องนำไปคูณกับค่าคงที่ของความกว้างช่วงการแปรของระดับปัจจัย ดังนั้นการทดลองแบบ CCD จึงมี 5 ระดับ คือ $-\alpha$, -1 , 0 , 1 และ $+\alpha$ ตามลำดับ จากค่ามากไปน้อย (Montgomery, 1991 ; Sablani, 2007)

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยวิธี Response surface methodology (RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่จะศึกษา กับค่าตอบสนองที่สนใจ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis ซึ่งหากตัวแปรใดมีผลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตัวแปรนั้นจะปรากฏในสมการอันดับสอง (second order model) ตัวอย่างสมการที่ 1 สมการกำลังสองของตัวแปร 2 ปัจจัย

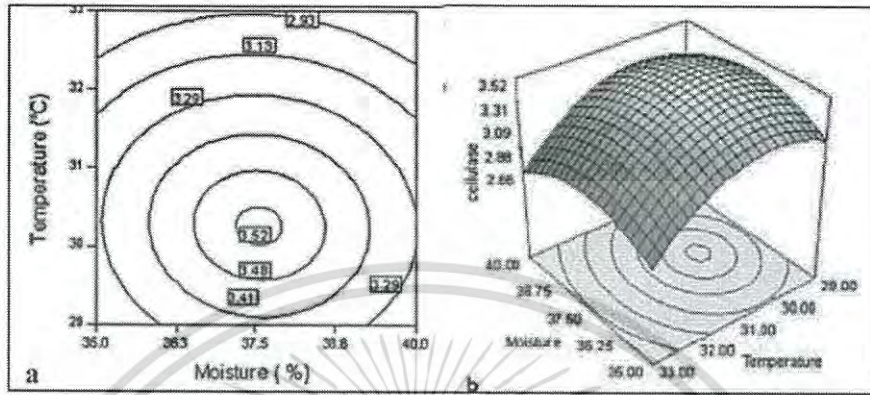
$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดย Y คือ ค่าการตอบสนอง

- B_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเดลทดลอง
- B_i, B_j คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ linear effect
- B_{ii}, B_{jj} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Squared effect
- B_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
- x_i, x_j คือ ตัวแปรอิสระ (รหัสตัวเลข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลทางสถิติด้วยโปรแกรมทางสถิติเพื่อสร้างกราฟโครงร่าง (contour plot) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (surface plot) เพื่อช่วยในการประมวลผลระหว่างปัจจัยร่วม กราฟจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้ง แสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กราฟโครงร่าง (contour plot) (a) และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (surface plot) (b)

ที่มา: (Reeta และคณะ., 2007)

ลักษณะของกราฟพื้นผิวที่ตอบสนองสามารถพบลักษณะเฉพาะได้ 3 รูปแบบ (แสดงในภาพที่ 2.5 ได้แก่ กราฟที่มีจุดให้ค่าสูงสุด (maximum point) (ภาพที่ 2.5 a) ซึ่งสามารถทราบจุดตอบสนองสูงสุดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการตอบสนองสูงสุด กราฟที่เกิดจุดแบบอานม้า (saddle point) (ภาพที่ 2.5 b) กราฟลักษณะนี้มีจุดตอบสนองสูงสุดหลายจุด ทำให้ไม่สามารถทราบจุดที่ดีที่สุดต่อการตอบสนองที่ต้องการและกราฟที่เกิดจุดแบบคงที่ (stationary ridge) (ภาพที่ 2.5 c) แสดงว่าค่าที่ใช้มีปริมาณของปัจจัยหนึ่งเหมาะสมในช่วงกว้างที่คงที่และอีกปัจจัยมีปริมาณที่เหมาะสมกับค่าการตอบสนอง (Montgomery, 1991 ; Draper, 2006)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะเฉพาะ 3 แบบของกราฟพื้นผิวตอบสนอง (surface plot)

กราฟที่มีจุดให้ค่าสูงสุด (maximum point) (ภาพที่ 2.4 a)

กราฟที่เกิดจุดบนอานม้า (saddle point) (ภาพที่ 2.4 b)

กราฟที่เกิดจุดแบบคงที่ (stationary ridge) (ภาพที่ 2.4 c)

ที่มา : (Draper, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Trusheva และ Bankova (2007) ศึกษาวิธีการสกัดสารประกอบที่ต่างกันของโพรพอลิส ได้แก่วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (การสกัดแบบแช่), การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดและการสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด จากการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของวิธีการสกัด การสกัดแบบใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดเป็นวิธีการสกัดที่รวดเร็ว ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าแต่สารสกัดที่ได้มีแนวโน้มที่จะมีองค์ประกอบของฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์น้อยกว่า ส่วนการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารที่สกัดได้ ระยะเวลาในการสกัดและการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดยังประกอบด้วยฟีนอลิกในปริมาณที่สูงที่สุด

ตาราง 2.7 เปรียบเทียบผลตอบรับจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (Trusheva และ Bankova. 2007)

Extraction type	Propolis/Solvent (m/V)	Time	Total phenolics,%	Total flavones/flavonols,%	Total flavonnes/dihyd roflavonols,%	Total extract/%
ME	1:20	72 h	44 ± 2	8.6 ± 0.1	18 ± 1	58 ± 3
	1:10	72 h	43 ± 2	8.8 ± 0.1	19 ± 2	55 ± 1
UE	1:20	10 min	35.9 ± 0.5	9.4 ± 0.2	20 ± 5	41 ± 1
	1:20	30 min	50 ± 1	8.6 ± 0.1	23 ± 2	50 ± 1
	1:10	30 min	52 ± 3 ^{a,b,c}	9.6 ± 0.8 ^a	22 ± 2 ^b	53 ± 3 ^{a,b,c}
MAE	1:20	2 × 10 s	40 ± 1	9.3 ± 0.1	23 ± 3	73 ± 2
	1:10	2 × 10 s	40.4 ± 0.6 ^{a,b,c}	8.7 ± 0.1 ^b	20 ± 1 ^b	75 ± 0 ^{a,b,c}
	1:10	3 × 10 s	24.4 ± 0.4	10.7 ± 1.7	7.5 ± 0.6	66 ± 5

Means values of three extraction ± SD;

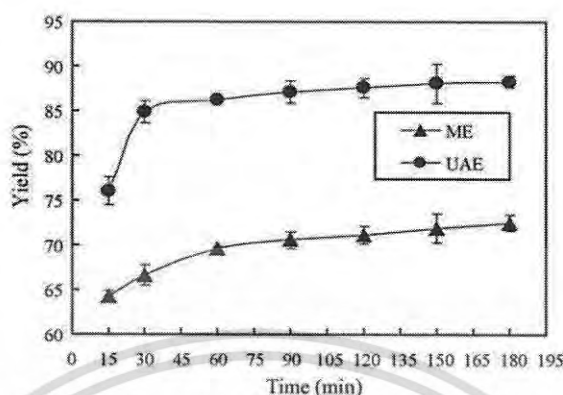
^a values compared with those obtained via maceration, (propolis/solvent 1:10).

^B values significantly different from those obtained by maceration(propolis/solvent 1:10),p < 0.05 (Student's t-test).

^C values compared and found significantly different,p < 0.05 (Student's t-test).

Zhang และคณะ (2008) ทำการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดมาใช้ในการสกัดน้ำมันจาก flaxseed โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (การสกัดแบบแช่) จากการทดลองพบว่า ณ ระยะเวลาการสกัดเดียวกัน การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดสามารถให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดได้สูงกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมสูงถึง 18% จากการ

ทดลองพบว่าคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดได้



ภาพที่ 2.6 ผลของวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จาก flax seed

Akuiyibo และคณะ (2011) ทดลองให้อาหารหนูที่มีการผสมน้ำมันเมล็ดมะละกอบุคคลประสงค์ของการทดลองเพื่อค้นหาไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีผลต่อร่างกาย (เปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง) ทดลองให้อาหารหนูขาวอายุ 32 วัน โดยอาหารดังกล่าวมีน้ำมันเมล็ดมะละกเป็นส่วนผสมอยู่สี่ระดับ ได้แก่ 3, 5, 7 และ 10% จากการทดลองพบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีผลต่อการลดลงของน้ำหนักตัวของหนูขาวอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้าม erythrocyte peroxidase activity, cholesterol และระดับของ phospholipids ในสมองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่เพิ่มขึ้น, มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของ reduced glutathione ในเม็ดเลือดแดงและมีผลต่อน้ำหนักของสมองที่เพิ่มขึ้นของหนูขาว จากการทดลองพบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณภาพดีและเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอยังมีผลต่อการป้องกันอันตรายที่ส่งผลต่อสมอง

ตาราง 2.8 น้ำหนักตัวและสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละก (Akuiyibo และคณะ, 2011)

Biochemical Parameters	Weight Gain (%)					
	Groundnut oil (5%)		Carica Papaya Seed Oil Diet			
	Baseline diet	Control diet	3%	5%	7%	10%
Whole body	0	20.6±6.5	19.4±4.0	13.4±0.1	7.1±1.8*	9.9±2.7*
Brain	0	19.7±4.4	24.8±3.3	15.6±4.7	25.2±3.5	39.9±4.4*

Values within the same column with superscripts(*) are significantly different at $P < 0.05$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.9 เมทาบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงของสมองของหนูที่กินน้ำมันเมล็ดมะละกอ (Akuyibo และคณะ. 2011)

Biochemical Parameters	Groundnut oil (5%)		Carica Papaya Seed Oil Diet			
	Baseline diet	Control diet	3%	5%	7%	10%
Cholesterol (mg/dl)	32.2±9.3	101.8±8.2	113.8±5.8	90.1±8.1	83.2±3.3	86.9±3.9
Triglycerides (mg/g)	67.7±4.5	74.7±5.8	83.4±5.5	70.6±8.5	67.9±7.9	68.3±5.9
Phospholipid (mg/g)	183.3±4.8	236.1±7.3	233.7±4.1	183.5±2.3	201.0±10.0	202.4±4.4
Reduced glutathione(μmol/g)	24.0±6.2	17.0±0.4	18.0±1.0	17.0±1.0	19.0±0.2	23.0±4.0
TBARS (mmol/100g)	9.6±1.0	7.2±5.7	9.1±1.2	11.0±1.0	10.7±0.4	10.2±1.0
SOD (U/mg)	4.5±1.0	4.0±0.4	4.0±0.1	4.5±1.4	4.0±0.1	4.1±0.1
Protein PER activity (Unit/mg protein)	8.5±1.3	7.1±0.6	9.1±1.6	6.3±1.6	5.5±0.1	6.4±0.2
Free fatty acids	77.3±20.0	73.0±9.0	74.6±3.3	79.1±3.5	70.5±11.1	75.9±13.5

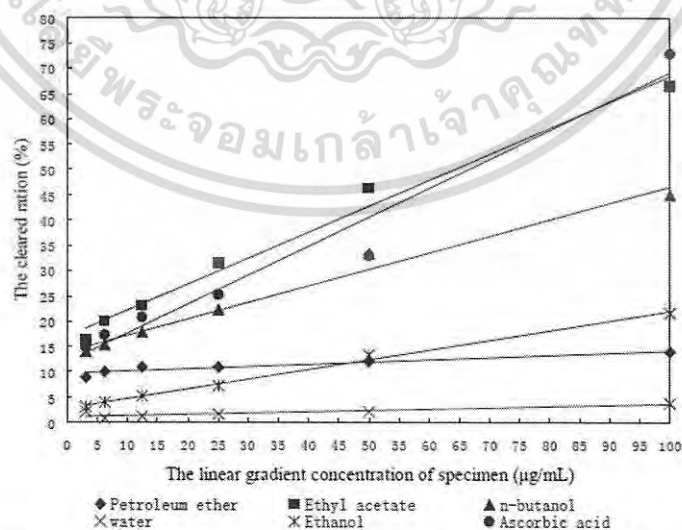
Afolabi และคณะ (2011) ทำการตรวจวัดคุณภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากเมล็ดมะละกอสายพันธุ์ *Carica papaya Linn.* จากการทดลองพบว่าน้ำมันดังกล่าวมี specific gravity 0.918 ± 0.002 , refractive index 1.469 ± 0.003 , free fatty acid 0.277 ± 0.006 mgKOH/g, thiobarbituric acid 0.451 ± 0.005 μm/g และ saponification 32.900 ± 0.739 mgKOH/g เปลือกหุ้มเมล็ดประกอบด้วย crude fiber ในปริมาณสูง ($30.451\pm 6.209\%$) และประกอบด้วยเถ้า ($9.042\pm 0.012\%$), crude protein ($32.680\pm 0.035\%$) และ thiobarbituric acid (1.819 ± 0.004 μM/g) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย Antioxidant reducing activity (39.167 ± 0.722 μg/ml), Free radical scavenging power ($42.923\pm 5.825\%$) และ polyphenol (119.917 ± 2.626 μg/ml)

Dakare และคณะ (2011) ได้ศึกษาสารชีวเคมีในเมล็ดมะละกอพันธุ์ *Carica papaya Linn.* และ *Daddawa* ที่ได้จากการหมักโดย *B. Subtilis*, *B. pumilus* และ *B. licheniformis* จากการทดลองพบว่าเมล็ดประกอบไปด้วยไขมันและโปรตีนสูง ($48.50\pm 0.45\%$ และ $21.72\pm 0.37\%$ ตามลำดับ) และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ภายหลังจากการหมัก โดยเพิ่มเป็น 54.19 ± 0.42 และ $23.56\pm 0.33\%$ ตามลำดับ โดยแร่ธาตุหลักที่พบในเมล็ดมะละกอทั้งก่อนและหลังการหมัก ได้แก่

แมกนีเซียม แคลเซียมและโซเดียม นอกจากนี้การหมักสามารถลดระดับของปัจจัยที่ขัดขวางในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับคุณค่าทางโภชนาการของร่างกายได้ ได้แก่ Oxalate จาก 210.1 เหลือ 40.2 mg/100g, Phytic acid จาก 102.0 เหลือ 68.0 mg/100g, Tannin จาก 15.5 เหลือ 8.3 mg/100g และ Trypsin inhibitor จาก 2431.2 เหลือ 63.0 mg/100g ในทางตรงกันข้าม เมล็ดมะละกอก่อนและหลังการหมักยังคงเต็มไปด้วยกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น leucine, lysine, isoleucine และ phenylalanin ไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่า Oleic acid เป็นกรดไขมันที่เด่นชัดทั้งในเมล็ดก่อนและหลังการหมัก โดยพบ 77.7 และ 80.7% ตามลำดับ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอในอนาคต การนำเมล็ดมะละกอดังกล่าวมาผ่านกระบวนการหมักก่อนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันและเป็นการลดสารประกอบที่ขัดขวางการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกายจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

Zhou และคณะ (2011) ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดมะละกอที่สกัดจากสารละลายที่ต่างกัน ได้แก่ ethanol, petroleum ether, ethyl acetate, n-butanol และน้ำ จากการศึกษาพบว่า การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดมะละกอโดย ethyl acetate ให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ hydroxyl radical scavenging activities การสกัดโดย n-butanol ให้ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุดเมื่อวิเคราะห์โดยวิธี ABTS radical scavenging activity การสกัดโดยใช้ ethyl acetate และ n-butanol ไม่เพียงแสดงถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดโดยใช้ petroleum ether, น้ำและ ethanol เท่านั้น แต่ยังแสดงถึง superoxide anion และ hydrogen peroxide radicals scavenging activities ที่สูงกว่าการสกัดโดยสารละลายอื่นๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในงานวิจัยนี้จึงใช้ ethyl acetate ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH



ภาพที่ 2.7 การถดถอยเชิงเส้นของความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ OH

ที่มา : Zhou และคณะ (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Samaram และคณะ (2013) ทดลองประเมินความเหมาะสมของการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดสำหรับปริมาณน้ำมันที่ได้จากเมล็ดมะละกอเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยสารละลาย จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้ในแต่ละวิธีและสภาวะการสกัดมีความแตกต่างกัน จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การสกัดด้วยสารละลายและการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดให้ปริมาณน้ำมัน 79.1% และ 76.1% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดมะละกอพบว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบที่เด่นชัดในน้ำมันเมล็ดมะละกอ ได้แก่ oleic acid (18:1, 70.5-74.7%), palmitic acid (16:0, 14.9-17.9%), stearic acid (18:0, 4.50-5.25%) และ linoleic acid (18:2, 3.63-4.6%) นอกจากนี้ยังพบว่า triacylglycerol ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเมล็ดมะละกอ ได้แก่ triolein (OOO), palmitoyl diolein (POO) และ stearyl oleoyl linolein (SOL) จากการศึกษาพบว่า การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อ triacylglycerol profile ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดจากวิธีและสภาวะที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของไขมันและชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันแต่ละชนิด แสดงดังตาราง 2.10

ตาราง 2.10 น้ำมันพืชจากแหล่งที่มาต่างๆ (Samaram และคณะ, 2013)

Oil Source	Oil content%	PUFA ¹ %	MUFA ² %	SFA ³ %	Reference
Papaya seed oil	30-34	2.1-6.3	67.5-77.6	18.6-29.0	Puangsri และคณะ, 2005; Lee และคณะ, 2011
Olive oil	22-24	3.5-22.5	55.3-86.5	10.5-20.0	Selvador และคณะ, 2001; Codex และคณะ, 2011
Grape seed oil	8-15	50.0-83.0	13.7-36.5	5.8-23.5	Passos และคณะ, 2009; Shahidi และคณะ, 2006
Orange seed oil	32-35	43.5-45.0	26.0-27.0	28.0-29.0	Shahidi และคณะ, 2006; Ajewole และคณะ, 2003
Apple seed oil	21-24	48.2-65.3	24.7-43.0	6.3-12.5	Shahidi และคณะ, 2006; Tian และคณะ, 2010
Watermelon seed oil	50	60.0	18.4	21.6	Baboli และ Kordi, 2010
Pumpkin seed oil	42-45	55.6	20.8	23.5	Shahidi และคณะ, 2006; Schinas และคณะ, 2009

¹ PUFA, polyunsaturated fatty acids; ² MUFA, monounsaturated fatty acids; ³ SFA, saturated fatty acids; ⁴ olive oil from the fresh fruit.

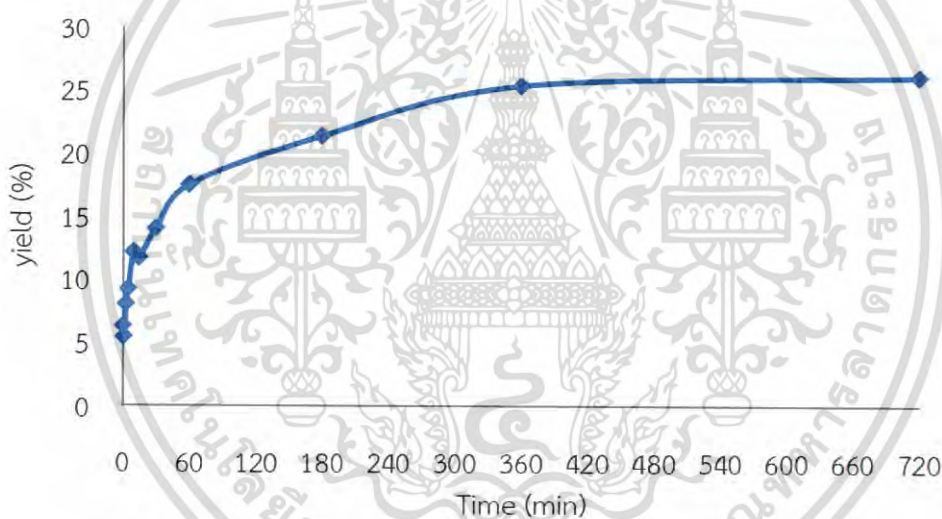
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วสุธรและสุดา (2015) ได้ศึกษาปัจจัยในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด พบว่าการสกัดที่ประมาณ 6 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเขน 1:10 เป็นระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเขนที่สมเหตุสมผลในการดำเนินการสกัดที่สุด เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาและสารละลายที่เสียไปกับปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

ตาราง 2.11 ผลของอัตราส่วนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ

สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเขน	Yield (%)
1:2.5	3.60±0.53 ^c
1:5	15.73±2.33 ^b
1:10	25.13±1.02 ^a
1:15	26.40±1.21 ^a

หมายเหตุ a, b, c คืออักษรกำกับในแนวนอน ต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



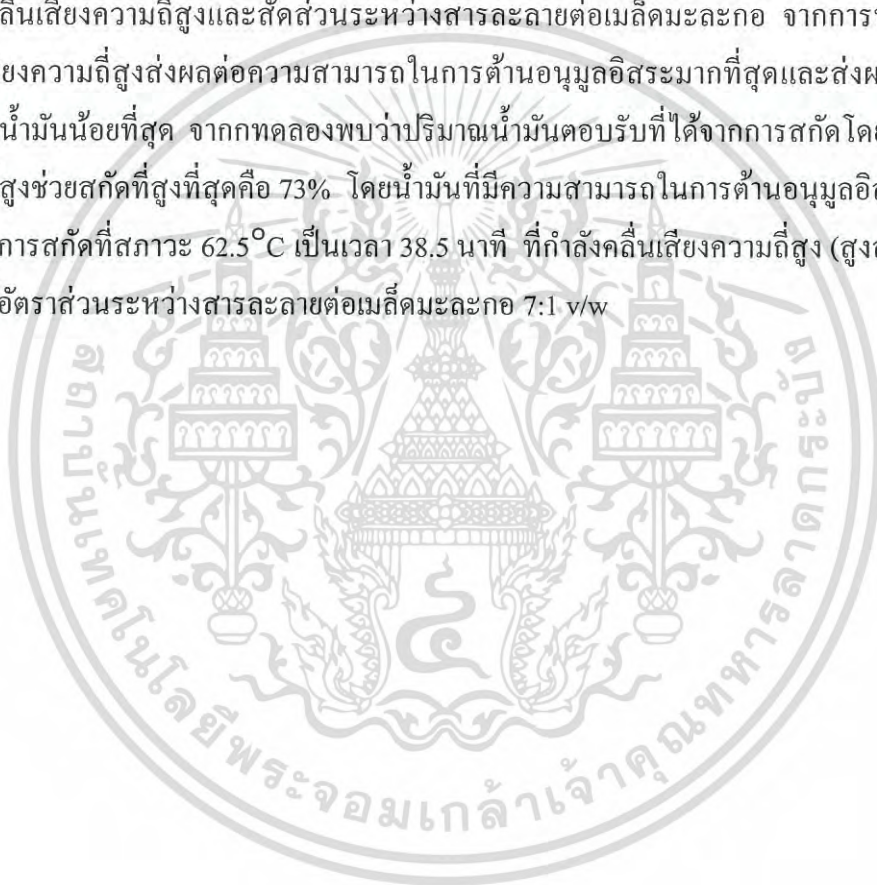
ภาพที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับผลผลิตที่ได้จากการสกัดแบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

Maisarah และคณะ (2013) ทำการทดลองเพื่อศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบ, สารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดและ proliferative activities ของส่วนต่างๆของมะละกอสายพันธุ์ *Carica papaya Linn.* (เนื้อมะละกอสุก, ไม่สุก, ใบและเมล็ด) ระบุ macronutrients และ micronutrients โดย standard AOAC method ส่วนการวิเคราะห์หิวตามินระบุโดย high performance liquid chromatography (HPLC) จากการทดลองพบว่าเนื้อมะละกอสุกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (84.04%) ตามด้วยมะละกอไม่สุก (81.35%) ใบ (78.03%) และเมล็ด (75.35%) ในส่วนของฟีนอลิกพบว่าใบประกอบไปด้วยฟีนอลิกสูงที่สุด ตามด้วยเนื้อมะละกอดิบ เนื้อมะละกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงและเมล็ดตามลำดับ การวิเคราะห์โดย HPLC แสดงให้เห็นว่าใบมะละกามี ascorbic acid 85.60 mg/100G และ β -carotene 3.86 mg/100G สูงที่สุด ในขณะที่เมล็ดมีวิตามินอีสูงที่สุด(4.09 mg/100g) ผลที่ได้รับจากทดสอบ cytotoxic activities ใน MCF-7 (hormone dependent breast cancer) และ MDA-MB231 (non-hormone dependent breast cancer) พบว่าเซลล์มะเร็งดังกล่าวถูกยับยั้งอย่างมีนัยสำคัญ

Samaram และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาผลการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดต่อปริมาณน้ำมัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและความคงตัวของน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดมะละกอ ปัจจัยของการสกัดน้ำมันโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ กำลังคลื่นเสียงความถี่สูงและสัดส่วนระหว่างสารละลายต่อเมล็ดมะละกอ จากการทดลองพบว่าคลื่นเสียงความถี่สูงส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดและส่งผลต่อความคงตัวของน้ำมันน้อยที่สุด จากทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดที่สูงที่สุดคือ 73% โดยน้ำมันที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุดได้จากการสกัดที่สภาวะ 62.5°C เป็นเวลา 38.5 นาที ที่กำลังคลื่นเสียงความถี่สูง (สูงสุด) 700 วัตต์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเมล็ดมะละกอ 7:1 v/w



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

เมล็ดมะละกอสุกสายพันธุ์ฮอลแลนด์ (*Carica papaya linn.*) จากร้านขายผลไม้ตัดแต่ง ตลาดสุวรรณภูมิ กรุงเทพมหานคร

3.2 สารเคมี

Hexane(Commercial grade)	Etalmar, ไทย
Folin-Ciocalteu Reagent	Carlo Erba, อิตาลี
Ethanol เข้มข้นร้อยละ 95	TS Interlab, ไทย
Methanol เข้มข้นร้อยละ 95	Sigma-aldrich, สหรัฐอเมริกา
Sodium carbonate	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย
DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา
Potassium persulphate	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย
ABTS	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา
Gallic acid monohydrate	Sigma- Aldrich,สหรัฐอเมริกา
Trolox	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกาEthyl
acetate	Fisher Scientific, อังกฤษ
Sodium thiosulfate pentahydrate	Merck, เยอรมนี
Potassium hydroxide	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย
Starch	Merck, เยอรมนี
Phenolphthalein	Merck, เยอรมนี
Acetic acid	RCI Labscan, ไทย
Chloroform	RCI Labscan, ไทย
Folin-Ciocalteu's RS reagent	Carlo Erba, อิตาลี
Potassium sulphate RPE (Analysis,)	Carlo Erba, อิตาลี
Sodium carbonate	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acetone	RCI Labscan, ไทย
Sodium hydroxide	Carlo Erba, อิตาลี
Sodium nitrite	Merck, เยอรมนี
Sulfuric acid	RCI Labscan, ไทย
Potassium iodide	Carlo Erba, อิตาลี
Potassium hydrogen phthalate	Merck, เยอรมนี
Cyclohexane	RCI Labscan, ไทย
Potassium iodate	Merck, เยอรมนี
Toluene	Merck, เยอรมนี
Propanol	VWR, ไทย

3.3 เครื่องมือ

1. เครื่องบด (Grinder)	Moulinex, China
2. ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)	Progress, Thailand
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Memmert (UM 400), Germany
4. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)	Sahaburapa (SP-1A), Thailand
5. เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm)	Gerhardt (S306AK), Germany
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง	Denver (SI-324), Germany
7. กระดาษกรองเบอร์ 1	Whatman, England
8. อ่างคลื่นเสียงความถี่สูง	Elmasonic S 30 (H), Germany
9. อ่างควบคุมอุณหภูมิ	Daihan, Korea

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดมะละกอ

1. นำเมล็ดมะละกอล้างทำความสะอาด คัดแยกกากออก นำตากแดดเป็นเวลา 2 วัน
2. นำเมล็ดมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงเพื่อได้ความชื้นออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเมล็ดมะละกอแห้งไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (Grinder) และนำมาร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.67 มิลลิเมตร
4. นำตัวอย่างที่ได้บรรจุในถุงซิปล็อค เก็บใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์

3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ

วิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำแห้ง โดยองค์ประกอบที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture) ตามวิธี, ไขมัน (crude fat), โปรตีน (crude protein), เถ้า (ash), เยื่อใย (crude fiber) และคาร์โบไฮเดรต (crude carbohydrate) ตามวิธี AOAC (2011)

3.4.3 การหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

ทำการศึกษาสถานะการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองและใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วย 8 factorial point , 6 star point และ 6 central point การทดลองพิจารณาปัจจัยในการสกัดหรือตัวแปรต้น 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (x_1), เวลา (x_2) และสัดส่วนเมล็ดมะละกต่อเฮกเซน (x_3) ตัวแปรตามที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด โดยคำนวณเทียบน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้กับน้ำหนักเมล็ดมะละกอที่ใช้ในการสกัดตามสมการที่ (1) และปริมาณน้ำมันทั้งหมดของเมล็ดมะละกocำนวนตามสมการที่ (2) สถานะที่เหมาะสมในการสกัดประกอบด้วย 2 สถานะ โดยเกณฑ์การตัดสินใจในการเลือกสถานะที่เหมาะสมในการสกัด พิจารณาจากอุณหภูมิ ระยะเวลาในการสกัด และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกต่อเฮกเซน สถานะที่เหมาะสมในการสกัดสถานะแรกคือสถานะการสกัดที่ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดสูงแต่ใช้อุณหภูมิ ระยะเวลาในการสกัดและปริมาณเฮกเซนที่ต่ำ เพื่อลดพลังงานและสารละลายสิ้นเปลืองในการสกัด และสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสถานะที่สองคือ สถานะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัดปัจจัยในการสกัด โดยสถานะที่เหมาะสมในการสกัดแบบลดพลังงานและสารละลายสิ้นเปลืองในการสกัดจะถูกนำมาเป็นตัวแทนของวิธีการสกัดทั้งสองวิธี เพื่อนำน้ำมันที่ได้จากการสกัดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณ , คุณภาพ,ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Total phenolic, DPPH และ ABTS) และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยคาดว่าในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาในการสกัดมากและใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเจนน้อย จะส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัดที่สูง

$$\text{ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะละกอ}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (\%)}}{\text{ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของเมล็ดมะละกอ (\%)}} \times 100 \quad (2)$$

3.4.3.1 การสกัดแบบแช่ (ME)

ทำการศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) โดยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง โดยพื้นผิวตอบสนองดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างเป็นสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดในการสกัดจากสภาวะต่างๆ (ตาราง 3.1) โดยแสดงผลตอบรับเป็นปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%) ใช้แผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) สร้างเป็น 20 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (ช่วง 31.18-64.82°C), เวลาในการสกัด (ช่วง 0.95-11.05 ชั่วโมง) และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกะเจนน้อย (ช่วง 1.59-18.40 กรัม/100 มิลลิลิตร) ทำการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดมะละกอบดตามที่กำหนดและเฮกเซนปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงยังขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นจุ่มขวดรูปชมพู่ลงยังอ่างควบคุมอุณหภูมิและจับเวลา เมื่อครบกำหนดนำสารละลายดังกล่าวกรองแบบลดความดันก่อนนำไประเหยเฮกเซนออกโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 ช่วงของปัจจัยของการสกัดแบบแช่ที่ใช้ในแผนการทดลองแบบ CCD

ปัจจัย	ระดับ				
	Axial ($-\infty$)	Low	Center	High	Axial ($+\infty$)
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
อุณหภูมิ (x_1 , °C)	31.18	38.00	48.00	58.00	64.82
เวลา (x_2 , ชั่วโมง)	0.95	3.00	6.00	9.00	11.05
เมล็ดมะละกอต่อกะเจนน้อย (x_3 , กรัม / 100 มิลลิลิตร)	1.59	5.00	10.00	15.00	18.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE)

ทำการศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยเทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยพื้นที่ผิวตอบสนองดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างเป็นสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดในการสกัดจากสภาวะต่างๆ (ตาราง 3.2) โดยแสดงผลตอบรับเป็นปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%) ใช้แผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) สร้างเป็น 20 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (ช่วง 31.18-64.82 °C), เวลาในการสกัด (ช่วง 4.77-55.23 นาที) และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน (ช่วง 1.59-18.40 กรัม/100 มิลลิลิตร) ทำการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดมะละกอบดตามที่กำหนดและเฮกเซนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงยังขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นจุ่มขวดรูปชมพู่ลงยัง Ultrasound bath โดยวิธีการดังกล่าวเป็นการสกัดแบบ Indirect method โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่าน ทำการจับเวลา เมื่อครบกำหนดนำสารละลายดังกล่าวกรองแบบลดความดันก่อนนำไประเหยเฮกเซนออกโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 ช่วงของปัจจัยของการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดที่ใช้ในแผนการทดลองแบบ CCD

ปัจจัย	ระดับ				
	Axial (- ∞)	Low	Center	High	Axial (+ ∞)
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
อุณหภูมิ (x_1 , °C)	31.18	38.00	48.00	58.00	64.82
เวลา (x_2 , นาที)	4.77	15.00	30.00	45.00	55.23
เมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน (x_3 , กรัม / 100 มิลลิลิตร)	1.59	5.00	10.00	15.00	18.41

3.4.4 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ

ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำมันตอบรับที่ได้จากการสกัดในสภาวะที่แตกต่างกัน ทำการสุ่มการทดลอง 7 สภาวะ จาก 15 สภาวะ (หรือการทดลอง 1 ซ้ำ) ของแผนการทดลองในหัวข้อ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2 หรือคิดเป็นประมาณ 46% ของการทดลองทั้งหมด เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงในการทำนายปริมาณน้ำมันตอบรับของสมการที่สร้างขึ้นในหัวข้อ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2 โดยทำการสุ่มสภาวะการสกัดโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทวนสอบว่าสมการที่สร้างดังกล่าวสามารถทำนายปริมาณน้ำมันตอบรับได้เพียงใด โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%) กับปริมาณน้ำมันที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการที่สร้างในหัวข้อ 3.4.3 โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) โดยพิจารณาจากค่า Pearson correlation (r) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม SPSS 16.0 โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

3.4.4.1 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการจากการสกัดแบบแช่

ทำการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการจากการสกัดแบบแช่ โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทดลองและปริมาณน้ำมันที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการที่สร้างขึ้นจากหัวข้อ 3.4.3 ในสถานะเดียวกัน สถานะที่ถูกสุ่มขึ้นเพื่อใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตาราง 3.3 สถานะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่

Std.	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	สัดส่วนเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (กรัม/100 ม.ล.)
9	31.18	6.00	10.00
5	38.00	3.00	15.00
13	48.00	6.00	1.59
14	48.00	6.00	18.41
2	58.00	3.00	5.00
6	58.00	3.00	15.00
10	64.82	6.00	10.00

3.4.4.2 ทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการจากการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

ทำการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการจากการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทดลองและปริมาณน้ำมันที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการที่สร้างขึ้นจากหัวข้อ 3.4.3 ในสถานะเดียวกัน สถานะที่ถูกสุ่มขึ้นเพื่อใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตาราง 3.4 สภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

Std.	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	สัดส่วนเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน (กรัม/100 ม.ล.)
11	31.18	30.00	10.00
1	38.00	15.00	5.00
2	38.00	45.00	5.00
6	38.00	45.00	15.00
13	48.00	30.00	1.57
14	48.00	30.00	18.41
7	58.00	15.00	15.00

3.4.5 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

เปรียบเทียบผลกระทบของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันที่สกัดได้ วิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะมีสภาวะในการสกัดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การสกัดแต่ละวิธีมีชนิดและปริมาณของปัจจัยที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ 4 วิธี ได้แก่ การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ปราศจากการใช้ความร้อนและใช้ระยะเวลาในการสกัดมาก, การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ใช้ความร้อนปานกลางและใช้ระยะเวลาในการสกัดมาก, การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดที่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาในการสกัดปานกลาง และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) เป็นตัวแทนของวิธีการสกัดทางเลือกที่มีการนำการเกิด sonication มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่ำ โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดของ MH และ UAE ได้มาจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 4 สภาวะการสกัดแบบ ML และ MH ใช้เวลาและสัดส่วนของเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซนเหมือนกัน แตกต่างเพียงอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เพื่อพิจารณาว่าอุณหภูมิมีผลต่อสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลผลิตน้ำมันมากน้อยเพียงใด ส่วนสภาวะการสกัดแบบ RE เป็นสภาวะที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อความสะดวกต่อการดำเนินงาน

3.4.5.1 การศึกษาผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

นำน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากการสกัดทั้งสี่วิธี วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมัน ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระ (acid value; AV และ free fatty acid; FFA), ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value; PV) และค่าพารา อะนิซิดีน (p-anisidine value; p-AV) ตามวิธี AOCS (1997) และวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (iodine value; IV) ตามวิธี AOCS (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.2 การศึกษาผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัน
 น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากการสกัดทั้งสี่วิธี วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ
 น้ำมันเมล็ดมะละกอ ได้แก่

3.4.5.2.1 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก คัดแปลงมาจาก Hrnccirik และ Frit (2004)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยวิธี Folin-Ciocalteu ทำการทดลองโดยชั่ง
 ตัวอย่างน้ำมัน 2.5 กรัม เติมเฮกเซน 5 มิลลิลิตร และสารละลายเมทานอล/น้ำกลั่น (3:2 v/v) 5
 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที บีบส่วนใส 2.5
 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu
 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 3 นาที ก่อนเติมสารละลาย Sodium carbonate (35% w/v) 1 มิลลิลิตรและเติม
 น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตรวจวัดค่าการ
 ดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐาน
 ของกรดแกลลิกในช่วง 0-30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

3.4.5.2.2 วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH คัดแปลงมาจาก
 Lee และคณะ (2007)

ทำการทดลองโดยนำน้ำมัน 0.2 กรัม ใส่ลงยังหลอดทดลอง ก่อนปรับปริมาตรรวมโดย
 เอทิล อะซิเตทให้ได้ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 4.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex
 mixer ก่อนตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 60 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร โดยใช้เอทิล อะซิเตท
 เป็นแบลนด์ เปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบกับกราฟมาตรฐานของโทร
 ลอกซ์ในช่วง 0-5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

3.4.5.2.3 วิเคราะห์ความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ตามการทดลอง
 ของ Pellegrini และคณะ (2011)

3.4.5.2.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ด
มะละกอ

หาความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอโดย
 วิธีการวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ 3.4.5.2.1, 3.4.5.2.2 และ 3.4.5.2.3 เพื่อศึกษาว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
 ของน้ำมันเมล็ดมะละกอมาจากสารประกอบฟีนอลิกมากน้อยเพียงใด

3.4.6 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermal behavior) ตามการทดลองของ
 Puangsri และคณะ (2005)

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดโดยวิธีการสกัดแบบ
 แช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยสภาวะที่ทำการสกัดคือ
 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบลดพลังงานและสารละลายสิ้นเปลืองในการสกัด สิ่งที่ต้องการ
 ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดจุดหลอมเหลวหรือ onset temperature (T_o), อุณหภูมิที่เกิดการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมเหลวสูงสุดหรือ peak temperature (T_p), อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดจุดหลอมเหลวหรือ conclusion temperature (T_c) และอุณหภูมิตกผลึกของน้ำมันหรือ crystallized temp (T_{cr})



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาการนำเมล็ดมะละกอสุกสายพันธุ์ฮอลแลนด์ที่เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่ง (ร้านตัดแต่งผลไม้สด กรุงเทพมหานคร) นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงแล้วนำมาบดเป็นผงละเอียดขนาดประมาณ 0.67 มิลลิเมตร และนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML) , การสกัดแบบแช่ที่ 58°C (MH) , การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (RE)

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดมะละกอแห้งสายพันธุ์ฮอลแลนด์ (*Carica papaya Linn.*) ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต จากการทดลองพบว่าเมล็ดมะละกามีไขมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีสัดส่วนสูงถึง 29.34 ± 0.32 และ 36.52 ± 0.00 % ตามลำดับ และประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน เถ้าและเยื่อใย 5.75 ± 0.04 , 28.04 ± 0.51 , 0.09 ± 0.00 และ 0.26 ± 0.0 % ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malacrida และคณะ (2010) พบว่าในเมล็ดมะละกามีสัดส่วนของไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น โปรตีนและเถ้า เท่ากับ 29.16 ± 0.88 , 30.51 , 6.43 ± 0.12 , 25.63 ± 0.29 และ 8.27 ± 0.01 โดยจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมล็ดมะละกามีปริมาณไขมันในเมล็ดมะละกอสูงกว่ามะกอก, เมล็ดองุ่นและเมล็ดแอปเปิล (22-24, 8-15 และ 21-24%) แต่น้อยกว่าในเมล็ดแตงโมและเมล็ดพีททอง (50 และ 42-45%)

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอสุก

องค์ประกอบ	สัดส่วน (%)
ความชื้น	5.75 ± 0.04
โปรตีน	28.04 ± 0.51
ไขมัน	29.34 ± 0.32
เยื่อใย (crude fiber)	0.26 ± 0.00
เถ้า	0.09 ± 0.00
คาร์โบไฮเดรต	36.52 ± 0.00

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

จากการสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยใช้แผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) สร้างเป็น 20 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (x_1), เวลา (x_2) และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (x_3) ตัวแปรตามที่น่าสนใจได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดที่น่าสนใจประกอบด้วยสภาวะการสกัดที่ 2 เงื่อนไข เงื่อนไขแรกคือ สภาวะการสกัดแบบประหยัดพลังงานและสารละลายในการสกัด และเงื่อนไขที่สองคือ สภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัดปัจจัยในการสกัด

4.2.1 การสกัดแบบแช่ (ME)

จากการสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) พบว่าจากการศึกษาสภาวะในการสกัดในช่วงปัจจัยดังแสดงในตาราง 4.2 การสกัดดังกล่าวให้ปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 12.57-29.15% ดังแสดงในตาราง 4.2

จากการพิจารณาความมีนัยสำคัญของแต่ละพจน์โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) พบว่าพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้นดังกล่าวเหมาะสมที่จะสร้างเป็นสมการเชิงเส้นหรือ Linear model แสดงในสมการที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน ($p < 0.05$) ในทางกลับกันอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) Adjusted $R^2 = 0.8504$ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดต่อไป

$$\text{Recovery oil} = 20.99887 + 0.092666x_1 + 0.74470x_2 - 0.88160x_3 \quad (3)$$

เมื่อ x_1 = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

x_2 = ระยะเวลาในการสกัด (ชั่วโมง)

x_3 = สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (กรัม/ 100 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 จากภาพแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดที่มากขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นส่งผลให้สารละลายสารเข้าสู่เมล็ดมะละกอได้มากขึ้น ส่งผลให้สารละลายดังกล่าวสามารถชะน้ำมันออกจากเมล็ดมะละกอสู่สารละลายได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mani และ Vadivambalthe (2007) จากภาพที่ 4.1 พบว่า จากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นตั้งแต่ 0.95-11.05 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดสูงขึ้นต่อเนื่องอย่างไม่สิ้นสุด สามารถอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้โดย Fick's second law ที่กล่าวไว้ว่า สมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นไม่ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าช่วงของระยะเวลาในการสกัดระหว่าง 0.95-11.05 ชั่วโมง ยังไม่ครอบคลุมสมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและเมล็ดมะละกอ

ผลของสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกต่อเฮกเซน ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 พบว่าสัดส่วนเมล็ดมะละกต่อเฮกเซนที่น้อยลงหรือการใช้เฮกเซนในการสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากปริมาณสารละลายในการสกัดมีผลต่อการแพร่และการลดความหนืดของสารละลายในการสกัด การใช้สารละลายที่มากหรือการใช้สัดส่วนเมล็ดมะละกต่อเฮกเซนน้อยส่งผลให้เกิดการทำละลายที่เพียงพอ ช่วยเพิ่มการแพร่และช่วยลดความหนืดของสารละลาย ทำให้สารละลายสามารถเข้าสู่เมล็ดมะละกอได้มากขึ้นส่งผลให้เฮกเซนสามารถชะน้ำมันในเมล็ดมะละกอได้มากขึ้น ส่งผลให้การสกัดดังกล่าวได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดที่สูงขึ้น

ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) แสดงดังภาพ 4.1 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันในการสกัดมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อของเมล็ดมะละกออ่อนตัวลงและเพิ่มการแพร่ของสารละลาย ด้วยเหตุนี้สารละลายจึงสามารถเข้าสู่เมล็ดมะละกอและชะน้ำมันออกจากเมล็ดมะละกอมายังสารละลายได้สูงขึ้น ส่งผลให้ในการสกัดได้ปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้น แต่จาก

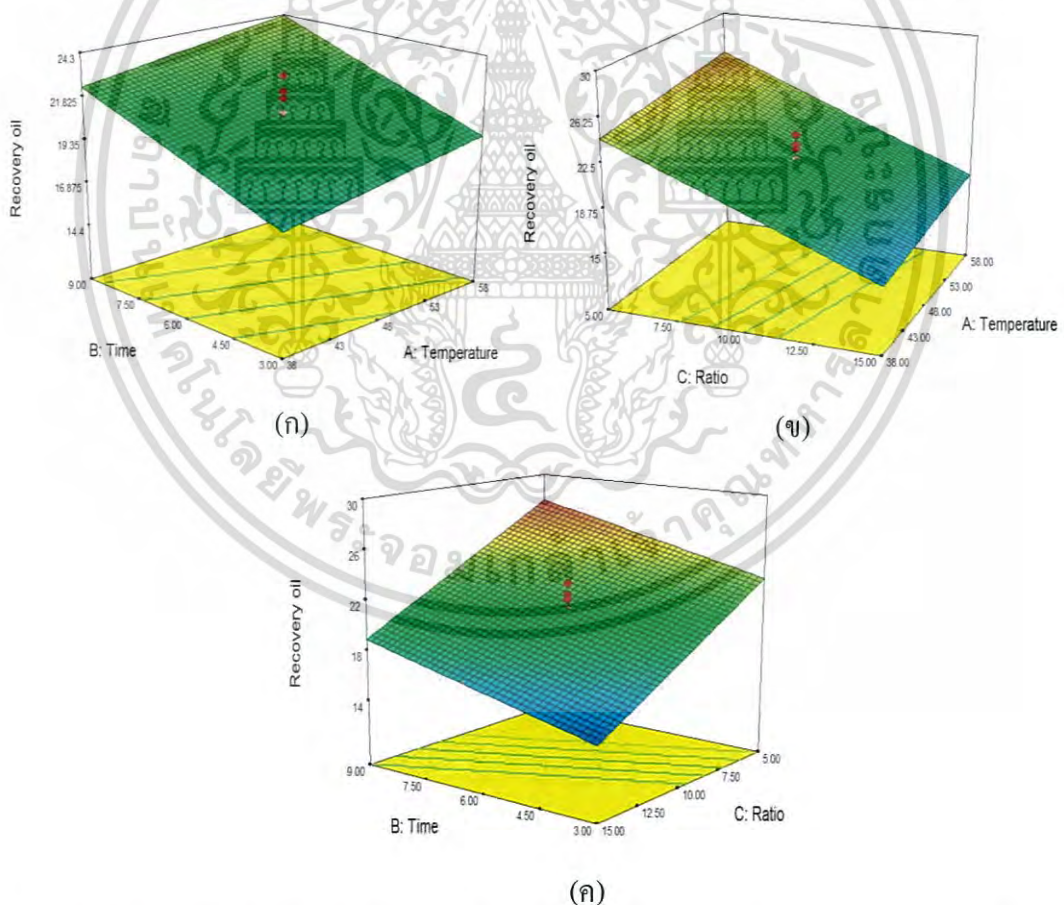
การทดลองพบว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเนื่องมาจากสองสาเหตุด้วยกัน สาเหตุแรกได้แก่ ช่วงของอุณหภูมิในการสกัดในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันน้อยเกินไปส่งผลให้ไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณน้ำมันในการสกัด แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของจุดเดือด (Boiling point) ของสารละลาย (เฮกเซน) จึงไม่สามารถขยายช่วงของอุณหภูมิในการสกัดให้กว้างกว่านี้ได้ ส่วนสาเหตุที่สองคือ อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แต่ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยการสกัดอีกสองปัจจัย (ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน) ทำให้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) แล้วพบว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ผลตอบรับของการสกัดแบบแช่ (ME)

Std	Run	X_1	X_2	X_3	น้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%)
13	1	48 (0)	6 (0)	1.59 (-1.682)	29.15	99.35
20	2	48 (0)	6 (0)	10 (0)	21.83	74.42
18	3	48 (0)	6 (0)	10 (0)	19.51	66.51
2	4	58 (+1)	3 (-1)	5 (-1)	26.65	90.83
17	5	48 (0)	6 (0)	10 (0)	23.12	78.79
15	6	48 (0)	6 (0)	10 (0)	22.25	75.85
16	7	48 (0)	6 (0)	10 (0)	21.05	71.73
5	8	38 (-1)	3 (-1)	15 (+1)	13.18	44.92
1	9	38 (-1)	3 (-1)	5 (-1)	24.77	84.41
7	10	38 (-1)	9 (+1)	15 (+1)	19.93	67.94
3	11	38 (-1)	9 (+1)	5 (-1)	25.88	88.20
6	12	58 (+1)	3 (-1)	15 (+1)	12.57	42.84
12	13	48 (0)	11.05 (+1.682)	10 (0)	23.52	80.15
14	14	48 (0)	6 (0)	18.41 (+1.682)	16.38	55.83
4	15	58 (+1)	9 (+1)	5 (-1)	26.88	91.61
19	16	48 (0)	6 (0)	10 (0)	19.92	67.91
8	17	58 (+1)	9 (+1)	15 (+1)	19.72	67.22
11	18	48 (0)	0.95 (-1.682)	10 (0)	14.43	49.18
9	19	31.18 (-1.682)	6 (0)	10 (0)	17.61	60.03
10	20	64.82 (+1.682)	6 (0)	10 (0)	23.92	81.51

จากการหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) จากสมการที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 4.2.1 พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัดพลังงานและสารละลาย ได้แก่ อุณหภูมิ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ส่วนสถานะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัดปัจจัยในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 64.82°C เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน 2 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับในการสกัด (ค่าทำนาย ณ สถานะการสกัดที่เหมาะสม) เท่ากับ 28.67 และ 29.34% หรือ ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด 97.72 และ 100% ตามลำดับ โดยสมการและสถานะที่ถูกสร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำมาทวนสอบความเที่ยงตรงในการทำนายอีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าสมการและสถานะที่เหมาะสมที่ทำนายสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ มีความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 4.1 กราฟ 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด, (ข)

อุณหภูมิและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซนและ (ค) ระยะเวลาการสกัดและสัดส่วน

ระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อเฮกเซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

จากการสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันและศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) จากการศึกษาสภาวะในการสกัดในช่วงปัจจัยดังแสดงในตาราง 4.3 พบว่าในการสกัดดังกล่าวให้ปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 18.49 – 28.54% ดังแสดงในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลตอบรับของการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

Std	Run	X_1	X_2	X_3	น้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%)
12	1	48 (0)	55.23 (+1.682)	10 (0)	25.22	85.95
7	2	38 (-1)	45 (+1)	15 (+1)	18.49	63.03
20	3	48 (0)	30 (0)	10 (0)	24.92	84.92
19	4	48 (0)	30 (0)	10 (0)	24.97	85.10
9	5	31.18 (-1.682)	30 (0)	10 (0)	22.32	76.09
5	6	38 (-1)	15 (-1)	15 (+1)	18.74	63.88
14	7	48 (0)	30 (0)	18.41 (+1.682)	20.81	70.94
3	8	38 (-1)	45 (+1)	5 (-1)	26.60	90.65
10	9	64.82 (+1.682)	30 (0)	10 (0)	23.70	80.76
6	10	58 (+1)	15 (-1)	15 (+1)	19.89	67.77
2	11	58 (+1)	15 (-1)	5 (-1)	25.60	87.24
18	12	48 (0)	30 (0)	10 (0)	24.62	83.90
4	13	58 (+1)	45 (+1)	5 (-1)	26.62	90.72
1	14	38 (-1)	15 (-1)	5 (-1)	26.52	90.38
17	15	48 (0)	30 (0)	10 (0)	25.02	85.27
8	16	58 (+1)	45 (+1)	15 (+1)	23.99	81.75
16	17	48 (0)	30 (0)	10 (0)	23.74	80.93
11	18	48 (0)	4.77 (-1.682)	10 (0)	22.15	75.51
15	19	48 (0)	30 (0)	10 (0)	25.32	86.29
13	20	48 (0)	30 (0)	1.59 (-1.682)	28.54	97.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาความมีนัยสำคัญของแต่ละพจน์โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ Analysis of variance (ANOVA) ในการระบุความมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) พบว่าพจน์กำลังสองของข้อมูลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้นดังกล่าวจึงเหมาะสมที่จะสร้างเป็นสมการกำลังสองหรือ Quadratic model แสดงในสมการที่ 4 จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยในการสกัดทั้งสามปัจจัย (อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน) มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) Adjusted $R^2 = 0.9580$ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดต่อไป

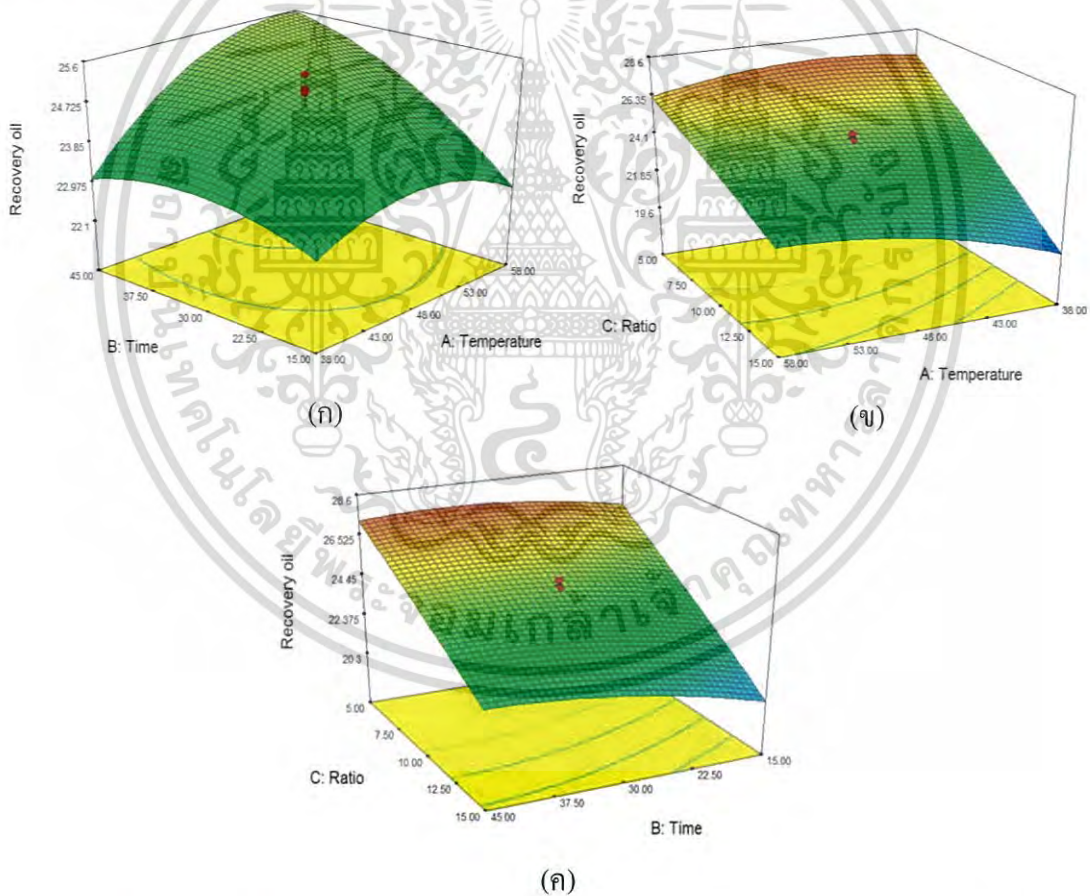
$$\text{Recovery oil} = 23.95100 + 0.41943x_1 - 0.082593x_2 - 148.91344x_3 + 0.00440833x_1x_2 + 1.8825x_2x_3 + 0.45833x_1x_3 - 0.0070948x_1^2 - 0.0020925x_2^2 - 48.32547x_3^2 \quad (4)$$

เมื่อ $x_1 =$ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
 $x_2 =$ ระยะเวลาในการสกัด (นาที)
 $x_3 =$ สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (กรัม/ 100 มิลลิลิตร)

ผลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอก โดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังภาพ 4.3 จากภาพแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4.77 ถึง 30 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดที่สูงขึ้น แต่หลังจากการสกัดเป็นระยะเวลา 30 นาทีขึ้นไป การสกัดให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากระยะเวลาในการสกัดประมาณ 30 นาที คือสมดุลสุดท้ายระหว่างสารละลายและเมล็ดมะละกอก กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้น (มากกว่า 30 นาที) ไม่ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ตาม Fick's second law เช่นเดียวกับการสกัดแบบแช่

ผลของสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซนและอุณหภูมิ ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอก โดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังภาพ 4.3 พบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการสกัดแบบแช่ (ME)

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) จากสมการที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 4.2.2 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัดพลังงานและสารละลายในการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 47°C เป็นเวลา 35.47 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ส่วนสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัดปัจจัยในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน 2 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับ (ค่าทำนาย) ในการสกัดเท่ากับ 27.45 และ 29.15% หรือ ร้อยละ 93.56 และ 99.35 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ตามลำดับ โดยสมการและสภาวะที่ถูกสร้างขึ้นดังกล่าวจะถูกนำมาทวนสอบความเที่ยงตรงในการทำนายอีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าสมการและสภาวะที่เหมาะสมที่ทำนายสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 4.2 กราฟ 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด, (ข) อุณหภูมิและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน และ (ค) ระยะเวลาการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) พบว่าการสกัดแบบ UAE ใช้ อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดน้อยกว่าวิธีการสกัดแบบ ME เนื่องจากการสั่นสะเทือนของ ตัวกลางที่เกิดจากคลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดหรืออัลตราซาวนด์ช่วยส่งเสริมให้พื้นที่สัมผัสระหว่าง ตัวทำละลายและตัวถูกทำละลายมากขึ้น ดังนั้นในการสกัดดังกล่าวสารละลายจึงสามารถเข้าสู่ตัว ถูกละลายได้มากขึ้นส่งผลให้ได้รับผลตอบแทนในการสกัดสูงขึ้นตามไปด้วย (Samaram และคณะ., 2015) นอกจากนี้การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากคลื่นเสียงความถี่สูงยังช่วยเพิ่ม hydrodynamic force ส่งผลให้ผนังเซลล์ของตัวถูกละลายถูกรบกวนได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลตอบรับในการสกัด สูงขึ้น (Knorr และคณะ., 2002) และคลื่นเสียงความถี่สูงยังก่อให้เกิด Cavitation เมื่อเกิดฟองอากาศ แล้วแตกออกจะเกิดความดันขึ้น โดยความดันที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อของตัว ถูกละลาย ดังนั้นจึงทำให้ตัวถูกละลายสามารถปลดปล่อยสารประกอบต่างๆภายในเซลล์ออกสู่ สารละลายได้สูงขึ้น จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าวิธีการสกัดแบบ UAE เป็นวิธีการสกัด ทางเลือกที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดได้ โดยสมการที่สร้างขึ้นและสภาวะ ที่เหมาะสมในการสกัดที่ถูกทำนายขึ้นจะถูกนำมาทวนสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันว่าสามารถใช้ทำนาย ปริมาณน้ำมันในการสกัดได้แม่นยำเพียงใด และสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นตัว แทนของสภาวะการสกัดของวิธีการสกัดอื่นๆเพื่อศึกษาว่าวิธีการสกัดแบบ UAE หรือการ ประยุกต์ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมี, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนหรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมเช่นการสกัด แบบ ME

4.3 การทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ

ทำการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการของการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้ คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยทำการสุ่มสภาวะการสกัด 7 สภาวะ จาก 15 สภาวะ (การ ทดลอง 1 ซ้ำ) หรือคิดเป็นประมาณ 46% ของการทดลองทั้งหมด เพื่อทวนสอบความเที่ยงตรงใน การทำนายปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสมการ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.4 และ 4.5

4.3.1 การสกัดแบบแช่ (ME)

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้น โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบแช่ โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันตอบรับที่ได้จากการสกัดกับปริมาณน้ำมันตอบรับที่ได้จากการทำนายในสภาวะการสกัดเดียวกันในหัวข้อ 4.2.1 วิเคราะห์สหสัมพันธ์ โดยพิจารณาจากค่า Pearson correlation (r) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากการทดลองพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในการสกัดจากการทดลองจริงสูง โดยค่าสหสัมพันธ์ในการสกัดแบบแช่ มีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ของสมการที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดจากข้าวสาลีในงานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) ที่มีค่าสหสัมพันธ์ของสมการที่สร้างขึ้นเท่ากับ 0.89-0.94 ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการการสกัดแบบแช่ที่สร้างขึ้นดังกล่าวพบว่า สมการที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในการสกัดเพียงพอ เมื่อพิจารณาค่า r แสดงให้ทราบว่าค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กันทางเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.29 ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และ Rajaei และคณะ (2010) ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.66 และ 1.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความเที่ยงตรงเพียงพอ สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้

4.3.2 การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE)

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่สร้างขึ้น โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ โดยวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันตอบรับที่ได้จากการสกัดกับปริมาณน้ำมันตอบรับที่ได้จากการทำนายในสภาวะการสกัดเดียวกันในหัวข้อ 4.2.2 จากการทดลองพบว่ามีความสัมพันธ์ (R^2), r และ MSE เท่ากับ 0.894, 0.896 และ 2.25 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า r แสดงให้ทราบว่าค่าทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กันทางเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.25 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และงานวิจัยของ Rajaei และคณะ (2010) ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.66 และ 1.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดได้ แต่มีค่าความคาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเมื่อ

เทียบกับสมการจากงานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นสมการที่สร้างขึ้นจึงเหมาะกับการทำนายแบบคร่าวๆ ที่ไม่ต้องการความละเอียดนัก

ตาราง 4.4 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบแช่

Std.	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วนระหว่างเมล็ด มะละกอต่อกะเชน (g/100 ml)	ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	
				ค่าทำนาย	ค่าทดลอง
9	31.18	6.00	10.00	19.54	18.54
5	38.00	3.00	15.00	13.53	12.93
13	48.00	6.00	1.59	28.51	27.59
14	48.00	6.00	18.41	13.69	12.17
2	58.00	3.00	5.00	24.20	25.51
6	58.00	3.00	15.00	15.38	14.38
10	64.82	6.00	10.00	22.66	21.31
				MSE =	1.29

ตาราง 4.5 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดของสภาวะที่ใช้ในการทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

Std.	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนระหว่างเมล็ด มะละกอต่อกะเชน (g/100 ml)	ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%)	
				ค่าทำนาย	ค่าทดลอง
11	31.18	30.00	10.00	21.76	21.54
1	38.00	15.00	5.00	26.80	26.46
2	38.00	45.00	5.00	26.27	25.11
6	38.00	45.00	15.00	19.63	22.80
13	48.00	30.00	1.57	29.00	28.20
14	48.00	30.00	18.41	19.84	21.50
7	58.00	15.00	15.00	20.52	21.41
				MSE =	2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทวนสอบความเที่ยงตรงของสถานะที่เหมาะสมในการสกัด

สถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบแช่ (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังตารางที่ 4.6 สถานะที่ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับสูงสุดของวิธีการสกัดแบบ ME และ UAE คือ ณ สถานะ 64.82 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการสกัดแบบ ME และ UAE ในสถานะที่ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับสูงสุด ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับ 28.07 ± 0.72 , MSE = 2.03 และ 28.54 ± 0.61 , MSE = 0.66 ตามลำดับ ส่วนสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบ ME และ UAE โดยกำหนดเงื่อนไขใช้อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและเฮกเซนในการสกัดน้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดการใช้พลังงานและสารละลาย โดยยังคงให้ปริมาณน้ำมันตอบรับสูงสุด คือ ณ สถานะ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ให้ปริมาณน้ำมันตอบรับ 27.99 ± 1.16 , MSE = 1.54 และ 26.66 ± 0.24 , MSE = 0.42 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 สถานะที่เหมาะสมของการสกัดแบบ ME และ UAE

วิธีการสกัด	เงื่อนไข	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา	สัดส่วน	ค่าจริง (ค่าเฉลี่ย)	ค่าทำนาย (ค่าเฉลี่ย)	MSE	Error (%)
ME	ประหยัด	58.00	9.00 ชม.	5g/100ml	27.99	28.67	1.54	5.37
	น้ำมันตอบรับสูงสุด	64.82	11.00 ชม.	2g/100ml	28.07	29.34	2.03	6.92
UAE	ประหยัด	47.00	35.47 นาที	5g/100ml	26.66	27.45	0.42	1.53
	น้ำมันตอบรับสูงสุด	40.00	24.00 นาที	2g/100ml	28.54	29.15	0.66	2.26

จากการทดลองเมื่อพิจารณาจาก mean square of error หรือ MSE พบว่า สมการการสกัดน้ำมันจากวิธี ME และ UAE มีค่า MSE ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับ MSE จากงานวิจัยของของ Liyana-Pathirana และ Shahidi (2005) และงานวิจัยของ Rajaei และคณะ (2010) ดังแสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอของวิธีการสกัดแบบ ME และ UAE มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สามารถนำไปใช้ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของวิธีการสกัดต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C (ML), การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH), การสกัดแบบรีฟลักซ์ (RE) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยสมบัติทางเคมีของน้ำมันเป็นดัชนีที่บอกถึงคุณภาพของน้ำมัน

Acid Value (AV) และ Free Fatty Acid (FFA) เป็นตัวชี้วัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่เกิดจากการแตกตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอล (Pellegrini และคณะ., 2011) โดยกรดไขมันจะส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพลดลง จากงานวิจัยของ Tamzid และคณะ (2007) พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ UAE มี AV และ FFA น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามด้วย ML, RE และ MH ตามลำดับ โดยการสกัดแบบ ML และ RE มี AV และ FFA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดทั้งสองมีผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าการสกัดแบบ UAE มีผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลน้อยที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่า AV และ FFA อาจเกิดจากสภาวะการสกัดที่มีปัจจัยที่ช่วยเร่งการเกิดออกซิเดชัน เช่น การสัมผัสออกซิเจน ความร้อนและแสง (Ulu, 2004 ; Liu และคณะ, 2014) น้อยกว่าวิธีการสกัดอื่นๆ ความร้อนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพลดลง (Ulu, 2004) และอุณหภูมิที่สูงยังส่งผลให้น้ำมันมี Acid Value สูงขึ้น (Atinafu และ Bedemo, 2011) ซึ่ง UAE เป็นวิธีการสกัดที่ใช้อุณหภูมิก่อนข้างต่ำ (47°C) เมื่อเทียบกับการสกัดอื่นๆ (RE 70°C และ MH 58°C) นอกจากนี้จากงานวิจัยนี้ยังพบว่าการประยุกต์ sonication เพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันไม่ส่งผลกระทบต่อไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไม่ช่วยเร่งให้เกิดการออกซิเดชันในน้ำมันที่สกัดได้ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	AV (mg KOH.g-1)	FFA (%)	PV (mequiv./kg)	p-AV	IV ^{ns} (mg I ₂ /100)
ML (30°C, 9 ชม.)	1.01 ± 0.00 ^b	0.51 ± 0.00 ^b	2.42 ± 0.01 ^b	6.39 ± 0.61 ^{ab}	60.62 ± 1.58
MH (58°C, 9 ชม.)	1.32 ± 0.03 ^c	0.66 ± 0.01 ^c	4.47 ± 0.23 ^c	5.14 ± 0.25 ^a	61.68 ± 1.19
RE (70°C, 6 ชม.)	1.03 ± 0.03 ^b	0.52 ± 0.01 ^b	NA	7.75 ± 0.78 ^b	61.52 ± 2.05
UAE (47°C, 35.47 นาที)	0.94 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.00 ^a	1.08 ± 0.49 ^a	5.54 ± 1.05 ^a	63.27 ± 1.22

หมายเหตุ : a, b, c คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$),
NA คือ ไม่มีข้อมูล

ค่า Peroxide Value (PV) ของน้ำมันที่สกัดได้ทั้งสี่วิธี เป็นไปในทางเดียวกันกับค่า Acid Value (AV) จากงานวิจัยนี้พบว่าวิธีการสกัดแบบ UAE ให้น้ำมันที่มีค่า PV น้อยที่สุด คือ 1.08 mequiv / kg ตามด้วย การสกัดแบบ ML และ MH คือ 2.42 และ 4.47 mequiv / kg ตามลำดับ โดยน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ RE มีค่า PV น้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ ค่า Peroxide Value หรือ PV เป็นดัชนีบ่งชี้ขั้นเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืนและตรวจวัดผลิตภัณฑ์ขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันในไขมัน (Pellegrini และคณะ., 2011) โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดนี้จำเพาะกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Fernandes และคณะ., 2012) ซึ่งนำไปสู่การลดลงของคุณภาพน้ำมัน (Babalola และ Apata, 2011) จากงานวิจัยนี้พบว่า PV ของน้ำมันที่สกัดจาก UAE มีค่าน้อยที่สุด เป็นไปในทิศทางเดียวกับ AV เนื่องจากการสกัดแบบ UAE ส่งผลให้น้ำมันเกิดการออกซิเดชันน้อยที่สุด โดย AV หรือกรดไขมันอิสระ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมัน ซึ่ง PV เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากน้ำมันที่สกัดได้มีค่า PV สูง แสดงถึงการเกิดออกซิเดชันมาก ซึ่งส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีค่า AV มากตามไปด้วย จากงานวิจัยของ Onyeike และ Acheru (2002) พบว่า น้ำมันละหุ่ง, มะพร้าว, ถั่วลิสง, เมล่อน, ถั่ว และเมล็ดปาล์ม มีค่า PV เท่ากับ 22.7, 40.0, 20.0, 21.3, 23.3 และ 20.0 mg/g ของตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่า PV ของเมล็ดปาล์มจากงานวิจัยของ (Okogeri และ Okoro, 2014) คือ 3.35-16.00 meq/kg พบว่าค่า PV ที่แตกต่างกันไม่ได้ขึ้นกับชนิดของน้ำมันเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันด้วย (Moreno และคณะ., 2003) โดยเปอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนเป็น secondary product เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ได้ (Dawodu และคณะ., 2015) จากงานวิจัยนี้พบว่า น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ RE มีค่า PV น้อยมาก อาจเกิดจากการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น secondary product ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้อยกว่าปริมาณการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน โดย p-Anisidine Value (p-AV) เป็นดัชนีบ่งชี้ระดับ Secondary product ที่เกิดจากปฏิกิริยา Lipid oxidation ต่อจากการเกิด Peroxide หรือสารประกอบที่เกิดจากการแตกตัวของ Peroxide ซึ่งจากการทดลองพบว่า RE ให้น้ำมันที่มี p-AV มากที่สุด ตามด้วย ML, UAE และ MH มีค่า 7.75, 6.39, 5.54 และ 5.14 ตามลำดับ และอาจมีความสัมพันธ์กับค่า PV ของน้ำมันที่สกัดได้จาก RE ที่มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ จากงานวิจัยของ Guillermo และคณะ (1999) พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อการแตกตัวของ PV เป็น p-Anisidine น้อยมาก ดังนั้นในผลการวิจัยนี้การแตกตัวของ PV เป็น p-Anisidine ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเป็นหลัก

เมื่อพิจารณา Iodine Value Value (IV) เป็นค่าบ่งชี้ความไม่อิ่มตัวของน้ำมันและไขมัน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพันธะคู่ของน้ำมัน (Aberounmand, 2010 ; Sanli และคณะ, 2014) จากงานวิจัยนี้พบว่า IV ของน้ำมันที่ได้จากการสกัดทั้งสี่วิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากงานวิจัยของ Dawodu และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 25-300°C ต่อ IV ของน้ำมัน พบว่าอุณหภูมิดังกล่าวไม่มีผลต่อ Iodine Value อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากวิธีการสกัดทั้งสี่วิธีไม่มีวิธีใดใช้อุณหภูมิสูงเกิน 300°C จึงไม่ส่งผลต่อค่า IV ในน้ำมันที่สกัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า sonication ที่นำมาใช้ในการสกัดแบบ UAE ไม่มีผลกระทบต่อระดับความไม่อิ่มตัวหรือ IV ของน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2013) ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดแบบซอห้กเลตและการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq 0.05$) จากงานวิจัยนี้พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอมี IV อยู่ในช่วง 60.62-63.27 mg I₂/100 ซึ่งสูงกว่าค่า IV ของ น้ำมันละหุ่ง, มะพร้าว, ถั่วลิสง, เมล่อน, ถั่ว และเมล็ดปาล์ม ที่มีค่า IV เท่ากับ 20.0, 17.6, 11.2, 19.2, 18.7 และ 33.3 g/100g ตามลำดับ (Onyeike และ Acheru, 2002 ; Sanli และคณะ, 2014 ; Aberounmand, 2010) จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า sonication ไม่มีผลกระทบต่อระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสกัดแบบ UAE หรือการประยุกต์ใช้ sonication ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ ไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน ในทางกลับกัน น้ำมันที่สกัดโดยวิธี UAE ยังมีคุณภาพดีเมื่อพิจารณาจากค่า AV, FFA, PV, p-AV และ IV เปรียบเทียบกับการสกัดแบบ ML, MH และ RE

4.6 ศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ปริมาณฟีนอลิกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธี ML , MH , RE และ UAE แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าผลผลิตน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบ RE มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด ตามด้วยวิธีการสกัดแบบ MH , UAE และ ML น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดแบบ RE มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเนื่องจากความร้อนและเวลาในการสกัดที่มากของ RE ช่วยเอื้ออำนวยให้สารประกอบในเนื้อเยื่อพืชออกสู่สารละลายได้มากขึ้น จากงานวิจัยของ Zuzana (2012) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ที่สุดในเมล็ดมะละกอ (Malacrida และคณะ., 2011) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกสามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 90°C โดยการสกัดแบบ RE ใช้อุณหภูมิเพียง 70°C ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิที่ใช้พบว่าสถานะในการสกัดของ RE ไม่มีผลต่อปริมาณฟีนอลิกในน้ำมันที่สกัดได้ ในทางกลับกันการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด (ไม่เกิน 90°C) ยังส่งเสริมให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกจากตัวอย่างได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	Total phenolic ($\mu\text{g GAE/g}$)	DPPH ($\mu\text{Eq Trolox/g}$)	ABTS ($\mu\text{Eq Trolox/g}$)
ML (30°C, 9 ชม.)	188.43 \pm 10.58 ^a	6.47 \pm 1.06 ^a	11.35 \pm 0.23 ^a
MH (58°C, 9 ชม.)	204.62 \pm 15.65 ^a	10.36 \pm 2.36 ^b	14.61 \pm 1.71 ^b
RE (70°C, 6 ชม.)	276.05 \pm 31.12 ^b	19.89 \pm 0.37 ^d	25.39 \pm 0.32 ^d
UAE (47°C, 35.47 นาที)	195.33 \pm 15.49 ^a	14.59 \pm 0.48 ^c	19.87 \pm 1.35 ^c

หมายเหตุ : a, b, c คือ อักษรกำกับในแนวนอนต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$), NA คือ ไม่มีข้อมูล

ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธี ML , MH , RE และ UAE โดยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าผลผลิตน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบ RE มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ตามด้วย วิธีการสกัดแบบ MH , UAE และ ML จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอพบว่าค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกที่ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากฟีนอลิกเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ที่สุดในเมล็ดมะละกอ (Malacrida และคณะ., 2011)

ทำการหาความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ($R^2 = 0.713$ และ 0.703 ตามลำดับ) จากงานวิจัยนี้พบว่า

เอกสารฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอมาจากปริมาณของฟีนอลิกประมาณร้อยละ 70 และคาดว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจากสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นประมาณร้อยละ 30 จากการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของวิธีการสกัดสี่วิธีพบว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ RE มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ตามด้วย UAE, MH และ ML ซึ่งมีความแตกต่างจากการทดสอบปริมาณฟีนอลิกเล็กน้อย น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ MH มีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่า UAE แต่น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ UAE มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า อาจเนื่องมาจากสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่สารมาตรฐาน (แกลลิก) ในน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ UAE ได้รับผลกระทบน้อยกว่าการสกัดแบบ MH ส่งผลให้น้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ UAE มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า

จากผลการทดลองพบว่า การสกัดแบบ UAE สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้น้อยกว่าการสกัดแบบ MH แต่ในทางกลับกันวิธีการสกัดแบบ UAE มีผลกระทบต่อประกอบฟีนอลิกชนิดอื่น (นอกจากแกลลิกที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน) ในน้ำมันเมล็ดมะละกอน้อยกว่าวิธีการสกัดแบบ MH จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกโดยวิธีการสกัดแบบ UAE ที่อุณหภูมิไม่เกิน 90°C เพื่อการสกัดที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงที่สุด

4.7 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ผลของคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดโดยวิธีการสกัดแบบแห้งที่อุณหภูมิ 58°C (ME) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) โดยสภาวะการสกัดได้มาจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบประหยัดพลังงานและสารละลายในหัวข้อที่ 4.2 ตรวจสอบด้วยวิธี differential calorimetry scanning (DSC) ศึกษาในช่วงอุณหภูมิ -70 ถึง 40 องศาเซลเซียส (5 องศาเซลเซียส/นาที) ซึ่งนำมาใช้ในการกำหนดหาลักษณะอุณหภูมิของน้ำมันในขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิสูงสุดคือการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวซึ่งสัมพันธ์กับการหลอมเหลวโดยสมบูรณ์ การเปลี่ยนสถานะนี้ช่วยให้แนวทางในการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานและการเก็บรักษา ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยวิธี ME และ UAE แสดงดังตารางที่ 4.9 จากการทดลองพบว่าจุดเริ่มต้นการเกิดจุดหลอมเหลว (onset temperature; T_o) อยู่ที่ -12.52 และ -13.00 องศาเซลเซียสตามลำดับ, ค่าอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature; T_p) อยู่ที่อุณหภูมิ -3.79 และ -7.54 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดจุดหลอมเหลว (conclusion temperature; T_c) ของวิธีการสกัดแบบ ME เกิดที่อุณหภูมิ 5.96 องศาเซลเซียส ขณะที่ของวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดเกิดที่อุณหภูมิ 0.77 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	To	Tp	Tc	Tcr	พลังงานที่ดูดเพื่อหลอมละลาย (J/g)	พลังงานที่คายเพื่อตกผลึก (J/g)
	(°C)					
ME	-12.52	-3.79	5.96	-39.24	-74.68	72.17
UAE	-13.00	-7.54	0.77	-38.37	-79.68	68.27

หมายเหตุ To = onset temp., Tp = peak temp., Tc = conclusion temp., Tcr = crystallized temp.

ลักษณะการคายพลังงานของการตกผลึก (ภาพที่ 4.3) ของน้ำมันที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธีการที่ได้ของน้ำมันที่ได้จากการสกัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยที่การตกผลึกของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบ ME และการสกัดแบบ UAE ตกผลึกที่อุณหภูมิ -39.24 และ -38.37 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Puangsri และคณะ (2005) รายงานว่าพฤติกรรมของจุดหลอมเหลวและตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีจุดหลอมเหลวเริ่มต้น (onset temperature; To) ที่ช่วงอุณหภูมิ -13.9 ถึง -12.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature; Tp) ที่ช่วงอุณหภูมิ -3.5 ถึง -2.9 และอุณหภูมิสุดท้ายการหลอมเหลว (conclusion temperature; Tc) ที่อุณหภูมิ 9.7 ถึง 10.5 องศาเซลเซียส และผลึกของน้ำมันตกผลึกที่อุณหภูมิ -44.81 ถึง -42.21 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ามีอุณหภูมิของ To, Tp, Tc และ Tcr ใกล้เคียงกันกับผลการทดลองที่ได้รับ โดยเฉพาะน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบ ME แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองดังกล่าวของ Puangsri และคณะ (2005) กับ To, Tp, Tc และ Tcr ของน้ำมันที่สกัดโดยวิธีการสกัดแบบ UAE พบว่า น้ำมันที่สกัดโดยวิธี UAE จะมีอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า

จากงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2014) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากวิธีการสกัดแตกต่างกัน (การสกัดแบบแช่ที่ 25°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง, การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง, การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, การสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, การสกัดแบบซอห้กเลตและการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด) พบว่าจุดหลอมเหลวเริ่มต้น (onset temperature; To) ที่ช่วงอุณหภูมิ -15 ถึง -10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature; Tp) ที่ช่วงอุณหภูมิ -3.5 ถึง -1.8 และอุณหภูมิสุดท้ายการหลอมเหลว (conclusion temperature; Tc) ที่อุณหภูมิ 5 ถึง 9 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อจุดหลอมเหลวอย่างมีนัยสำคัญ โดยจุดหลอมเหลวที่ต่างกันอาจเกิดจาก saturated TAGs ที่แตกต่างกัน เช่น distearoyl

oleate (SSP), dipalmitoyl linolein (PLP) หรือ dipalmitoyl olein (POP) (Samaram และคณะ, 2014) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

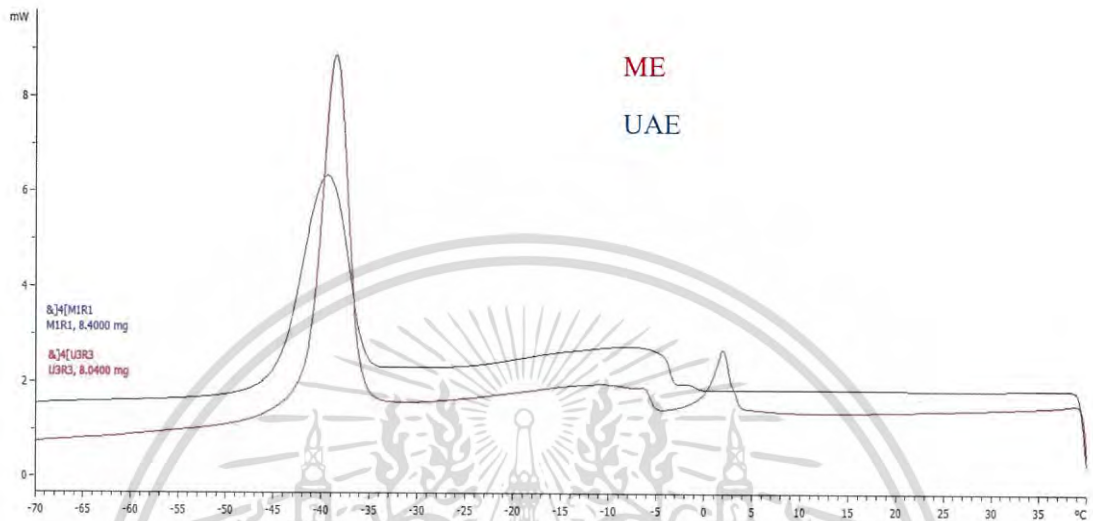
2013) ซึ่งจากผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ที่พบว่าน้ำมันที่สกัดโดยวิธีการสกัดแบบ UAE มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดแบบแช่ อาจเนื่องจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันส่งผลต่อกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดังกล่าว ส่งผลให้จุดหลอมเหลวของน้ำมันชนิดเดียวกันจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวแตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ดูดหรือคายเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว (การหลอมเหลว) หรือจากของเหลวเป็นของแข็ง (การตกผลึก) ของน้ำมันมะละกอที่ได้จากการสกัดแบบ ME และ UAE พบว่า ปริมาณพลังงานที่น้ำมันดูดเข้าไปเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว คือ 74.68 และ 79.68 J/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณพลังงานที่น้ำมันคายออกมาเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง คือ 72.17 และ 68.27 J/g ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจะต้องดูดพลังเข้าไปในปริมาณมากกว่าเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีอุณหภูมิตกผลึกต่ำกว่าจะต้องคายพลังงานออกมาในปริมาณที่มากกว่าเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง

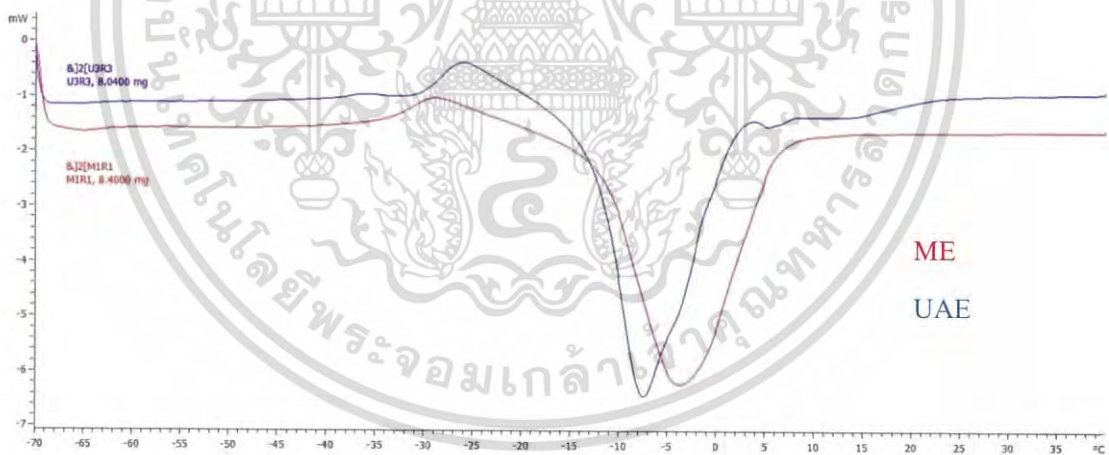
คุณสมบัติการตกผลึกของน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแต่ละชนิด โดยเฉพาะชนิดและปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ข้อมูลของอุณหภูมิในการตกผลึกนี้จะช่วยในการระบุชนิดของน้ำมันและควบคุมกระบวนการกลั่นอย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยให้ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตหรือเก็บรักษาเพื่อไม่ให้น้ำมันเปลี่ยนสภาพและตกผลึกเป็นไขมัน ดังนั้นจากการทดลองทำให้ทราบว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกามีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ ไม่เป็นไขที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Malacrida และคณะ (2011) ยังระบุว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกามี Linoleic, Linolenic และ Arachidic ที่เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกรดไขมันประเภท MUFA (monounsaturated fatty acid) 67.5-77.6% (Samaram และคณะ., 2013) และมีสัดส่วนใกล้เคียงกับ MUFA ในน้ำมันมะกอก (55.3-86.5%) (Selvador และคณะ, 2001 ; Codex และคณะ, 2011) ซึ่ง MUFA เป็นกรดไขมันที่สามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ (Kein และคณะ., 2014) จากข้อมูลดังกล่าวจึงทำให้ทราบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (MUFA) ปริมาณมาก มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น ดังนั้นน้ำมันเมล็ดมะละกอจึงเหมาะที่จะเป็นน้ำมันที่ใช้รับประทานแบบไม่ผ่านความร้อน เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำสลัด เป็นต้น

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาแสดงว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิตกผลึกใช้เป็นบรรทัดฐานในการแยกชนิดของน้ำมัน การที่น้ำมันมีจุดหลอมเหลวและการตกผลึกต่างกันนั้นก็

ขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอมของน้ำมันแต่ละชนิด นอกจากนี้สามารถใช้จำแนกความแตกต่างของตัวอย่างชนิดน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันออกไป เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำน้ำมันไปใช้ในการแยกส่วนหรือทำผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป (ประทุมพร, 2557)



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอ



ภาพที่ 4.4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดมะละกอพบว่า เมล็ดมะละกามีสัดส่วนของไขมันที่สูงถึงประมาณ 30% ซึ่งสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งไขมันบริโภคจากพืชในอนาคตได้ จากการวิเคราะห์ Iodine value หรือการหาระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพบว่า น้ำมันจากเมล็ดมะละกามีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) สูง แสดงให้เห็นว่า น้ำมันจากเมล็ดมะละกอเหมาะสมที่จะนำมาบริโภค นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่ช่วยชะลอให้น้ำมันที่สกัดได้ดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลง เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอพบว่าในสถานะอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น น้ำมันเมล็ดมะละกอยังคงสถานะเป็นของเหลว เมื่อพิจารณาจาก Iodine value และสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอพบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ประกอบอาหาร หรือบริโภคแบบไม่ผ่านความร้อน เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวไม่เสถียรต่อความร้อน เช่น น้ำสลัด เป็นต้น

จากการสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอโดยวิธีการสกัดแบบ ME พบว่าปัจจัยในการสกัดทั้งสาม ได้แก่ อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเป็นแบบผันตรง เมื่ออุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดมากขึ้น และสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซนน้อยลงหรือมีการใช้เฮกเซนมากขึ้น จะส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้นตามไปด้วย จากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของพจน์ในการสกัดแบบ ME พบว่าข้อมูลการสกัดแบบ ME เหมาะสมที่จะสร้างเป็นสมการเชิงเส้นหรือ Linear model แสดงดังสมการ 3

$$\text{Recovery oil} = 20.99887 + 0.092666x_1 + 0.74470x_2 - 0.88160x_3 \quad (3)$$

เมื่อ $x_1 =$ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

$x_2 =$ ระยะเวลาในการสกัด (ชั่วโมง)

$x_3 =$ สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (กรัม/ 100 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุด ตามด้วยสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการดำเนินการสกัดจริง อุณหภูมิไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดที่มากขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนจึงไม่ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงขึ้นในการสกัดแบบ ME จากการทดลองพบว่าวิธีการสกัดแบบแช่เป็นวิธีการสกัดที่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการสกัดมาก เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในระดับอุตสาหกรรมที่ต้องการความรวดเร็ว วิธีการสกัด ME จึงไม่เหมาะสมในการสกัดในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดที่นานเกินไป แต่ข้อดีของวิธีการสกัดแบบ ME คือ ง่ายต่อการดำเนินงานและใช้อุปกรณ์ในการสกัดน้อย ดังนั้นจึงเหมาะกับการสกัดขั้นเริ่มต้นหรือเหมาะแก่การสกัดที่ไม่เป็นทางการมากนัก

จากการสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอต่อกโดยวิธีการสกัดแบบ UAE พบว่าปัจจัยในการสกัดทั้งสาม ได้แก่ อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด จากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของพจน์ในการสกัดแบบ UAE พบว่าข้อมูลการสกัดแบบ ME เหมาะสมที่จะสร้างเป็นสมการกำลังสองหรือ Quadratic model แสดงดังสมการ 4

$$\text{Recovery oil} = 23.95100 + 0.41943x_1 - 0.082593x_2 - 148.91344x_3 + 0.00440833x_1x_2 + 1.88250x_1x_3 + 0.45833x_2x_3 - 0.007094x_1^2 - 0.0020925x_2^2 - 48.32547x_3^2 \quad (4)$$

เมื่อ x_1 = อุณหภูมิ (°C)

x_2 = ระยะเวลาในการสกัด (นาที)

x_3 = สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน (กรัม/ 100 มิลลิลิตร)

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอต่อกโดยวิธีการสกัดแบบ ME และ UAE สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบแช่ (ME) แบบประหยัดพลังงานและสารละลายในการสกัดแบบแช่ ได้แก่ อุณหภูมิ 58°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ส่วนสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นประโยชน์ของการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 64.82°C เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 2 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดเท่ากับ 27.99 และ 28.07% หรือ ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด 95.40 และ 95.67% ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE) แบบประหยัดพลังงานและสารละลายในการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 47°C เป็นเวลา 35.47 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 5 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ส่วนสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดมากที่สุดโดยไม่จำกัดปัจจัยในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อกเฮกเซน 2 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดเท่ากับ 26.66 และ 28.54% หรือ ร้อยละ 91.82 และ 97.27 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแบบ ME ใช้ระยะเวลาในการสกัดมากกว่าการสกัดแบบ UAE ถึงประมาณ 15 เท่า

จากการศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอกโดยวิธีการสกัดแบบ UAE พบว่าสามารถให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดสูงในสภาวะอุณหภูมิต่ำ, ระยะเวลาในการสกัดสั้น หรือช่วยลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด ซึ่งส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้สัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันน้อยลง อาทิ ความร้อน ออกซิเจนและแสง เป็นต้น ทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพดีกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เนื่องจากวิธีการสกัดแบบ UAE มีการใช้ sonication เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงหรือระยะเวลาในการสกัดนาน วิธีการสกัดแบบ UAE จึงเหมาะสมในการใช้สกัดสารประกอบทางธรรมชาติที่ไม่เสถียรต่อความร้อน ออกซิเจน หรือแสง เป็นต้น

บรรณานุกรม

- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
ปทุมพร ชาติไทย. “ลักษณะของน้ำมันเมล็ดมะรุมสกัดด้วยวิธีแตกต่าง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศา
สตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง. 2557.
- วรัญญา วงศ์วานิช. 2558. “การเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง
ช่วยสกัดกับวิธีการแช่”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุเมธ บุญเกิด. 2555. การใช้อัลตราซาวด์ในการช่วยสกัดพืชสมุนไพร [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<http://www.gpo.or.th/rdi/htm/Ulytasound/html> (วันที่สืบค้น 4 พฤษภาคม 2557)
- วสุธร วรสุทรยางกูร และ สุดา เงาะไพรวรรณ. 2559. “การเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันเมล็ด
มะละกอสกัด แบบแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอัลตราโซนิก และไมโครเวฟ.” ปัญหาพิเศษ
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง.
- Aberounmand, A. 2010. “Identification and Quantification of Some Iranian Fishes Oils
Properties”. **Journal of Fishes and Marine Science**. 2: 78-81.
- Afolabi, A.S., Akuiyibo, S.M., Rotimi, S.O. and Adeyemi, A.O. 2011. “In vivo evaluation of lipid
and antioxidants qualities of Carica papaya seed oil”. **Journal of Natural Products**.
4: 125-135.
- Akuiyibo, S., Afolabi, I. and Rotimi, S. 2011. “In vivo evaluation of lipid and antioxidants
qualities of Carica papaya seed oil”. **Journal of Natural Products**. 4: 125-135.
- Allinger, H. 1975. **American Laboratory**. 7 (10), 75 (1975).
- AOAC. 2011. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists
19th ed.** Virginia: Gaithersburg, Md.
- AOCS. 1997. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists’
Society 5th ed.** USA: Gaithersburg, Md.
- AOCS. 2009. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists’
Society 6th ed.** USA: Gaithersburg, Md.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Atinafu, D.G. and Bedemo, B. 2011. "Estimation of total free fatty acid and cholesterol content in some commercial edible oils in Ethiopia, Bahir DAR". **Journal of Cereals and Oil Seeds**. 2: 71-76.
- Babalola, T.O.O. and Apata, D.F. 2011. "Chemical and quality evaluation of some alternative lipid sources for aqua feed production". **Agriculture and biology journal of America**. 2(6): 935-943.
- Baillie, J.K. Thompson, A.A.R., Irving, J.B., Bates, M.G.D., Sutherland, A.I., Macnee, W., Maxwell, S.R.J. and Webb, D.J. 2009. "Oral antioxidant supplementation does not prevent acute mountain sickness: double blind, randomized placebo-controlled trial. QJM". **Journal of the Association of Physicians**. 102(5): 341-348.
- Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L.L., Simonetti, R.G. and Gluud, C. 2007. "Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis". **Journal of JAMA**. 297(8): 842-57.
- Box George, E.P., Hunter, W.G. and Stuart Hunter, J. 1978. **Statistics for experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. New york: Wiley.
- Buamann, A.R., Martin, S.E. and Feng, H. 2005. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. **Journal of Food Prot.** 11: 2333-2340.
- Codex Standard for Olive oil. 2001. "Virgin and Refined, and for Refined Olive-Pomace Oil. In Codex Alimentarius; Codex Alimentarius Commission; Quebec, Canada". **Codex Stan.** 1989(1): 1-8.
- Dakare, M.A., Ameh, D.A. and Agbaji, A.S. 2011. "Biochemical Assessment of 'Daddawa' Food Seasoning Produced by Fermentation of Pawpaw (*Carica papaya*)Seeds". **Journal of Nutrition**. 10(3): 220-223.
- Dar, R.N., Garg, L.C. and Pathak, R.D. 1965. "Anthelmintic activity of *Carica papaya* seeds". **Indian Journal of Pharmacy**. 27: 335-336.
- Dawodu, M.O., Olutona, G.O. and Obimakinde, S.O. 2015. "Effect of Temperature on the Chemical Characteristics of Vegetable Oils Consumed in Ibadan". **Journal of Nutrition**. 14(10): 698-707.
- Draper, N.R. 2006. **Response surface design**. "Encyclopedia of Statistical Science. 2th ed. Edited by Samuel Kotz. New York. Wiley Press.
- Earpin, C. and Chamchumroon, P. 2007. "Effect of Temperature and Time on Antioxidant Activity of Dried Onion". **Journal of Agricultural science**. 38(6) : 139-142.

- El'piner, I.E. 1964. **Ultrasound: Physical, Chemical, and Biological Effects (Consultants Bureau)**. New York: Consultants Bureau. 53-78.
- Fernandes, D.M., Serqueira, D.S., Portela, F.M., Assuncao, R., Munoz, R.A. and Terrones, M.G. 2012. "Preparation and characterization of methylic and ethylic biodiesel from cottonseed oil and effect of tert-butylhydroquinone on its oxidative stability". **Journal of Fuel**. 97: 658-661.
- Guillermo, H.C., Marta, I.V. and Amalia, A.C. 1999. "Oxidation of Sunflower Oil During Storage". **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 76(12): 1437-1443.
- Herzberg, G. 1971. **The spectra and structures of simple free radicals**. USA: Dover phoenix edition.
- Hrnecirik, K. and Fritsche, S. 2004. "Comparability and reliability of difference techniques for the determination of phenolic compounds in virgin olive oil". **Journal of Lipid Science and Technology**. 106: 540-549.
- Kermanshaia, R., McCarryb, B.E., Rosenfeldc, J., Summersa, P.S., Elizabeth, A., George, W. and Sorgera, J. 2001. Benzyl isothiocyanate is the chief or sole anthelmintic in papaya seed extracts. **Journal of Phytochemistry**. 57: 427-435.
- Kien, C.L., Bunn, J.Y., Stevens, R., Bain, J., Ikayeva, O., Crain, K., Koves, T.R. and Muoio, D.M. 2014. "Dietary intake of palmitate and oleate has broad impact on systemic and tissue lipid profiles in humans". **Journal of American Society for Nutrition**. 99: 436-45.
- King, C.J. 1980. **Separation Processes (2nd ed.)**. USA: McGraw Hill.
- Kim, S.M. and Zayas, J.F. 1989. "Processing parameter of chymosin extraction by ultrasound". **Journal of Food Science**. 54: 700.
- Krishnakumari, M.K. and Majumder, S.K. 1960. "Studies on anthelmintic activities of seeds of *Carica papaya* Linn". **Annals of Biochemistry and Experimental Medicine**. 20: 551-556.
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B.I.O. and Heinz, V. 2002. "Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing". **Journal of Proceedings of the Nutrition Society**. 61: 311-318.
- Lee, J., Chang, P.S. and Lee, J. 2007. "Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)". **Journal of Food Chemistry**. 103: 662-669.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Liu, L., Liu, Z., Tang, G. and Tan, W. 2014. "Esterification of free fatty acids in waste cooking oil by heterogeneous catalysts". **Transactions of Tianjin University**. 20: 266-272.
- Liu, Y., Zhang, L., Meng, Y. and Huang, L. 2015. "Benzyl isothiocyanate inhibits breast cancer cell tumorigenesis via repression of the FoxH1-Mediated Wnt/ β -catenin pathway". **International Journal of Clinical and Experimental Medicine**. 8(10): 17601-17611.
- Liyana-Pathirana, C. and Shahidi, F. 2005. "Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology". **Journal of Food chemistry**. 93: 47–56.
- Maisarah, A.M., Nurul Amira, B., Asmah, R. and Fauziah, O. 2013. "Antioxidant analysis of different parts of *Carica papaya*". **International Food Research Journal**. 20(3): 1043-1048.
- Malacrida, C.R., Kimura, M. and Jorge, N. 2011. "Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.)". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 31(4): 929-934.
- Malathi, P. and Vasugi, S.R. 2015. "Evaluation of mosquito larvicidal effect of *Carica Papaya* against *Aedes Aegypti*". **International Journal of Mosquito Research**. 2(3): 21-24.
- Mani, S., Jaya, S. and Vadivambal, R. 2007. **Food Bioprod. Process.** United Kingdom: Institution of Chemical Engineers.
- Montgomery Douglas, C. 1991. **Design and Analysis of Experimentals**, 3rd ed. New York: John Willey & Sons.
- Moreno, A.O., Dorantes, L., Galíndez, J. and Guzmán, R.I. 2003. "Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil". **Journal of Agric Food Chemistry**. 8: 16-21.
- Mummery, C.L. "The effect of ultrasound on fibroblasts in vitro". Ph.D. Thesis, University of London, London, England. 1978.
- Okogeri, O. and Okoro, B. 2014. "Storage stability and sensory attributes of crude palm oil adulterated with red dye". **Journal of Agriculture and Forestry Science**. 2: 10-17.
- Onyeike, E.N. and Acheru, G.N. 2002. "Chemical composition of selected Nigerian oil seeds and physicochemical properties of the oil extracts". **Journal of Food Chemistry**. 77: 431-437.
- Orsavova, J., Misurcova, L., Ambrozova, J.V. and Melck, J. 2015. "Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids”. **International Journal of Molecular Science**. 16: 12871-12890
- Panase, T.B. and Paranjpe, A.S. 1943. Isolation of carpasemine from papaya seeds. **Proceedings of the Indian Academy of Science**. 18: 140.
- Pellegrini, N., Visioli, F., Buratti, S. and Brighenti, F. 2011. “Direct analysis of total antioxidant activity of olive oil and studies on the influence”. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. 49: 2532-2538.
- Puangstri, T., Abdulkarim, S.M. and Ghazali, H.M. 2005. “Properties of Carica papaya L. (Papaya) seed oil following extraction using solvent and aqueous enzymatic methods”. **Journal of Food Lipids**. 12: 62–67.
- Rajaei, A., Barzegar, M., Hamidi1, Z. and Saharil, M.A. 2010. “Optimization of Extraction Conditions of Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistachia vera*) Green Hull through Response Surface Method”. **Journal of Agricultural Science and Technology**. 12: 605-615.
- Reeta, R., Singhanian, R., Sukumran, K. and Ashok, P. 2007. “Improved Cellulase Production by *Trichoderma reesei* RUT C30 under SSF Through Process Optimization”. **Journal of Applied Biochemistry and Biotechnology**. 142: 60-70.
- Sablani Shyam, S. 2007. **Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques**. New York: CRC Press.
- Salvador, M.D., Aranda, F., Gómez-Alonso, S. and Fregapane, G. 2001. “Cornicabra virgin olive oil: A study of five crop seasons. Composition, quality and oxidative stability”. **Journal of Food Chemistry**. 74: 267–274.
- Sanli, H., Canakci, M. and Alptekin, E. 2014. “Predicting the higher heating values of waste frying oils as potential biodiesel feedstock”. **Journal of Fuel**. 115: 850-854.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Ping Tan, C. and Mohd Ghazali, H. 2013. “Ultrasound-Assisted Extraction(UAE) and Solvent Extraction to Papaya Seed Oil:Yield,Fatty acid Composition and Triacylglycerol Profile”. **Journal of Molecule**. 18: 12474-12487.
- Samarama, S., Mirhosseinia, H., Tana, C.P. and Ghazaliba, H.M. 2014. “Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seedoil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color andoxidative stability”. **Journal of Industrial Crops and Products**. 52: 702– 708.

- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M., Bordbarand, S. and Serjouie, A. 2015. "Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability". **Journal of Food Chemistry**. 172: 7–17.
- Syed, H.M., Kunte, S.P., Jadhav, B.A. and Salve, R.V. 2012. "The Extraction and Properties of Carica papaya Seed Oil". **International Journal of Applied, Physical and Bio-Chemistry Research (IJAPBCR)**. 2: 33-43.
- Tamzid, H.M., Alam, M.T. and Islam, M.A.U. 2007. "Physico-chemical and nutritional studies of Terminaliabelericaroxb. Seed oil and seed kernel". **Journal of Bioscience**. 15: 117-126.
- Tang, C.S. 1971. "Benzyl isothiocyanate of papaya fruit". **Journal of Phytochemistry**. 10: 117–121.
- Tian, Q.G., Rosselot, R.A. and Schwartz, S.J. 2005. "Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry". **Journal of Analytical Biochemistry**. 343(1): 93-99.
- Trusheva, B. and Bankova, V. 2007. "Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study". **Journal of Chemistry Central**. 1-13.
- Ulu, H. 2004. "Evaluation of three 2-thiobarbituric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products". **Journal of Meat Science**. 67: 683-687.
- Zhang, Z.S., Wang, L.J., Li, D., Jiao, S.S., Chena, X.D. and Mao, Z.H. 2008. "Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed". **Journal of Separation and Purification Technology**. 62: 192–198.
- Zhou, K., Wang, H., Mei, W., Li, X., Lou Y. and Dai, H. 2011. "Antioxidant Activity of Papaya Seed Extracts". **Journal of Molecules**. 16: 6179-6192.
- Zuzana, Reblova. 2012. "Effect of Temperature on the Antioxidant Activity of Phenolic Acids". **Journal of Food Science**. 2: 171–177.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดมะละกอ

Proximate analysis เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของตัวอย่าง เพื่อศึกษาว่าตัวอย่างมีองค์ประกอบทางโภชนาการมากน้อยเพียงใด

1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2011)

ทดลองหาความชื้นของตัวอย่างเมล็ดมะละกอแบบสดและแบบผ่านการทำให้แห้งเพื่อหาว่าเมล็ดมะละกอดังกล่าวประกอบด้วยน้ำกี่เปอร์เซ็นต์ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาเก็บรักษาและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยปริมาณน้ำที่คงเหลือในเมล็ดดังกล่าวอาจขัดขวางพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันภายในเมล็ดและสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางในการสกัด ทำการหาความชื้นโดยการนำเมล็ดมะละกอที่ทำความสะอาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว (เมล็ดมะละกอแบบสด) และเมล็ดมะละกอที่ผ่านการทำให้แห้งและบดแล้ว (เมล็ดมะละกอแบบแห้ง) ใส่ในอะลูมิเนียมแค่น 5 กรัม ปิดฝานำไปใส่ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 135 °C นาน 2 ชั่วโมงเมื่อครบกำหนดเวลา ปิดฝาลงแล้วนำถ้วยอบออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

อุปกรณ์

1. ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
2. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปชั่ง โดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้ว 3 ± 0.1 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอะลูมิเนียมออก เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง
3. เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดฝาด้วยอะลูมิเนียม ก่อนนำตัวอย่างบรรจุลงในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง จากนั้นนำไปอบซ้ำอีกครั้ง ครึ่งละครึ่งชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักที่ชั่งได้จะมีความแตกต่างหรือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.005 กรัม
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวมไว้กับปริมาณการพิมพ์ที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ W_1 = น้ำหนักก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักหลังอบ

ตัวอย่างการคำนวณหาความชื้นในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : ความชื้น} = \frac{(17.86 - 17.75)}{17.86} \times 100 = 5.73$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : ความชื้น} = \frac{(19.22 - 19.11)}{19.22} \times 100 = 5.72$$

$$\text{ซ้ำที่ 3 : ความชื้น} = \frac{(18.05 - 17.93)}{18.05} \times 100 = 5.80$$

$$\text{ปริมาณความชื้นเฉลี่ย} = \frac{5.73 + 5.72 + 5.80}{3} = 5.75\%$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า(AOAC,2011)

อุปกรณ์

1. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า
2. เตาเผาไฟฟ้า
3. เตาไฟฟ้า
4. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. เมาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน โถดูดความชื้นซึ่งน้ำหนักละเอียด (4 ตำแหน่ง) บันทึก (W)
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 3-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (W_1)
3. เมาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้า (ทำในตู้ดูดควัน) จนหมดควัน
4. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา
5. รอให้เตาเผาไฟฟ้าเย็นลง จึงตักถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาไฟฟ้า ทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา (W_2)
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหาร จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{W_2 - W}{W_1 - W} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง

W_1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

W_2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเต้าหลังเผา

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเถ้าในตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซนต์เถ้า} &= \frac{25.6637 - 25.3933}{28.4015 - 25.3933} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซนต์เถ้า} &= \frac{24.1816 - 23.9118}{26.9198 - 23.9118} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซนต์เถ้า} &= \frac{35.6138 - 35.3443}{38.3470 - 35.3443} \times 100 = 0.09\% \\ \text{ปริมาณเถ้าเฉลี่ย} &= \frac{0.09 + 0.09 + 0.09}{3} = 0.09\% \end{aligned}$$

3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (kjeldahl method; AOAC, 2011)

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2 เปอร์เซนต์ เตรียมได้จากการละลายกรดบอริก 2 กรัมลงในน้ำกลั่น ปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 1 นอโมลล์ ปิเปต 37% กรดไฮโดรคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% เตรียมจากซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. ตัวเร่ง (catalyst) (เตรียมจาก 1:8 ของ $\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4$)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์
7. เตรียม 0.1% เมทิลกรีนใน alcohol 95 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารเตรียม 0.2% เมทิลเรดใน alcohol 95 เปอร์เซนต์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. การย่อย

- 1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5–5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ถ้าเป็นของเหลว 10-30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน พยายามอย่าให้ตัวอย่างเปื้อนข้างขวด (ปริมาณของตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง ถ้าปริมาณโปรตีนน้อยให้ใช้ตัวอย่างมาก) เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก (ปริมาณ ตัวเร่ง และกรดซัลฟูริกที่ใช้ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องย่อยที่ใช้)
- 1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแลค ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน และสวมที่ดูควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด ก่อนเปิดสวิตช์
- 1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ 380-400 องศาเซลเซียส (ถ้าตัวอย่างเป็นของเหลวหรือมีฟองขณะทำการย่อย อาจลดอุณหภูมิมาที่ 250 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) ก่อนปรับไปที่อุณหภูมิที่ใช้อยู่
- 1.4 ทำการย่อยจนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส ซึ่งเวลาในการย่อยขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
- 1.5 ปิดสวิตช์ พร้อมยกแลคที่มีหลอดย่อยตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายใสสีฟ้าเย็นลง ซึ่งในช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด (สังเกตจากควันสีขาว) ก่อนนำไปต่อเข้าสู่ชุดกลั่น

2. การกลั่น

- 2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจสอบเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังของน้ำกลั่นหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร หยอดอินดิเคเตอร์ทั้งสอง อย่างละ 1 หยดจะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพูลงในชุดกลั่นเทียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงกรดบอริก เพื่อตัดจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้
- 2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ
- 2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

3. การไตเตรท

- 3.1 นำขวดชมพูที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 หรือ 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูม่วง บันทึกปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(A-B) \times N \times 14}{W \times 1000} \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (N)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

5. คำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.54) \times 1 \times 14}{1.0814 \times 1000} \times 100 = 4.58$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.58 \times 6.25 = 28.63$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.35) \times 1 \times 14}{1.0584 \times 1000} \times 100 = 4.43$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.43 \times 6.25 = 27.69$$

$$\text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(3.20) \times 1 \times 14}{1.0078 \times 1000} \times 100 = 4.45$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} = 4.45 \times 6.25 = 27.81$$

$$\text{ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย} = \frac{28.69 + 27.69 + 27.81}{3} = 28.06\%$$

6. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC,2011)

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดชอกห์เลตพร้อมทิมเบิล
2. เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
3. ตู้อบลมร้อน
4. โถดูดความชื้น
5. ที่ลึบ

6. Boiling chip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1.ปิโตรเลียม อีเทอร์

วิธีวิเคราะห์

1. นำบีกเกอร์ไขมันพร้อม Boiling chip ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำมาบรรจุในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปชั่งโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว 5 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนใส่ลงยังกระดาษกรองเบอร์ 1 บรรจุลงในทิมเบิล ก่อนบรรจุลงยังบีกเกอร์ไขมัน
3. เทปิโตรเลียม อีเทอร์ 140 มิลลิลิตรลงยังบีกเกอร์ไขมัน
4. ต่อบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ก่อนทำการสกัดตามโปรแกรมดังนี้

Program 00

Temperature limit 200 Degree celcius

Boiling temperature 150 Degree celcius

Boiling time 30 minute

Sol A 5×15

Extract time 120 minute

S.I.B 8 minute

S.I.C 5 minute

Reduce indoual 4 minute

Pulse 3 minute

5. เมื่อเครื่องทำการสกัดเรียบร้อยแล้ว นำบีกเกอร์ไขมันออกจากเครื่องสกัด แล้วนำไปอบโดยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
 6. นำบีกเกอร์ไขมันใส่ลงยังโถดูดความชื้น จากนั้นถอดทิมเบิลที่ใช้ในการสกัดออกแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน
- การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันตัวอย่าง

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

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : ไขมัน (\%)} = \left(\frac{145.7554 - 144.2543}{5.1184} \right) \times 100 = 29.33$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : ไขมัน (\%)} = \left(\frac{147.5213 - 146.0272}{5.0365} \right) \times 100 = 29.67$$

$$\text{ซ้ำที่ 1 : ไขมัน (\%)} = \left(\frac{148.5484 - 147.0930}{5.0130} \right) \times 100 = 29.0325$$

$$\text{ปริมาณไขมันเฉลี่ย} = \frac{29.33 + 29.67 + 29.03}{3} = 29.34\%$$

7. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2011)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แห้งและสกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในถ้วยชนิดทนความร้อน (ในกรณีตัวอย่างกรอกได้ยาก อาจมีการเติมสารช่วยกรองหรือซีไรท์ประมาณ 1 กรัมลงบนตัวอย่าง)
2. นำถ้วยชนิดทนไฟต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร ในส่วนของ hot extraction unit ปิดลอคให้แน่น
3. เปิดฝาด้านบนของเครื่อง เติมกรดซัลฟูริก 0.255 N ที่อุณหภูมิประมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง
4. เติม n-Octanol ปริมาณ 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟองสั่น ให้ความร้อนจนเดือด
5. ลดความร้อนลง และต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที
6. กรองเอากรวดออก โดยเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้แรงคันทิ้งตำแหน่ง pressure ช่วย
7. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนสามครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
8. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 N
9. ทำซ้ำข้อ 5-7
10. ล้างกากด้วยอะซีโตน 25 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
11. นำถ้วยชนิดทนไฟ ไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)
12. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)
13. คำนวณเปอร์เซ็นต์ใยอาหารของอาหาร จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและถ้ำหลังอบแห้ง (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณใยอาหารในตัวอย่าง

$$\text{ซ้ำที่ 1 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{29.1678 - 28.7731}{1.5116} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ซ้ำที่ 2 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{31.0507 - 30.6502}{1.5323} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ซ้ำที่ 3 : เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{29.6306 - 29.2260}{1.5447} \times 100 = 0.26\%$$

$$\text{ปริมาณเชื้อใยเฉลี่ย} = \frac{0.26 + 0.26 + 0.26}{3} = 0.26\%$$

6 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

หาเปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างโดยคำนวณจากปริมาณองค์ประกอบวมขึ้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเชื้อใยลบกับ 100

$$\begin{aligned} (\%) \text{ คาร์โบไฮเดรต} &= 100 - [(\% \text{moisture}) + (\% \text{protein}) + (\% \text{fat}) + (\% \text{Ash}) + (\% \text{Fiber})] \\ &= 100 - [(5.75) + (28.04) + (29.34) + (0.26) + (0.09)] \\ &= 26.52 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

วิธีการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสกัดแบบแช่

การสกัดแบบแช่ ทำการสกัดโดยบรรจุตัวอย่างเมล็ดมะละกอและเฮกเซนในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จุ่มขวดรูปชมพู่ลงยังอ่างควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมอุณหภูมิและเวลาตามแผนการทดลอง หลังการสกัดน้ำสารละลายที่ได้มากรองโดยกระดาษกรองเบอร์ 1 แบบลดความดัน ก่อนนำไประเหยเฮกเซนโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C (ในการทดลองที่ต้องการศึกษาปริมาณน้ำมันในการสกัด) หรือระเหยเฮกเซนโดย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ในการทดลองที่ต้องการศึกษาคุณภาพของน้ำมัน)

2. การสกัดแบบรีฟลักซ์

การสกัดแบบรีฟลักซ์ ทำการสกัดโดยบรรจุตัวอย่างเมล็ดมะละกอและเฮกเซนลงยังขวดก้นกลม ต่อขวดก้นกลมเข้ากับคอนเดนเซอร์และเชื่อมตัวคอนเดนเซอร์ดังกล่าวเข้ากับที่เชื่อมต่อ กับเครื่องทำน้ำเย็น ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการกรองและระเหยเฮกเซนตามการสกัดแบบแช่

3. การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด

การสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ทำการสกัดโดยบรรจุตัวอย่างเมล็ดมะละกอและเฮกเซนในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จุ่มขวดรูปชมพู่ลงยังอ่างคลื่นเสียงความถี่สูง (การสกัดแบบ indirect ที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง) ควบคุมอุณหภูมิและเวลาตามแผนการทดลอง ทำการกรองและระเหยเฮกเซนตามการสกัดแบบแช่



ภาคผนวก ค.

การคำนวณปริมาณน้ำมันตอปรับในการสกัดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาณน้ำมันตอบรับจากการสกัด (%)

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักขูดรูปชมพูพร้อมน้ำมัน} - \text{น้ำหนักขูดรูปชมพูเปล่า}}{\text{น้ำหนักเมล็ดมะละกอบด}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

$$\text{น้ำหนักขูดชมพูเปล่า} = 100.3920$$

$$\text{น้ำหนักขูดรูปชมพูพร้อมน้ำมัน} = 101.7010$$

$$\text{น้ำหนักเมล็ดมะละกอบด} = 5.00$$

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \frac{101.7010 - 100.3920}{5} \times 100 \\ &= 26.18 \% \end{aligned}$$

2. ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%)

ตัวอย่างการคำนวณ:

$$\text{ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (\%)} = 26.18$$

$$\text{ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของเมล็ดมะละกอ (\%)} = 29.34$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (\%)} &= \frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (\%)}}{\text{ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของเมล็ดมะละกอ (\%)}} \times 100 \\ &= \frac{26.18}{29.34} \times 100 \\ &= 89.23 \% \end{aligned}$$



ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพื้นที่ตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ ME (Quadratic model)

Source	Sum of Square	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	381.30	9	42.37	17.15	<0.0001	significant
X ₁ -Temperature	11.73	1	11.73	4.75	0.0544	
X ₂ -Time	68.16	1	68.16	27.59	0.0004	
X ₃ -Sample to hexane ratio	265.36	1	265.36	107.40	<0.0001	
X ₁ X ₂	0.029	1	0.029	0.012	0.9162	
X ₁ X ₃	1.71	1	1.71	0.69	0.4247	
X ₂ X ₃	19.72	1	19.72	7.98	0.0180	
X ₁ ²	0.15	1	0.15	0.059	0.8132	
X ₂ ²	7.75	1	7.75	3.14	0.1070	
X ₃ ²	5.30	1	5.30	2.15	0.1736	
Residual	24.71	10	2.47			
Lack of Fit	15.08	5	3.02	1.57	0.3175	Not significant
Pure Error	9.63	5	1.93			
Cor Total	406.00	19				

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ ME (Linear model)

Source	Sum of Square	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	345.25	3	115.08	30.31	<0.0001	significant
X ₁ -Temperature	11.73	1	11.73	3.09	0.0980	
X ₂ -Time	68.16	1	68.16	17.95	0.0006	
X ₃ -Sample to hexane ratio	265.36	1	265.36	69.89	<0.0001	
Residual	60.75	16	3.80			
Lack of Fit	51.12	11	4.65	2.41	0.1708	Not significant
Pure Error	9.63	5	1.93			
Cor Total	406.00	19				
Adjusted R ² = 0.8206						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ rsm ของการสกัดแบบ UAE

Source	Sum of Square	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	134.61	9	14.96	25.37	<0.0001	significant
X ₁ -Temperature	4.73	1	4.73	8.02	0.0178	
X ₂ -Time	7.46	1	7.46	12.66	0.0052	
X ₃ -Sample to hexane ratio	101.29	1	101.29	171.83	<0.0001	
X ₁ X ₂	3.50	1	3.50	5.93	0.0351	
X ₁ X ₃	7.09	1	7.09	12.02	0.0060	
X ₂ X ₃	0.95	1	0.95	1.60	0.2341	
X ₁ ²	7.25	1	7.25	12.31	0.0057	
X ₂ ²	3.19	1	3.19	5.42	0.0422	
X ₃ ²	0.21	1	0.21	0.36	0.5636	
Residual	5.89	10	0.59			
Lack of Fit	4.40	5	0.88	2.96	0.1297	Not significant
Pure Error	1.49	5	0.30			
Cor Total	140.50	19				
Adjusted R ² = 0.9580						

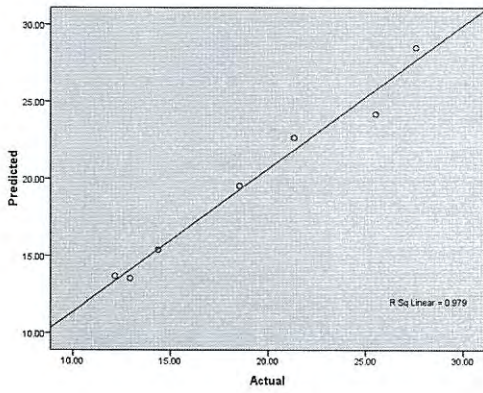
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



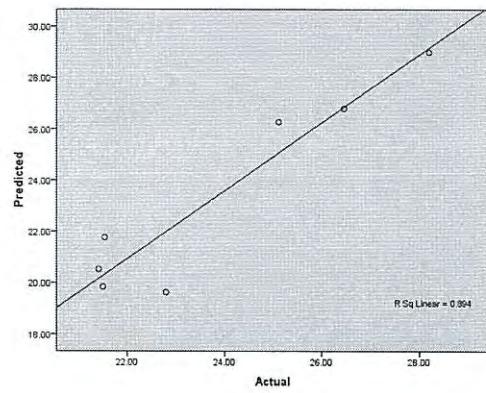
ภาคผนวก จ.

การทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายและค่าจริงของการสกัดแบบแช่ (ก) และการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ.

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

1. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด(Acid Value; AV)(AOCS Cd 3d-63, 1997)

สารเคมี

1. เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
2. สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1 % ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการวิเคราะห์ :

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันโดยใช้ปริมาณ 10 กรัม
2. เตรียมสารละลาย เอธิลแอลกอฮอล์ 95% ให้เป็นกลางโดยเติมฟีนอล์ฟธาลีน 2 มิลลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
3. เติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 2 มิลลิตร
4. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที
5. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต
6. คำนวณหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์หรือค่าแอสซิดได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (\%)} = \frac{\text{ml KOH} \times N \times \text{MW}(\text{Fatty acid})}{10 \times \text{wt of sample in (g)}}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

W = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{ดังนั้นค่าแอสซิด} = \frac{\text{ml KOH} \times N \times 56.1}{\text{wt of sample in (g)}}$$

(น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 56.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; PV) (AOCS Cd 8-53, 1997)

สารเคมี

1. สารละลายผสมอะซิติก: คลอโรฟอร์ม(3:2)
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
3. สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
4. สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
5. สารละลายน้ำเบ็งความเข้มข้น 1 %

วิธีการวิเคราะห์ :

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 ± 0.05 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมอะซิติก:คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
4. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาทีในที่มืดและเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร
5. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 นอร์มอลจนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำเบ็งความเข้มข้น 1 % 2 มิลลิลิตรและไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต
7. ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
8. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$PV \text{ (milliequivalents peroxide / 1000 g sample)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{\text{Mass of sample, (g)}}$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต (นอร์มอล)

3. การตรวจสอบความคงตัวของน้ำมัน (Oil stability) ตามการทดลองของ Samaram และคณะ (2014)

$$\text{คำนวณจากสมการ } TV = 2PV + AV$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีน (p- Anisidine Value ; p-AV) (AOCS Cd 18-90,1997)

สารเคมี

1. ไอโซออกเทน
2. กรดอะซิติก
3. สารละลายพาราแอนนิซิดีน

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5 ± 0.1 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมไอโซออกเทน เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร
3. ทำ Blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน
4. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโน
5. ปิเปิดสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
6. ปิเปิดสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหนึ่ง
7. เติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
8. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
9. คำนวณพาราแอนนิซิดีน

$$p\text{-Anisidine Value} = \frac{25 \times (1.2 A_s - A_b)}{\text{mass of sample, (g)}}$$

เมื่อ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การตรวจปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

1.1. การตรวจหาปริมาณฟีนอลิก ตามการทดลองของ Selvim และคณะ (2013)

สารเคมี

1. Gallic acid
2. Folin-Ciocalteu reagent
3. Methanol
4. Sodium carbonate

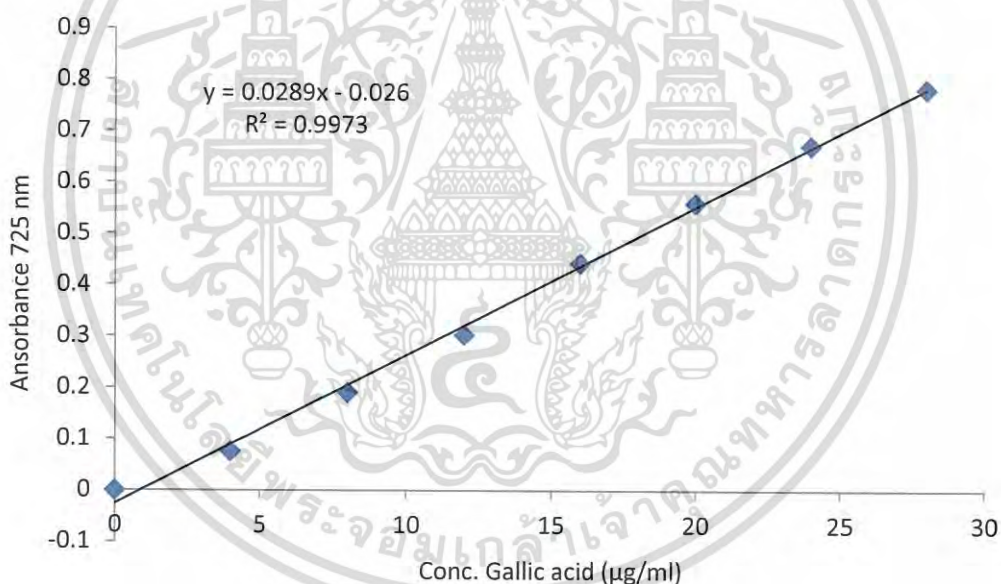
การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น $400\mu\text{g/ml}$
- ปิเปตต์สารละลายดังกล่าวใส่หลอดทดลองที่ความเข้มข้น 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 และ $28\mu\text{g/ml}$ โดยการปิเปตต์สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น $400\mu\text{g/ml}$ หลอดละ 0, 0.25, 0.05, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 และ 1.75 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมทานอล/น้ำกลั่นให้ได้ ปริมาตรรวม 2.5 มิลลิลิตร
- เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองให้ได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที
- เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (35% w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer
- สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของกรดแกลลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

- ปิเปตต์ตัวอย่างน้ำมัน 2.5 กรัม เติมเฮกเซน 5 มิลลิลิตร และสารละลายเมทานอล/น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงโดยเครื่อง centrifuge ที่ 3500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- ปิเปตต์ส่วนใส 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 3 นาที
- เติมสารละลาย Sodium carbonate(35% w/v) 1 มิลลิลิตร
- เติมน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง
- ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 nm โดย UV-VIS spectrophotometer



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ TPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$Y = 0.0289X - 0.026 \quad (R^2 = 0.9973)$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

X = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

C = จุดตัดแกน Y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ปริมาณตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.05 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร เท่ากับ 0.266 แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพที่ ซ-1) จะได้

$$0.266 = 0.0289X - 0.026$$

$$X = 10.10 \text{ ไมโครกรัม/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$

ตัวอย่างน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด = 10.10 ไมโครกรัม/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดทั้งสี่วิธีเพื่อศึกษาว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหรือไม่ วิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical scavenging activity และ Abts

2.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity

ตามการทดลองของ Lee และคณะ (2007)

สารเคมี

1. DPPH
2. เอทิล อะซิเตท
3. Trolox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

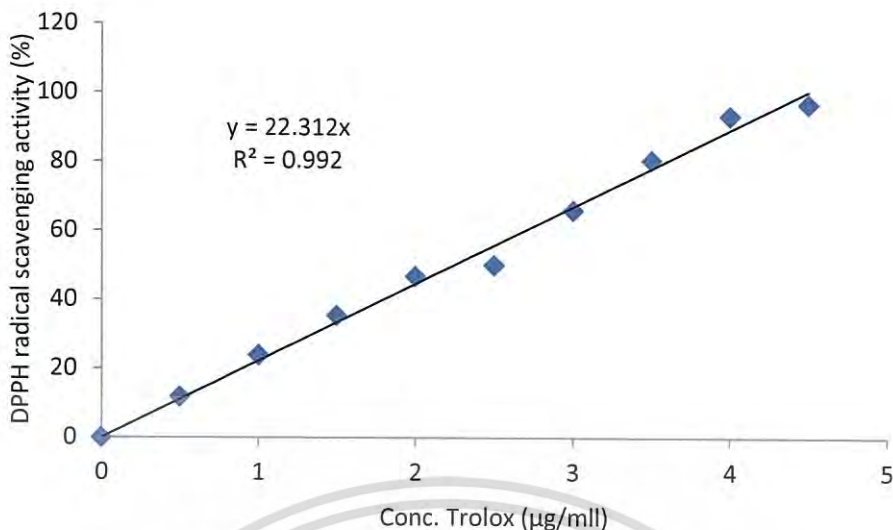
- เตรียมสารละลายมาตรฐาน DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์
- เตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 0 , 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 , 2.5 , 3.0 , 3.5 , 4.0 และ 4.5 $\mu\text{g/ml}$ โดยเตรียม trolox ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง Trolox 0.0125 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทิล อะซิเตทให้ได้ 50 มิลลิลิตร โดยปีเปตต์มา 0 , 0.02 , 0.04 , 0.06 , 0.08 , 0.10 , 0.12 , 0.14 , 0.16 และ 0.18 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- ปรับปริมาตรด้วยเอทิล อะซิเตท ให้ปริมาตรในแต่ละหลอดเป็น 1 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย DPPH 4.5 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer วางตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 60 นาทีในที่มืด
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นแบลนด์
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย มิลลิกรัม

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- นำน้ำมัน 0.2 กรัม ใส่ลงยังหลอดทดลอง ก่อนปรับปริมาตรรวมด้วยเอทิลอะซิเตทให้ได้ 1 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย DPPH 4.5 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากัน โดย Vortex mixer ก่อนตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสง โดย UV-VIS spectrophotometer ที่ 515 nm โดยใช้เอทิล อะซิเตท เป็นแบลนด์
- คำนวณ %ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\left\{ 1 - \left(\frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}} \right) \right\} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐาน Trolox ในการวิเคราะห์ DPPH

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ โดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของ Trolox

$$\% \text{ ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำมัน

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

$$Y = 22.312X \quad (R^2 = 0.992)$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

X = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

C = จุดตัดแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.2 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เท่ากับ 0.800 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 1.041 แทนค่าในสมการจะได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \frac{1.041 - 0.800}{1.041} \times 100$$

$$= 23$$

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

$$23 = 22.31X$$

$$X = 1.28 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์/0.2 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$

2.2. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Abts ตามการทดลองของ Selvim และคณะ (2013)

สารเคมี

1. เมทานอล
2. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
3. ABTS
4. Trolox

การสร้างกราฟมาตรฐาน

- เตรียมสารละลาย ABTS โดยให้สารละลาย ABTS ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1 นำสารละลายผสมเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน 12-16 ชั่วโมง เมื่อนำมาใช้งานให้เจือจางด้วยเอทานอลจนวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.70 (± 0.02) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

- เตรียมสารละลาย Trolox ความเข้มข้น 1 mM โดยผสม Trolox 0.00625 กรัม ในสารละลายเมทานอล/น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

- เตรียม Trolox ที่ความเข้มข้น 0 , 0.125 , 0.250 , 0.375 , 0.500 , 0.625 , 0.750 , 0.875 , 1.000 ,

1.125 , 1.250 และ 1.375 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ หรือ ปิเปตต์สารละลาย Trolox ความเข้มข้น 1mM ลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังหลอดทดลอง ปริมาตร 0 , 15 , 30 , 45 , 60 , 75 , 90 , 105 , 120 , 135 , 150 และ 165 μL ตามลำดับ ก่อนปรับปริมาตรรวมโดยเมทานอลให้ได้ 300 μL

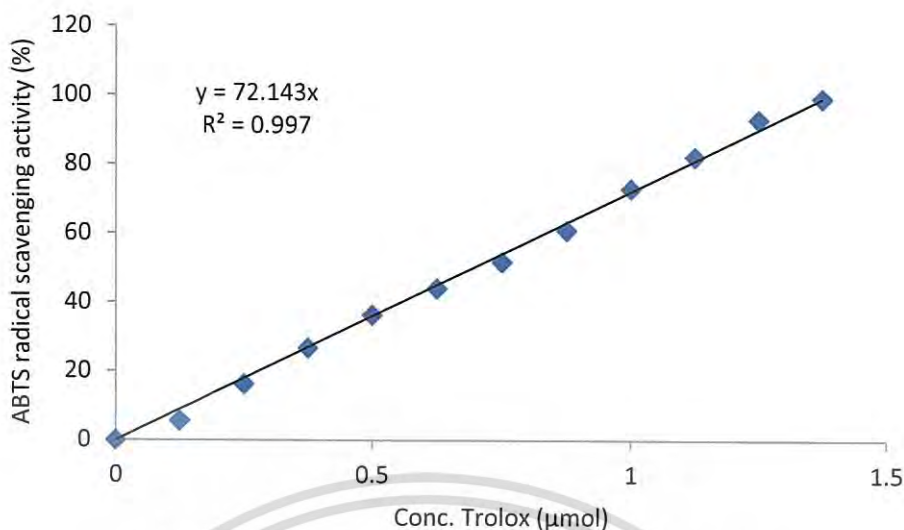
- เติมสารละลาย Abts 4000 μL ตั้งไว้ในที่มืด 15 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV-VIS spectrophotometer ที่ 734 nm โดยใช้เมทานอลเป็นแบลลงค์

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- เตรียมสารละลาย ABTS โดยให้สารละลาย ABTS ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1 นำสารละลายผสมเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน 12-16 ชั่วโมง เมื่อนำมาใช้งานให้เจือจางด้วยเอทานอลจนวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.70 (± 0.02) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร
- ชั่งน้ำมัน 0.5 กรัม ละลายในเฮกเซน 2.5 มิลลิลิตร
- บีบอัดสารละลายตัวอย่างน้ำมัน 0.3 มิลลิลิตร และสารละลาย ABTS 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ด้วยเครื่อง Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็นแบลลงค์
- กำหนดเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้
- กำหนด %ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\% \text{ ABTS} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงของแบลลงค์} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง})}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของแบลลงค์}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓.3 กราฟมาตรฐานของโทรลอคซ์ในการวิเคราะห์ ABTS

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ โดยใช้สมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของโทรลอคซ์

$$\% \text{ ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำมัน

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

$$Y = 72.143X \quad (R^2 = 0.997)$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ได้ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

X = ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (ไมโครกรัม/0.05 มิลลิลิตร น้ำมันตัวอย่าง)

C = จุดตัดแกน Y

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 30°C ของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดมะละกอ 0.05 กรัม ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 724 นาโนเมตร เท่ากับ 0.367 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 724 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 0.622 แทนค่าในสมการจะได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS} = \frac{0.622 - 0.367}{0.622} \times 100$$

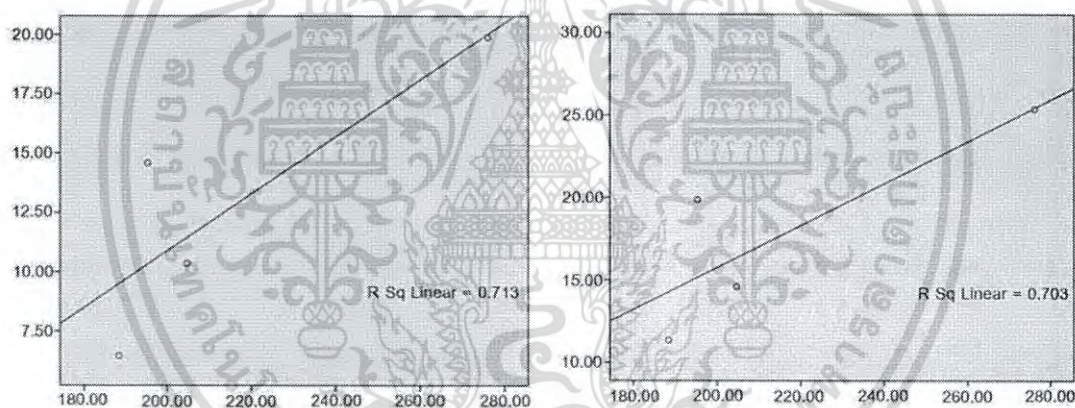
$$= 41$$

แทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

$$41 = 72.143X$$

$$X = 0.56 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์/0.05 กรัมของน้ำมันตัวอย่าง}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS



ภาพที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ก)

และ ABTS (ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal behavior)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

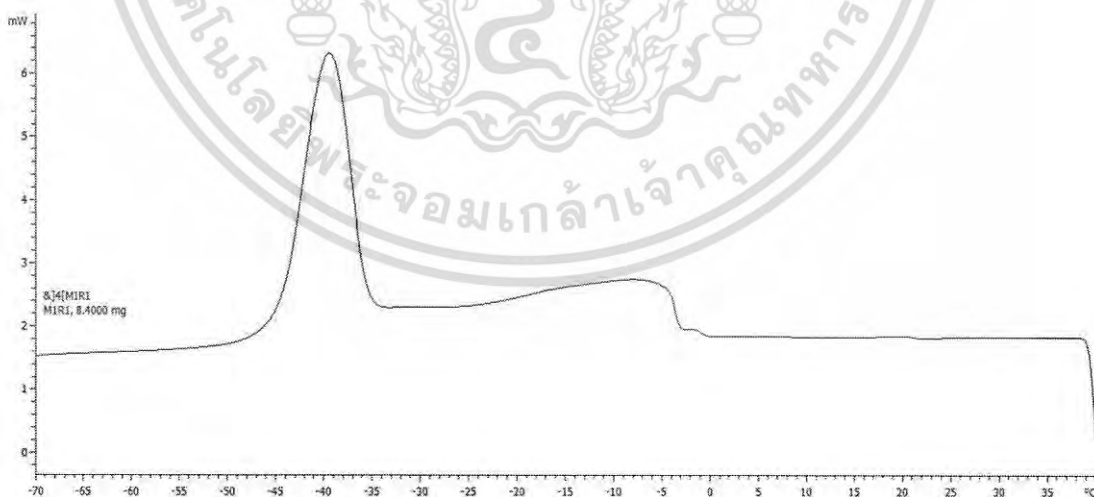
1. Differential calorimetry scanning รุ่น DSC 204 F1 Phoenix
2. Aluminium volatile pan

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 6-12 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Aluminium volatile pan
2. ทำตัวอย่างให้เย็นจนอุณหภูมิ -70°C 5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก -70 จนถึง 40°C ในอัตราเวลา $5^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ และคงอุณหภูมิ 40°C ไว้ 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นจาก 40°C ถึง -70°C ในอัตราเวลา $5^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$
3. เครื่องทำการบันทึกข้อมูล จุดเริ่มต้น (onset) จุดสูงสุด (peak) และจุดสิ้นสุด (offset)

ตัวอย่างเทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อน (Thermal behavior)

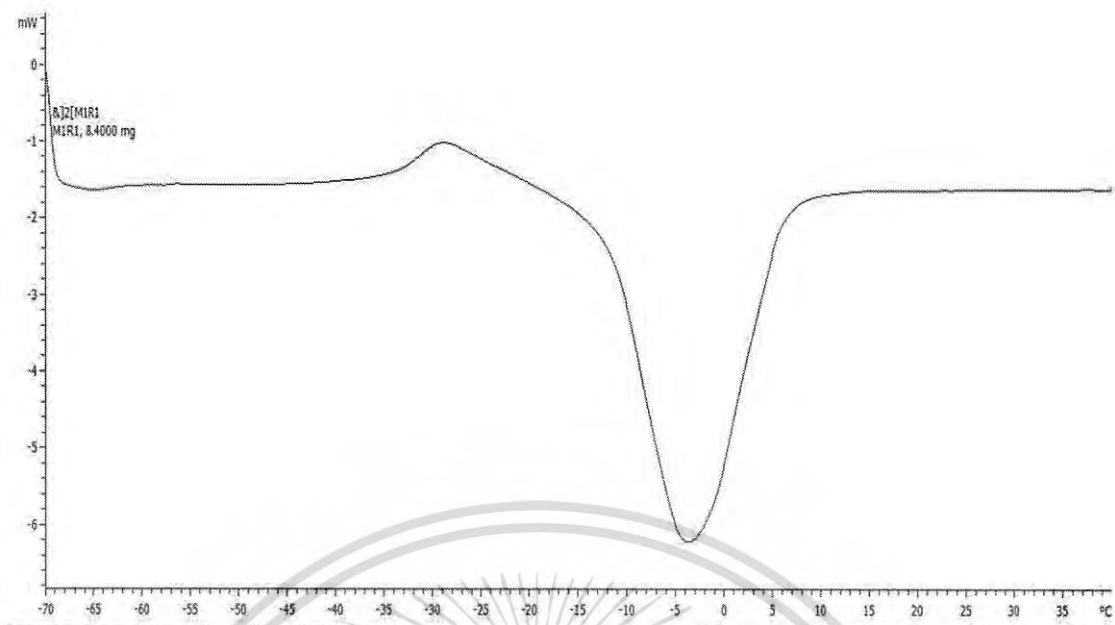
1. สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากวิธีการสกัดแบบแช่ที่อุณหภูมิ 58°C (MH)



ภาพที่ ๗.1 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิการตกผลึกของน้ำมันจากการสกัดแบบ

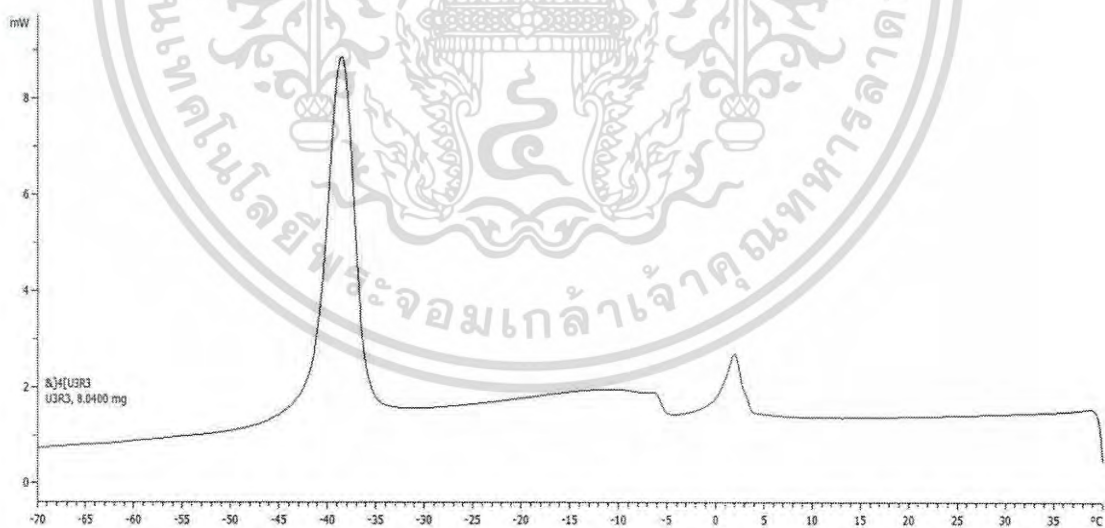
MH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



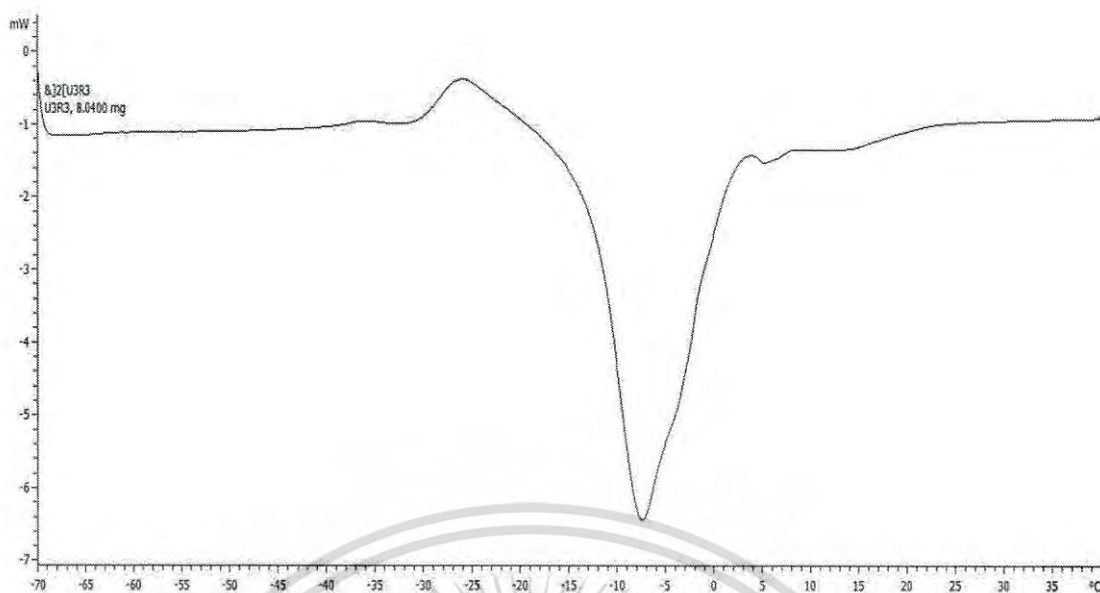
ภาพที่ ซ.2 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิก่อเกิดจุดหลอมเหลวของน้ำมันจากการสกัดแบบ MH

สมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอสกัดได้จากวิธีการสกัดแบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (UAE)



ภาพที่ ซ-3 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนอุณหภูมิก่อเกิดผลึกของน้ำมันจากการสกัดแบบ UAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗.4 เทอร์โมแกรมของสมบัติทางความร้อนของอุณหภูมิการเกิดจุดหลอมเหลวของ
น้ำมันจากการสกัดแบบ UAE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวหนึ่งฤทัย หนูนยศ
วัน เดือน ปีเกิด	10 ตุลาคม 2536
ที่อยู่	96 หมู่ที่ 6 ตำบลสมอโคน อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก (nhuengruethai10@gmail.com, 59608035@kmitl.ac.th โทร. 085-045-5425, 094-205-2958)
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษามัธยมจากโรงเรียนพรตพิทยพยัต ปีการศึกษา 2554 - สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2558 - ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559
ผลงาน	- Noonyos, N., Banjong, K. and Suwapanich, R. 2017. “Optimization of maceration and ultrasound-assisted extraction of papaya seeds oil by response surface methodology”, 498-508. in Food Innovation Asia Conference . Bangkok : Bitec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้