

การเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ
ด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ
Comparisons of essential oil extraction from pomelo peel
using microwave-assisted, ultrasonic-microwave assisted
and hydro-distillation methods



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

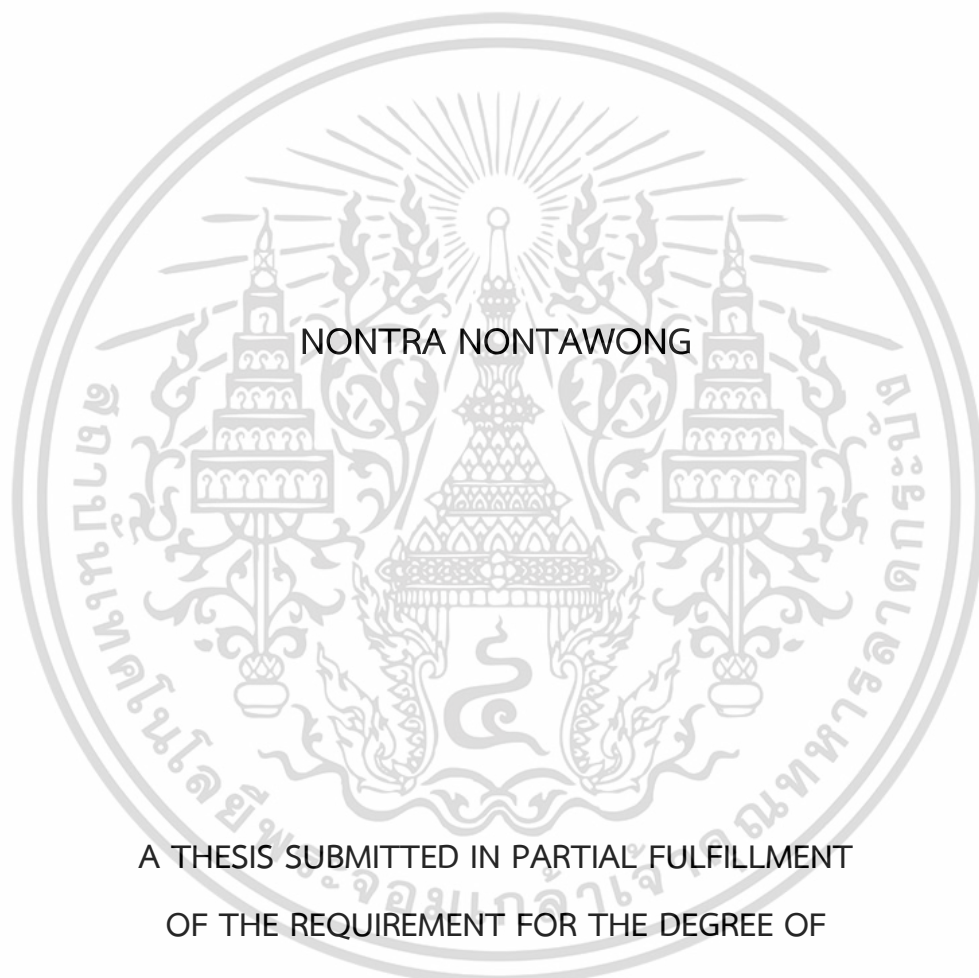
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-FI-M-503-365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparisons of essential oil extraction from pomelo peel
using microwave-assisted, ultrasonic-microwave assisted
and hydro-distillation methods



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

KMITL-2020-FI-M-503-365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ

ชื่อนักศึกษา

นางสาวนนตรา นนทะวงษ์

รหัสประจำตัว

60608015

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

พ.ศ.

2563

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด โดยศึกษาปัจจัย ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ เวลา และ ปริมาณน้ำกลั่น ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบิร์ตเคน วิธีไมโครเวฟช่วยสกัดที่สภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดกับวิธีการกลั่นด้วยน้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด โดยคำนึงถึง ปริมาณผลผลิต การลดระยะเวลาของกระบวนการสกัด ผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย และความสิ้นเปลืองพลังงาน ในการหาค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดสำหรับวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด จากการทดลองที่ได้มีความเหมาะสมกับสมการควอดราติก เมื่อนำสมการคณิตศาสตร์ที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวดตอบสนอง ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ระดับพลังงาน 600 วัตต์ เวลาในการสกัด 43 นาที และปริมาณน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ซึ่งได้ ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหย 2.476% และการใช้อัลตราโซนิกช่วยในการสกัดมีส่วนช่วยให้การสกัดด้วย ไมโครเวฟมีประสิทธิภาพมากขึ้น พบว่าเมื่อมีการใช้อัลตราโซนิกก่อนการสกัดด้วยไมโครเวฟ จะทำให้ปริมาณ ผลผลิตเพิ่มขึ้น 0.6 % ในการเปรียบเทียบด้านคุณภาพโดยการตรวจสอบหองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอม ระเหยด้วยวิธี GC-MS พบว่าวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด พบสารประกอบ 23 ชนิด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด พบ 21 ชนิด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำพบ 19 ชนิด การสกัดโดยเทคนิคใหม่ทั้ง 2 วิธี มีการใช้พลังงาน เวลา ปริมาณ น้ำ และค่าไฟฟ้าน้อยกว่าการสกัดโดยการกลั่นด้วยน้ำ จึงสรุปได้ว่ากระบวนการสกัดโดยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดและ วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัดเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Comparisons of essential oil extraction from pomelo peel using microwave-assisted, ultrasonic-microwave assisted and hydro-distillation methods
Student	Miss. Nontra Nontawong
Student ID.	60608015
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2020
Thesis Advisor	Dr.Kittichai Banjong

ABSTRACT

The aim of this research was to optimize factors that affect the yield of pomelo peel essential oil obtained by microwave-assisted extraction. The experiment was carried out using response surface methodology with the Box-Behnken experimental design and compare hydro-distillation and ultrasonic-microwave extraction taking into account the amount of produce shortening the extraction time effect on the composition of essential oils and energy consumption. Optimization of microwave-assisted extraction factors determined were extraction power level, extraction time and quantity of distilled water. The optimum condition of microwave-assisted extraction was at 600 watts microwave power level, 43 minutes extraction time and 200 millilitres distilled water quantity which gave 2.476% yield of essential oil. When using the ultrasonic before the microwave extraction the yield increased by 0.6%. The chemical composition in essential oils by GC-MS. Showed that microwave-assisted extraction consisted of 23 compounds, ultrasonic-microwave extracted consisted of 21 compounds and hydro-distillation consisted of 19 compounds. In addition, the two proposed extraotioin techniques consumed energy, time, water and electricity less than the hydro-distillation. Microwave-assisted extraction and ultrasonic-microwave extraction, is alternative methods for essential oils extraction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในหัวข้อเรื่องการเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ ดร. กิตติชัย บรรจง ที่คอยมอบคำแนะนำ คำปรึกษา ความรู้ คำชี้แนะ ความช่วยเหลือ และตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง และความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะเพิ่มเติม ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ขึ้นได้ ขอขอบคุณอาจารย์คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่สั่งสอนวิชาความรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ และนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ให้ข้าพเจ้าได้นำความรู้เหล่านั้นมาใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนบิดามารดา และเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ช่วยสนับสนุน เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือจนจบงานวิจัย สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขออภัยผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

นนตรา นนทะวงษ์

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ส้มโอ.....	4
2.2 เปลือกส้มโอ.....	4
2.3 น้ำมันหอมระเหย.....	4
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	5
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย.....	5
2.4 การสกัดน้ำมันหอมระเหย	6
2.4.1 การกลั่นด้วยน้ำ (hydro distillation).....	6
2.4.2 การสกัดด้วยไخمันเย็น (enfleurage).....	7
2.4.3 การสกัดด้วยไخمันร้อน.....	7
2.4.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (extraction with solvent).....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.5 ไมโครเวฟ.....	8
2.5.1 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave-assisted extraction).....	8
2.6 อัลตราโซนิกช่วยสกัด	8
2.7 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	14
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	14
3.1.1 สารเคมี.....	14
3.1.2 เครื่องมือ.....	14
3.2 วัสดุดิบ.....	14
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	15
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	15
3.4.1 การทดลองหาขนาดของเปลือกชั้นนอกของส้มโอที่เหมาะสมกับการสกัดน้ำมันหอมระเหย.....	15
3.4.2 การออกแบบการทดลอง.....	15
3.4.3 วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยไมโครเวฟ (Microwave Extraction).....	17
3.4.4 การเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดกับวิธีการลั่นด้วยน้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด.....	18
3.4.5 วิธีการวัดคุณภาพน้ำมันหอมระเหย.....	19
3.4.6 วิธีการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	20
4.1 การวิเคราะห์ขนาดของเปลือกส้มโอที่เหมาะสมกับการสกัดน้ำมันหอมระเหย	20
4.2 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง.....	21

สารบัญ (ต่อ)

4.2.1 สมการถดถอย และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	21
4.2.3 อิทธิพลของตัวแปรต่อค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ	24
4.2.4 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด	25
4.2.5 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	26
4.3 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีการกลั่นด้วยน้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด.....	27
4.2.1 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิต	27
4.2.2 เปรียบเทียบด้านคุณภาพ	27
4.2.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการวิจัย	30
5.1.1 การสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุด	30
5.1.2 การทดลองเปรียบเทียบการสกัดโดยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีการกลั่นด้วยน้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด.....	30
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	311
บรรณานุกรม	322
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด และวิธีการสกัด	38
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	42
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์คุณภาพโดยเครื่อง GC-MS	45
ประวัติผู้เขียน	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ระดับของปัจจัยของการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design.....	16
3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design.....	17
4.1 ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยของขนาดของเปลือกส้มโอที่แตกต่างกัน.....	20
4.2 ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดด้วยไมโครเวฟ.....	21
4.3 การวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟ ช่วยสกัดวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design	22
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ของหลักการพื้นผิวตอบสนอง (RSM).....	23
4.5 การกำหนดเกณฑ์ของระดับตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเพื่อ วิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม.....	25
4.6 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม.....	26
4.7 เปรียบเทียบค่าที่ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ.....	27
4.8 องค์กรประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย (%) ที่สกัดด้วยวิธี MAE UMAE และ HD.....	28
4.9 เปรียบเทียบค่าที่ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ.....	29
5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากรในกระบวนการสกัดด้วย วิธีไมโครเวฟช่วยสกัดวิธีกลั่นด้วย น้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด ใน 1 รอบของการสกัด.....	31

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 กราฟสามมิติของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ.....	24
ก.1 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยเครื่องสกัดในไมโครเวฟช่วยสกัด.....	39
ก.2 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีอัลตราโซนิก.....	40
ก.3 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ.....	41
ค.1 ผลการวิเคราะห์ GC ของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE).....	46
ค.2 ผลการวิเคราะห์ GC ของวิธีอัลตราโซนิก - ไมโครเวฟช่วยสกัด (UMAE).....	47
ค.3 ผลการวิเคราะห์ GC ของวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (HD).....	4



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ส้มโอเป็นไม้ผลเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง สายพันธุ์ที่ปลูกได้ในไทยพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวพวง พันธุ์แดงกวาง พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์ทับทิมสยาม มีเนื้อที่การปลูกทั้งหมดในไทย 85,627.55 ไร่ ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ต่อปี 122,009,334.24 กิโลกรัม หนึ่งลูกมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.53 กิโลกรัม ราคาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ย 32.56 บาท/กิโลกรัม ในปี 2562 (กรมส่งเสริมการเกษตร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) ส้มโอมีน้ำหนักเปลือกชั้นนอก 8.27% น้ำหนักเปลือกชั้นใน 26.47% เนื้อเยื่อ 25.18% เมล็ด 1.37% น้ำ 38.71% เปลือกชั้นนอกสุดมักจะบางกว่าเปลือกชั้นใน สีของเปลือกชั้นนอกมีสีเขียว ประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ และน้ำมันหอมระเหย เปลือกชั้นในมีสีขาว ประกอบด้วย เพคติน และเอมิเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมาก (Liu และคณะ, 2017) การบริโภคส้มโอที่มากทำให้เปลือกส้มโอมีปริมาณมากเกินความต้องการ ถูกทิ้งในหลุมฝังกลบปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกับก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเปลือกของส้มโอถูกจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์คิดเป็นน้ำหนักต่อปี แบ่งเป็นเปลือกนอก 3,474,124.81 กิโลกรัม เปลือกใน 10,689,614.80 กิโลกรัม (กรมศุลกากร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากเปลือกส้มโออุดมไปด้วยสารอะโรมาติกเข้มข้นที่สามารถใช้เป็นกลิ่น และน้ำหอม ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่มยา และเครื่องสำอาง น้ำมันหอมระเหยจากส้มโอยังมีงานวิจัยว่ามีผลทางชีวภาพหลายอย่าง เช่นฤทธิ์ต้านการอักเสบ และยาด้านจุลชีพ (Tuan และคณะ, 2019) จึงคิดใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มโอโดยการนำเปลือกนอกของส้มโอมาสกัดน้ำมันหอมระเหย เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยทั่วไป คือ cold pressing ตั้ววัตถุดิบ (Bousbia และคณะ, 2009) ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียเนื่องจากเกิดการสูญเสียสารประกอบที่ระเหยได้ไปบางชนิด และให้ผลผลิตต่ำ (Chen และคณะ, 2016) ดังนั้นการสกัดที่ได้สารประกอบที่มีคุณภาพสูง และให้ผลผลิตสูงจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก คือ วิธีการวิกลั่นด้วยน้ำ (Hydro-distillation) (Okoh และคณะ, 2010) แต่เทคนิคนี้ยังคงมีข้อบกพร่องบางประการ เช่น การใช้พลังงานที่สูงขึ้น และใช้เวลาในการสกัดนานขึ้น ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการสกัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมช่วยประหยัดเวลา และพลังงานเป็นที่ต้องการอย่างมาก วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยไมโครเวฟ (Microwave extraction of

essential oil) ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่ผสมผสานระหว่างพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและการกลั่นในสภาวะความดันบรรยากาศ (Chen และคณะ, 2016) โดยภายในเตาไมโครเวฟมีส่วนประกอบสำคัญ คือแมกนีตรอน ซึ่งเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ในขณะที่ใช้งานเตาไมโครเวฟคลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้ากระทบอาหารในทุกทิศทาง โดยคลื่นทำให้โมเลกุลหรืออนุภาคที่มีประจุ เช่น น้ำ ไอออนของเกลือ ไขมัน น้ำตาล เป็นต้น เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา (สั่นสะเทือน) ทำให้โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหารเสียดสีกันเกิดเป็นความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เตาแบบธรรมดา (กรณีศึกษา, 2553) จึงช่วยประหยัดเวลาได้อย่างมาก ใช้เวลาน้อยๆ ในการสกัดก็ได้ผลผลิตสูงเท่าการใช้เวลานานๆ ของการสกัดแบบกลั่นด้วยความร้อน

ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอโดยไมโครเวฟ เพื่อช่วยประหยัดเวลาในการสกัด ลดค่าใช้จ่ายอีกด้วย เป็นการเพิ่มทางเลือกแก่ผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเปลือกส้มโอที่เหลือทิ้งอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด โดยศึกษาปัจจัย ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ เวลา และ ปริมาณน้ำกลั่น ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการสกัดของวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด กับวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัดและการสกัดแบบกลั่นด้วยน้ำ โดยคำนึงถึงปริมาณผลผลิต การลดระยะเวลาของกระบวนการสกัด ผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย และความสิ้นเปลืองพลังงาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยมุ่งเน้นหาค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด โดยทดลองเบื้องต้นหาขนาดที่เหมาะสมของเปลือกส้มโอสำหรับการสกัด จากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้แผนการทดลองแบบ Box – Benhken Design ร่วมกับวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยมีตัวแปรอิสระหรือปัจจัยคือ กำลังไมโครเวฟ เวลาการสกัด และ ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ ต่อตัวแปรตามคือปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย เปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และการกลั่นด้วยน้ำ ต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้โดยใช้วิธี Gas Chromatograph Mass Spectrometer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งได้แก่เปลือกส้มโอ นำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยการดัดแปลงใช้เทคนิคไมโครเวฟที่สามารถช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนการผลิต

1.4.2 ทราบถึงวิธีการ และค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดในการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟ รวมถึงผลของการสกัดแต่ละวิธีที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพของผลผลิตที่สกัดได้ และลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

1.4.3 สามารถประยุกต์ใช้การสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด มาช่วยในการสกัดน้ำมันหอมระเหย ซึ่งอาจจะช่วยลดระยะเวลาในการสกัด ให้ผลผลิตที่สูงขึ้น และเป็นการลดการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเลือกใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการสกัดที่เหมาะสมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ

ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr.) เป็นพืชตระกูลส้ม ลักษณะเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงกลาง ส่วนที่ยังอ่อนอยู่มีขน รูปผลคล้ายลูกแพร์เป็นลูกกลมๆโต และส่วนหัวจะนูนขึ้นมาเป็นกระจุก มีสีเขียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-25 ซม. มีน้ำหนักประมาณ 1-2 กิโลกรัม (Rahman, 2018) มีการเพาะปลูก และบริโภคกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากรสชาติ และกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ ส่วนใหญ่ปลูกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Wu และคณะ, 2019) ในประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกทั้งหมด 85,627.55 ไร่ มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มโอได้ทั้งสิ้น ประมาณ 122,009 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) มีการส่งออกส้มโอสด 23,922 ตัน เป็นเงิน 513,303,385 บาท ในปี 2562 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)

2.2 เปลือกส้มโอ

เปลือกส้มโอ แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นนอกสุด เรียกว่า flavedo มีสีเขียว มีต่อมน้ำมันจำนวนมาก ชั้นต่อมา เรียกว่า albedo เป็นส่วนที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มสีขาวที่มีความหนามาก และชั้นที่สามเป็นเนื้อเยื่อของพูที่หุ้มรอบเนื้อผล (Aruoma, 2012)

เปลือกส้มโอ ประมาณ 50% ของน้ำหนักผลไม้ทั้งหมด จะถูกทิ้งหลังการบริโภคส่งผลให้สิ้นเปลืองทรัพยากร และเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (Wu และคณะ, 2019) จึงมีงานวิจัยออกมาว่า เปลือกส้มโอเป็นแหล่งของสารประกอบที่มีคุณค่าเนื่องจากมีส่วนประกอบทางเคมีตามธรรมชาติ เช่น เพกติน ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหย เซลลูโลส และใยอาหาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ (Wandee และคณะ, 2019; Liu และคณะ, 2018)

2.3 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย หรือสารที่มีกลิ่นหอม จะประกอบไปด้วยของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มักมีกลิ่นหอม และระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง พืชเหล่านี้จะมีต่อมหรือท่อที่สร้าง และกักเก็บน้ำมันหอมระเหยไว้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548) โดยสามารถพบได้ตามส่วนต่างๆ ของพืชหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล เมล็ด เป็นต้น โดยระดับของน้ำมันหอมระเหยที่พบในพืชแต่ละชนิดจะมีตั้งแต่ 0.01% ถึง 10% (Prats และ Jimenez, 2010) ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เช่น พวกที่มีโครงสร้างเป็น ไฮโดรคาร์บอน ไฮคลิกไฮโดรคาร์บอน และอนุพันธ์ที่มีออกซิเจน สารประกอบบางชนิดอาจมี ไนโตรเจนซัลเฟอร์ รวมอยู่ด้วย สารแสดงกลิ่นเฉพาะที่ปรากฏของแต่ละชนิดของน้ำมันหอมระเหย เป็นสารอนุพันธ์ที่มีออกซิเจนของ สารเทอร์พีน ได้แก่พวก alcohol, aldehyde, ketone และน้ำมันหอมระเหยบางชนิดจะประกอบด้วยสารพวก ester, phenol, ether และ peroxide นอกจากพืชหอมจะให้กลิ่นหอมแล้ว บางชนิดอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ด้วย เช่น ทำให้เกิดการระคายเคืองหรือเกิดอาการเป็นพิษ (McGuinness, 2003)

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

น้ำมันหอมเป็นของเหลวที่ระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง เป็นคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันพืช (fixed oil) เช่น น้ำมันหอมระเหยจากกล้วยเหลือง มักไม่มีสี ส่วนใหญ่จะมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ มีค่า refractive index สูง และส่วนใหญ่จะเบี่ยงเบนระนาบของแสงโพลาไรซ์ได้ละลายในสารอินทรีย์ และไลปิด (สุชาติพิท, 2541) น้ำมันหอมระเหยจากผิวส้มหรือน้ำมันผิวส้ม (sweet orange oil) มีสีใส มีกลิ่นหอมเป็นลักษณะเฉพาะตัว สมบัติบางประการ คือ aldehyde content เป็น 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ จุดเดือด 175 องศาเซลเซียส (Veldhuis และคณะ, 1972)

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมซับซ้อน แต่ละชนิดประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ส่วนใหญ่มักจะเป็นสารประกอบจำพวกเทอร์พีนส์ (terpenes) สูตรโดยทั่วไป คือ $(C_5H_8)_n$ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548)

สามารถแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1 โมโนเทอร์พีนส์ (monoterpenes) มีอะตอมของคาร์บอนเป็นโครงสร้างหลัก 10 อะตอม เกิดจากการนำ isoprene 2 ตัวมาเชื่อมต่อกัน มีทั้งในรูปของสารเรียงตัวแบบเป็นวง เช่น limonene พบมากในน้ำมันมะนาวและน้ำมันผิวส้ม และเรียงตัวแบบไม่เป็นวง เช่น β -myrcene, linalool น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการกระตุ้นระบบประสาท ระงับเชื้อและขับเสมหะ นอกจากนี้ยังพบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งและชักนำให้เกิด apoptosis ได้อีกด้วย (ฐาปนีย์, 2550)

2.3.2.2 เสสควิเทอร์พีนส์ (sesquiterpenes) มีอะตอมของคาร์บอนเป็นโครงสร้างหลัก 15 อะตอม เกิดจากการนำ isoprene 3 ตัวมาเชื่อมกัน เช่น สาร β -caryophyllene พบมากในน้ำมันในฝรั่ง สาร zingiberene พบมากในน้ำมันสกัดจากพืชตระกูลขิง สารในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติด้านการอักเสบและช่วยผ่อนคลาย (ฐาปนีย์, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 ฟีนิลโพรเพน (phenylpropenes) มีโครงสร้างหลักเป็นวงอะโรมาติก (aromatic ring) ต่อกับอะตอมของคาร์บอน 3 อะตอม เช่น สาร eugenol/cinnamic aldehyde พบในน้ำมันหอมระเหย จากกานพลูอบเซยจีน อบเซยลังกา มีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียและชาเฉพาะที่ (local anesthetic) สาร anethole/estragole พบได้ในน้ำมันหอมระเหยจากต้นจันทน์เทศ โหระพา เป็นต้น มีคุณสมบัติในการแก้อาการเกร็ง (ฐาปณีย์, 2550)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ (ณัฐจัน, 2553) สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธี TLC และ GC-MS พบว่ามี limonene เป็นองค์ประกอบหลัก และสารกลุ่ม monoterpene อื่นๆ ปริมาณเล็กน้อย เช่น α -pinene, sabinene, β -pinene, beta-myrcene, α -phellandrene, trans-carveol และ cis-carveol ความแตกต่างของปริมาณ และชนิดองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวของน้ำมันหอมระเหยแต่ละตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุดิบเป็นสำคัญ และมีผลจากวิธีการสกัดเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับรายงานของ (มัตตนา และคณะ, 2562) พบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ มี 4 ชนิดโดยสารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ limonene (83.77%) รองลงมาเป็น β -Myrcene (5.39%), และ β -pinene (1.82%)

2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย

Okoh และคณะ (2010) สมัยโบราณมนุษย์มีวิธีการสกัดแยก น้ำมันหอมระเหย ออกจากพืช โดยการเก็บพรรณไม้หอมนานาชนิดแช่น้ำทิ้งไว้จนน้ำมีกลิ่นหอม แล้วนำไปต้มและอบ ต่อมาวิวัฒนาการมากขึ้น ปัจจุบันนี้มีวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย ออกจากพืชที่ทำกันมากที่สุด คือ

2.3.1 การกลั่นด้วยน้ำ

ใช้กับพืชที่ไม่ถูกทำลายเมื่อต้ม การสกัดวิธีนี้ทำให้สารตัวอย่างสัมผัสกับน้ำโดยตรง เมื่อสารตัวอย่างเดือดจะระเหยกลายเป็นไอแล้วควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวในภาชนะรองรับ มักเกิดปัญหาสารตัวอย่างได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ เพราะตรงกลางหม้อกลั่นจะได้รับความร้อนมากกว่าด้านข้าง อาจทำให้เกิดการไหม้ของสารตัวอย่าง ส่งผลให้กลิ่นไหม้ปะปนไปกับน้ำมันหอมระเหย (มนิขยา, 2546)

2.3.2 การสกัดด้วยไขมันเย็น

ไขมันมีคุณสมบัติในการดูดกลืนได้สูงมาก จึงนำไขมันมาดูดกลืนหอมของดอกไม้ จะใช้ไขมัน หรือน้ำมันไม่ระเหย ที่ไม่มีกลิ่น สะอาด และมีความแข็งพอเหมาะ ถ้าแห้งไปจะดูดกลืนไม่ดี แต่ถ้ามันไปจะแยกดอกไม้ออกยาก ส่วนใหญ่ใช้ไขมันวัวร้อยละ 40 กับไขมันหมูร้อยละ 60 โดยจะนำกลีบดอกไม้วางบนไขมันทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เปลี่ยนดอกไม้มาใหม่ ทำเช่นนี้หลายๆครั้งจนกว่าไขมันจะเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาพอ จากนั้นใช้แอลกอฮอล์มาสกัดน้ำมันหอมระเหยออก นำมาแช่เย็นเพื่อแยกไขมันออกมาจะได้แอลกอฮอล์ที่ละลายน้ำมันหอมระเหย (รัตนา, 2547)

2.3.3 การสกัดด้วยไขมันร้อน

ดอกไม้บางชนิด เช่น กุหลาบ ดอกส้ม เมื่อเด็ดมาจากต้นแล้ว physiological activity จะหยุดหอมทันที เมื่อสกัดด้วยไขมันร้อนจะได้น้ำมันหอมระเหยมาก และกลิ่นหอมกว่าสกัดด้วยไขมันเย็น วิธีการเช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แต่อุ่นไขมันให้ร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส แช่ดอกไม้ลงไปประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วทำให้เย็น แล้วอุ่นให้ร้อนอีกครั้งเพื่อหลอมเหลว และกรองดอกไม้ออกแล้วไขมันที่ติดมาด้วยน้ำอุ่น ไขมันร้อนมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยเหมือนกับการสกัดด้วยไขมันเย็น นำแอลกอฮอล์มาสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง จะได้น้ำมันหอมระเหยอย่างดีเยี่ยม เช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น (Sukkatta และคณะ, 2011)

2.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

สกัดโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งเป็น volatile hydrocarbon เช่น ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) อาจใช้ตัวทำละลายอื่น เช่น แอซีโตน (acetone) เมทานอล (methanol) เป็นต้น วิธีนี้จะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีกลิ่นคงเดิม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกลั่นที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงและมีกลิ่นผิดไปจากธรรมชาติ จึงนำวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายนี้มาใช้ในทางอุตสาหกรรม แต่ต้นทุนการผลิตสูงกว่าการกลั่น (รัตนา, 2547)

แต่ละวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีการใช้เวลาสกัดที่นาน มีความยุ่งยาก และมีความสิ้นเปลืองพลังงาน Chen และคณะ (2016) ได้ศึกษาวิธีการสกัดแบบไมโครเวฟช่วยสกัด ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่ผสมผสานระหว่างพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ และการกลั่นด้วยน้ำในสภาวะความดันบรรยากาศโดยใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่น้อย ช่วยประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสกัด และยังได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงอีกด้วย

2.5 ไมโครเวฟ

2.5.1 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด

เป็นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 0.3GHz - 300GHz ที่ความยาวคลื่นในช่วง 0.01 ถึง 1 เมตร (Terigar และคณะ, 2010) ร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดสารจากพืชสมุนไพร โดยเมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารสกัด จะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ทำให้เกิดความร้อน ซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของสารสกัด และความสามารถในการละลายของสาร

โดยปกติการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิม พลังงานจะถ่ายเทไปยังตัวอย่างโดยการพาความร้อน การนำความร้อน และการแผ่รังสี ผ่านพื้นผิวภายนอกของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิต่างกัน แต่ในกรณีของการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ พลังงานจะถูกส่งตรงไปยังตัวอย่างโดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานของแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนจากการเสียดสีกันของอนุภาคในพืชตัวอย่าง

กระบวนการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟเกิดจากกระบวนการถ่ายเทพลังงานจาก 2 กลไกที่เกิดขึ้นพร้อมกัน ได้แก่ dipole rotation และ ionic conduction การเคลื่อนย้ายไอออนจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า เรียกว่า ionic conduction พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากแรงเสียดทานของตัวทำละลายที่ต้านการเคลื่อนที่ของไอออน ส่วนการปรับเปลี่ยน dipole ของโมเลกุลรวมกับการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า เรียกว่า dipole rotation ที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ คลื่นไมโครเวฟเปลี่ยน electric component ด้วยความเร็ว 4.9×10^4 ครั้งต่อวินาที จึงเกิดความร้อนขึ้นจากแรงเสียดทานดังกล่าว (Afoakwah และคณะ, 2012; Gude และคณะ, 2013; Azwanida, 2015)

2.6 อัลตราซาวด์ช่วยสกัด

เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีแนวโน้มมาใช้ในการสกัดอย่างแพร่หลาย การใช้ประโยชน์จากอัลตราซาวด์ในอุตสาหกรรมอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ การใช้อัลตราซาวด์กำลังต่ำและความถี่สูง และการใช้อัลตราซาวด์กำลังสูงและความถี่ต่ำ หรือที่เรียกว่า พาวเวอร์อัลตราซาวด์ ซึ่งทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหารเนื่องจากคลื่นดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์แคปิวเทชัน ในช่วงความถี่ 20–40 kHz (Atchley และ Crum, 1985)

แคปิวเทชัน (cavitation) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสารละลายหรือตัวกลางที่ได้รับคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและทางกายภาพอันเป็นผลมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการบีบและการคลายของสารตัวกลางหลายพันรอบระหว่างที่ได้รับคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในของเหลวจะสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตราซาวด์เป็นระยะ และเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุด (Suslick, 1994)

จากงานวิจัยหลายฉบับพบว่า เมื่อให้พลังงานอัลตราซาวด์สูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ โดยแรงเฉือนมากยิ่งขึ้น ในอุตสาหกรรมอาหารมักมีการใช้อัลตราซาวด์ที่มีพลังงานต่ำ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดนั้น สามารถทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบของสารสกัดเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มพลังงานของอัลตราซาวด์ (Mason, 1996; Chemat และคณะ, 2008)

2.7 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนาดที่เหมาะสมในการสกัด

Vega และคณะ (2016) ได้นำเปลือกส้มมาบด และหั่นขนาด 1 ซม. เพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด พบว่าการลดขนาดช่วยในการสกัด เนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้เกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลายจึงทำให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น

Kusume และคณะ (2018) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวด้วยไมโครเวฟ โดยทดลองใช้ใบพืชมะนาวขนาดสมบูรณ์ ครึ่งใบ และใบสับ ซึ่งพบว่าใบพืชมะนาวขนาดสมบูรณ์ได้ผลผลิตมากที่สุด

ตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดด้วยไมโครเวฟ

Lianfu และ Zelong (2008) ได้อธิบายว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยพลังงานไมโครเวฟจะเป็นตัวเร่งทำให้ความร้อนของน้ำ ที่อยู่ภายในตัวอย่างทำให้เซลล์พืชแตกออกอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำมันที่อยู่ภายในถูกชะออกมากับตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น

Chen และคณะ (2016) ทำการศึกษาผลของพลังงาน และเวลาในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ โดยเมื่อทำการเพิ่มพลังงานการสกัดเป็น 450 วัตต์ ได้ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพลังงาน 150 วัตต์ ที่ทุกๆช่วงเวลา ผลที่ได้บ่งบอกว่าการใช้พลังงานไมโครเวฟบางตัวไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดได้ ดังนั้นการใช้พลังงานที่น้อยกว่าแต่เพิ่มเวลาในการสกัด เป็นการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ได้ปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพ และประหยัดพลังงานอีกด้วย

Kusuma และ Mahfud (2017) แสดงว่าคลื่นไมโครเวฟมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้เร็วขึ้นโดยสามารถลดระยะเวลาสกัดได้ถึงครึ่งหนึ่ง ได้อธิบายพลังงานไมโครเวฟทำหน้าที่เป็นแรงผลักดันเพื่อทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชเพื่อให้น้ำมันหอมระเหยสามารถกระจาย

ออกและละลายในตัวทำละลาย ดังนั้นการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟโดยทั่วไปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด และส่งผลให้ระยะเวลาการสกัดสั้นลง

Kusume และคณะ (2018) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวด้วยไมโครเวฟ พบว่ามวลของใบพืชมะนาวที่ใช้ 60, 80, 100 และ 120 กรัม มวลยิ่งน้อยยิ่งให้ผลผลิตที่ดี เพราะถ้ามีความหนาแน่นเกินไปเวลาที่สกัดจะส่งผลให้การระเหยของน้ำมันหอมระเหยช้าลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอน้ำที่ระเหยได้ลดลง ในขณะที่เดียวกันกำลังไฟฟ้า 300, 450 และ 600 วัตต์ ให้ผลผลิตมากกว่าการสกัดที่ กำลังไฟฟ้า 150 วัตต์ เพราะพลังงานไมโครเวฟสูงขึ้นทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิของระบบในกระบวนการสกัดให้เร็วขึ้น นอกจากนี้พลังงานไมโครเวฟยังทำหน้าที่เป็นแรงผลักดัน เพื่อทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์พืช ทำให้น้ำมันหอมระเหยสามารถกระจายออกมาได้ แสดงให้เห็นว่ามวลของตัวอย่าง และกำลังไฟฟ้ามีผลต่อปริมาณผลผลิตที่สกัดได้

การออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design

วีรเทพ (2550) ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง โดยนำตัวแปรที่มีอิทธิพลมาทำการออกแบบการทดลอง ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design จะได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงคือ $Y = 50.64 + 1.25A + 0.75B + 0.13C + 0.15D$ โดยได้คำตอบของสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรง (Y) มากที่สุด ที่ปริมาณคาร์บอน (A) ที่ 0.20%/kg ปริมาณแมงกานีส (B) ที่ 0.60%/kg ปริมาณกำมะถัน (C) ที่ 0.05%/kg และปริมาณที่ 0.50%/kg

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย

ณิชาร และคณะ (2547) ศึกษาการนำน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยจีนมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทาผิว ซึ่งได้ทดลองเปรียบเทียบวิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหย 3 แบบ การกลั่นด้วยน้ำ การกลั่นด้วยไอน้ำ การกลั่นด้วยไอน้ำและน้ำ พบว่าอบเชยจีนเหมาะกับการกลั่นด้วยน้ำ เป็นวิธีที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด

Lucchesi และคณะ (2004) กล่าวว่า การสกัดด้วยไมโครเวฟโดยไม่ใช้ตัวทำละลาย เป็นการผสมผสานระหว่างความร้อนจากไมโครเวฟและการกลั่นแห้งซึ่งทำให้ความดันบรรยากาศโดยไม่ต้องเติมตัวทำละลายหรือน้ำ เปรียบเทียบกับเทคนิคการกลั่นด้วยน้ำ เพื่อการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรหอมสามชนิด ได้แก่ โหระพา สะระแหน่ และไธม์ น้ำมันหอมระเหยสกัดจากการสกัดด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณ และมีคุณภาพ (aromatic profile) คล้ายคลึงกับน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยการกลั่นด้วยน้ำ เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง วิธี การสกัดด้วยไมโครเวฟ ทำให้น้ำมันหอมระเหยมีปริมาณสารประกอบออกซิเจนที่มีมูลค่าสูงกว่าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ได้มากขึ้นทั้งในด้านเวลาพลังงาน และวัสดุจากพืช

รุ่งฤดี (2550) ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไพล 3 วิธี วิธีกลั่นด้วยน้ำ วิธีไมโครเวฟ วิธีไมโครเวฟร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยสกัด ผลการทดลองพบว่า วิธีกลั่นด้วยน้ำ ที่ใช้เวลา 60 นาที ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 0.92 % ขณะที่วิธีไมโครเวฟ ใช้เวลา 40 นาที ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 1.04 % และพบว่า การใช้เครื่องอัลตราโซนิคช่วยสกัดไม่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไพล แต่เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี GC จะได้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าวิธีอื่นๆ

Bayramoglu และคณะ (2008) ได้ตรวจวัดสมรรถนะของการสกัดด้วยไมโครเวฟโดยไม่ใช้ตัวทำละลาย ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *Origanum vulgare* L. ศึกษาผลของพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการสกัดต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย GC-MS/FID ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดและหาปริมาณของสารอโรมาในน้ำมันหอมระเหย การสกัดด้วยไมโครเวฟให้ผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (0.054 mL/g) เมื่อเทียบกับการกลั่นด้วยน้ำ (0.048 mL/g) การสกัดด้วยไมโครเวฟเมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟ 622 วัตต์ ประหยัดเวลาได้ถึง 80% สารสกัดจากน้ำมันหอมระเหยออริกานอพบว่ามีไทมอล (650-750 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหอมระเหยออริกานอ

คุณภาพน้ำมันหอมระเหย

Kimbaris และคณะ (2006) เปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกลีบกระเทียมสด (*Allium sativum*) โดยวิธีการกลั่นสกัด วิธีใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยสกัด เปรียบเทียบในเชิงปริมาณ และคุณภาพขององค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ คุณสมบัติประเภทกลิ่น และรสชาติของกระเทียมเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย GC-MS แล้วปรากฏว่าองค์ประกอบบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากค่าความร้อนที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน คือวิธีการกลั่นสกัด มีการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน วิธีไมโครเวฟช่วยสกัดมีการให้ความร้อนในเวลาอันสั้น และวิธีคลื่นอัลตราโซนิคช่วยสกัดเป็นการสกัดที่อุณหภูมิห้อง แต่ในเชิงปริมาณการกลั่นสกัดให้ปริมาณผลผลิตที่มากที่สุด ตามด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีคลื่นอัลตราโซนิคช่วยสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soumaya และคณะ (2012) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากเปลือกของส้มสีชนิด ได้แก่ ส้มเขียวหวาน มะนาว ส้มเนื้อแดง ส้มแมนดาริน และตระกูล citrus สารระเหยที่ถูพบมากที่สุดในตระกูลนี้คือ limonene (67.90 - 90.95%) เป็นสารที่เป็นพบส่วนใหญ่ในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกตระกูล citrus ในขณะที่มะนาวมีก็มี limonene (37.63 - 69.71%) อย่างไรก็ตามผลการวิจัยพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มพบ limonene เป็นส่วนใหญ่มีถึง (81.52 - 86.43%) และมีมากในตระกูล citrus เช่น ส้มโอ ส้มเขียวหวาน มะกรูด มะนาว เป็นต้น อีกทั้งยังมีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย

Chen และคณะ (2016) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบสารของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธี GC-MS จากกระบวนการสกัด 2 ขั้นตอนการเห็นได้ชัดว่าไมโครเวฟไม่ใช้ตัวทำละลายเหมาะสมมากกว่ากระบวนการกลั่นด้วยน้ำ สำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหยในแง่ประสิทธิภาพ การศึกษาความคงตัวของน้ำมันหอมระเหยชี้ให้เห็นว่าไมโครเวฟไม่ใช้ตัวทำละลายจะไม่มีผลต่อองค์ประกอบของน้ำมัน

Rashed และคณะ (2017) ศึกษานวัตกรรมใหม่ในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากลาเวนเดอร์ โดยใช้วิธี GC-MS โครงสร้างสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อลาเวนเดอร์ พบได้โดยใช้ SEM วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านการออกซิเดชันโดยใช้วิธี DPPH และ ABTS พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ (12.5 mg) ในช่วง (5-20 มิลลิกรัม), เวลา (52.5 นาที) และพลังงานไมโครเวฟ (275 วัตต์) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชอะโรมา ผลการวิจัยนี้แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยจากลาเวนเดอร์ ซึ่งสกัดได้จากการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์-ไมโครเวฟภายใต้สภาวะที่เหมาะสม มีคุณสมบัติสามารถใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหารในอุตสาหกรรมอาหารโดยสามารถป้องกันการเน่าเสียและการเจริญเติบโตแบคทีเรีย

Goh และคณะ (2019) ได้วิเคราะห์สารระเหยในส้มโอจากประเทศมาเลเซีย ทั้งหมด 4 ส่วน คือ ดอก ใบ เปลือก และน้ำส้มโอ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซโซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน ในการสกัดสารระเหยง่าย เปลือกส้มโอมีสารระเหยมากที่สุดตามด้วยใบ ดอก และน้ำส้มโอ โดยการแยกคุณภาพส้มโอใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อดูสารประกอบ เช่น citronellol และ α -terpineol ซึ่งพบมากในเปลือกส้มโอ

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าความร้อน ระยะเวลาในการสกัด และอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณตัวอย่างมีผลต่อการเสื่อสภาพในเซลล์ของวัสดุเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติด้านกลิ่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหย รวมทั้งพบว่าคลื่นความถี่อัลตราโซนิกสามารถทำให้อนุภาคของน้ำสันสะเทือน และแตกตัวเป็นละอองได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งถ้านำหลักการนี้มาใช้ในการช่วยสกัดน้ำมันหอมระเหยจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดมากขึ้น รวมทั้งยังช่วยลดการเสื่อมสภาพของสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหย อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเปลือกส้มโอแต่ละชนิดมีปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน ดังนั้นสภาวะของการสกัดแต่ละวิธีจึงต้องมีการปรับให้เหมาะสมเพื่อให้ทำการสกัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการทดลองจะทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด เปรียบเทียบกับวิธีการกลั่นด้วยน้ำ และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด โดยจะทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหย และวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญทั้งในส่วนของปริมาณ และคุณภาพ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์กับผู้ปฏิบัติกรอย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 น้ำกลั่น (H₂O)

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องไมโครเวฟตัดแปลง Samsung ME711K/XST 800W, Japan

3.1.2.2 เต้าไฟฟ้า Lab Tech LMS-100 500 W

3.1.2.3 อ่างอัลตราโซนิก Daihan (WUC-D22H), Korea

3.1.2.4 กระจกชนิดยา ขนาด 1 มิลลิเมตร

3.1.2.5 ขวดก้นกลม ขนาด 1 ลิตร

3.1.2.6 ขวดสีชา ขนาด 5 มิลลิเมตร

3.1.2.7 เขียง

3.1.2.8 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง Ohuau (ARC 120), USA

3.1.2.9 เครื่องทำความเย็น Scientific Promotion

3.1.2.10 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด UNI-T (UT301A)

3.1.2.11 ชุดกลั่นน้ำมันหอมระเหย

3.1.2.12 พาราฟินฟิล์ม

3.1.2.13 มีด

3.2 วัตถุดิบ

เปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง จากสวนสระแก้ว ถนนสุวรรณศร ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว (เดือนมกราคม 2562 จำนวน 40 ลูก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำเปลือกส้มโอไปล้างทำความสะอาด ฉีกแยกเปลือกชั้นนอกออก หั่นเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 0.5, 1, 1.5 เซนติเมตร และบดละเอียด ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ในถุงปิดผนึกสุญญากาศ แช่ในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.4. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การทดลองหาขนาดของเปลือกชั้นนอกของส้มโอที่เหมาะสมกับการสกัดน้ำมันหอมระเหย

ในขั้นตอนการหาขนาดของเปลือกชั้นนอกของส้มโอที่เหมาะสมด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ ระยะเวลาในการสกัด 70 นาที และอัตราส่วนของเปลือกส้มโอต่อปริมาณน้ำกลั่น 1:1 กรัม/มิลลิลิตร (Cardoso-Ugarte และคณะ, 2013) โดยใช้ขนาดของเปลือกส้มโอชั้นนอก (บดละเอียด, 0.5×0.5, 1×1 และ 1.5×1.5 เซนติเมตร) เพื่อให้ทราบขนาดของเปลือกส้มโอชั้นนอกที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยได้มากที่สุด ด้วยแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากนั้นนำขนาดเปลือกชั้นนอกของส้มโอไปหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัด

3.4.2 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุด โดยใช้โปรแกรม Design Expert (Version 12, Stat-Ease, Inc., USA) เลือกการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design มี 3 ปัจจัย ที่มีอิทธิต่อการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ (X_1), ระยะเวลาในการสกัด (X_2) และปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม (X_3) โดยได้เลือกช่วงของตัวแปรมาจากการทดลองขั้นต้นก่อนการทดลองจริง (จากที่ได้ทดลองหาขนาดที่เหมาะสมในการสกัดไป จึงได้ทำการทดลองต่อจากการลดและเพิ่มพลังงานของช่วงการทดลองเดิม ผลออกมาว่าหากใช้พลังงานน้อยกว่า 300 วัตต์ จะไม่น้ำมันหอมระเหยออกมาจากเปลือกส้มโอ แต่หากใช้พลังงานมากกว่า 600 วัตต์ จะทำให้เกิดการไหม้ของเปลือกส้มโอก่อนที่น้ำมันหอมระเหยจะระเหยออกมาหมดทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยสีเหลืองที่มีกลิ่นเหม็นไหม้ ในขณะที่เดียวกันก็ได้สังเกตว่าที่พลังงานที่ 300 วัตต์ เริ่มมีน้ำมันหอมระเหยออกมาในนาที่ที่ 30 และที่พลังงานที่ 600 วัตต์ ระยะเวลาการสกัดที่เกิน 60 นาทีไปแล้วไม่มีน้ำมันหอมระเหยออกมาจากระบวนการสกัดแล้ว และอัตราส่วนของเปลือกส้มโอต่อปริมาณน้ำกลั่น 1:1 เกิดน้ำมันหอมระเหยที่มีสีเหลืองออกมาซึ่งเกิดจากการไหม้ของเปลือกส้มโอแต่ตัวน้ำมันหอมระเหยยังออกมาไม่หมด จึงได้มีการเพิ่มปริมาณน้ำกลั่นขึ้นเพื่อลดการไหม้ของเปลือกส้มโอจะได้ น้ำมันหอมระเหยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาปริมาณสูง และคุณภาพดี) ทำให้ได้เป็นช่วงดังนี้ กำลังไมโครเวฟ (X_1) อยู่ในช่วง 300-600 วัตต์ ระยะเวลาในการสกัด (X_2) อยู่ในช่วง 40-60 นาที และปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม (X_3) 200-300 มิลลิลิตร จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และออกแบบการทดลองได้การทดลองออกมา 11 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลาง 5 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 16 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ระดับของปัจจัยของการออกแบบการทดลองแบบ Box – Benhken Design

ปัจจัย	ตัวแปร	ระดับ		
		-1	0	1
พลังงานไมโครเวฟ (วัตต์)	X_1	300	450	600
ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	X_2	40	50	60
ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม (มิลลิลิตร)	X_3	200	300	400

3.4.2.1 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง และทวนสอบสมการ

ข้อมูลจากการสกัดใน 3.4.2 จะถูกวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของการสกัด และเพื่อสร้างรูปแบบสมการกำลัง 2 รวมถึงแผนภาพพื้นผิวตอบสนองของวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดมีรูปแบบของสมการที่ 3.1

$$\text{ไมโครเวฟช่วยสกัด : } Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ij} X_i^2 \quad (3.1)$$

โดยที่ Y คือ ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%)

β_0 คือ สัมประสิทธิ์ของโมเดลทดลอง

β_i คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร

β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้งของตัวแปร

ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Benhken Design

การทดลอง	ค่าของปัจจัย		
	กำลังไมโครเวฟ X ₁ (วัตต์)	ระยะเวลาในการสกัด X ₂ (นาที)	ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม X ₃ (มิลลิลิตร)
1	300	50	400
2	450	60	200
3	450	50	300
4	450	50	300
5	300	60	300
6	450	40	200
7	450	50	300
8	450	60	400
9	600	50	400
10	450	50	300
11	450	40	400
12	600	40	300
13	600	60	300
14	300	50	200
15	600	50	200
16	300	40	300

3.4.3 วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยไมโครเวฟ

นำเปลือกส้มโอที่ขนาดเหมาะสม จากข้อที่ 3.4.1 มาชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น ทำการสกัดด้วยไมโครเวฟดัดแปลง โดยใช้กำลังไมโครเวฟ และระยะเวลาในการสกัดตามที่ได้ ออกแบบแผนการทดลองในตารางที่ 3.2 เมื่อครบเวลา จะได้น้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ ปล่อยให้เย็นและเก็บ น้ำมันหอมระเหยในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร ทำการจดบันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหยเพื่อคำนวณร้อยละ ผลผลิตน้ำมัน ที่ได้จากการสกัดโดยใช้สูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.2)

$$\text{ร้อยละปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหย (\%)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักเปลือกส้มโอชิ้นนอก (กรัม)}} \times 100 \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากการสกัดจะถูกวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของการสกัดและสร้างสมการ quadratic model

3.4.4 การเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วย วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีกลั่นด้วยน้ำ

เมื่อได้ค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดจาก ข้อ 3.4.2 แล้ว จึงนำสถานะดังกล่าวมาสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด เทียบกับวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีกลั่นด้วยน้ำ ทำการสกัดวิธีละ 5 ครั้ง

3.4.4.1 วิธีการสกัด

3.4.4.1.1 วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด

นำเปลือกส้มโอ 100 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม ขนาด 1 ลิตร จากนั้นนำไปสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแบบอ่าง ที่แอมพลิจูด (R) เท่ากับ 60% เป็นเวลา 20 นาที (รุ่งฤดี, 2550) ก่อนจะนำไปสกัดในไมโครเวฟด้วยวิธีการและที่สถานะเหมาะสมกับการสกัดในหัวข้อ 3.4.2.1 จะได้น้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ ปล่อยให้กลั่นทิ้งและเก็บน้ำมันหอมระเหยในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร ทำการจดบันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหย นำน้ำมันหอมระเหยที่ได้ไปเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์สมบัติต่างๆของน้ำมันหอมระเหยต่อไป

3.4.4.1.2 วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกชั้นนอกของส้มโอด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ

นำตัวอย่างเปลือกชั้นนอกของส้มโอ มาชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร กลั่นด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที โดยเติมน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1:6 ของปริมาณเปลือกส้มโอที่ใช้ (Chen และคณะ, 2016) จะได้น้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ ปล่อยให้กลั่นทิ้งและเก็บน้ำมันหอมระเหยในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร ทำการจดบันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหย นำน้ำมันหอมระเหยที่ได้ไปเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์สมบัติต่างๆของน้ำมันหอมระเหยต่อไป

3.4.4.2 การวิเคราะห์ผล

เปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำมันหอมระเหยในด้านปริมาณผลผลิต ที่ได้จากการสกัดได้จากแต่ละวิธี ด้วยแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหอมระเหยที่ได้ ได้แก่ องค์ประกอบ

ทางเคมีที่พบน้ำมันหอมระเหย (3.4.5 วิธีการวัดคุณภาพน้ำมันหอมระเหย) และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย (3.4.6 วิธีการวัดค่าไฟฟ้าที่ใช้)

3.4.5 วิธีการวัดคุณภาพน้ำมันหอมระเหย

วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ด้วยวิธี GC-MS (7890A ระบบ GC e 5975 C VLMSD ด้วยเครื่องตรวจจับสามแกน, เทคโนโลยี Agilent, USA) พร้อมกับ capillary column (30 ม. 0.25 มม. 0.25 มม.) เงื่อนไข GC : แก๊สฮีเลียม (อัตราการไหลของก๊าซที่ 1.0 มล. /นาที่, ที่อัตราส่วน 0:1, ปริมาณการฉีด 1.0 มล., อุณหภูมิการฉีด 260 °C), อุณหภูมิภายใน oven (โปรแกรมจาก 50 °C ถึง 150 °C สำหรับ 15 นาที holding 4 นาที และ 150 °C ถึง 260 °C เป็นเวลา 10 นาที holding 4 นาที), โหมดออิออนไนเซชัน (electronic impact ที่ 70 eV, อุณหภูมิออิออนไนเซชัน 230 °C), quadruple temperature MSE 150 °C, transfer line temperature 260 °C, และตัวทำละลายล่าช้า 3 นาที ส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ถูกระบุโดยการเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายตัวของมวลสเปกตรัม (Chen และคณะ, 2016)

3.4.6 วิธีการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกชั้นนอกของส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟ วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีกลั่นด้วยน้ำ โดยดูจากกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ ระยะเวลา เพื่อคำนวณหน่วยไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$\text{หน่วยไฟฟ้า (kWh)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (P) วัตต์}}{1000} \times \text{ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)} \quad (3.2)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท)} = \text{หน่วยไฟฟ้า} \times 4 \text{ บาท/หน่วย} \quad (3.3)$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์ขนาดของเปลือกส้มโอที่เหมาะสมกับการสกัดน้ำมันหอมระเหย

จากการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอโดยไมโครเวฟช่วยสกัด ที่ระดับพลังงาน 450 วัตต์ ระยะเวลาในการสกัด 70 นาที และอัตราส่วนของเปลือกส้มโอต่อปริมาณน้ำกลั่น 1:1 กรัม/มิลลิลิตร (Cardoso-Ugarte และคณะ, 2013) ผลการวิเคราะห์แผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าขนาดมีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เปลือกส้มโอที่ทำการบดได้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยสูงกว่า เปลือกส้มโอที่หั่นเป็นขนาด 0.5, 1, 1.5 ซม. เพราะว่าขนาดของเปลือกส้มโอเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว ซึ่งส่งเสริมการสัมผัสตัวอย่างกับตัวทำละลาย และการแทรกซึมของไมโครเวฟได้ดีขึ้น (Veggi และคณะ, 2012; Vega และคณะ, 2016) รายงานว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มที่บดสูงกว่าเปลือกที่หั่นเป็นแผ่น 1 ซม. แตกต่างจาก (Kusuma และคณะ, 2018) ได้ผลว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบพืชมเสนที่สกัดด้วยไมโครเวฟโดยไม่ใช้ตัวทำละลายปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากใบพืชมเสนที่ลดขนาดต่ำกว่าใบพืชมเสนเต็มใบ เพราะว่าส่วนหนึ่งของน้ำมันหอมระเหยจากใบพืชมเสน สามารถเข้าถึงได้ง่ายจากพื้นที่ผิวของใบพืชมเสนอยู่แล้วเมื่อลดขนาดจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยของขนาดของเปลือกส้มโอที่ต่างกัน

ขนาดของเปลือกส้มโอ	ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย (%)
บด	1.14 ^a ±0.01
0.5	0.23 ^b ±0.01
1	0.15 ^c ±0.00
1.5	0.13 ^c ±0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c} แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2 การวิเคราะห์ค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตของการสกัดน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ด้วยวิธีไมโครเวฟ ช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

4.2.1 สมการถดถอย และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

การหาค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดสำหรับการสกัดนี้ อาศัยการวิเคราะห์ด้วย Response surface methodology ร่วมกับ Box – Behnken โดยโปรแกรม Design-Expert ใช้ปัจจัย 3 ปัจจัย คือ กำลังไมโครเวฟ ระยะเวลาในการสกัด และ ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม ได้ปริมาณผลผลิตของ น้ำมันหอมระเหยในแต่ละการทดลองอยู่ในช่วง 0.38 – 2.60 (%) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดด้วยไมโครเวฟ

ระดับพลังงาน X_1 (วัตต์)	ระยะเวลาในการสกัด X_2 (นาที)	ปริมาณน้ำกลั่น X_3 (มิลลิลิตร)	ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอม ระเหย (%)
300	50	400	0.38
450	60	200	1.78
450	50	300	0.89
450	50	300	0.92
450	50	300	0.90
300	60	300	0.90
450	40	200	1.26
450	50	300	0.98
450	60	400	0.45
600	50	400	0.40
450	50	300	0.78
450	40	400	0.40
600	40	300	2.30
600	60	300	2.50
300	50	200	1.40
600	50	200	2.60
300	40	300	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์การแสดงผลการคำนวณเชิงลำดับ (sequential sums of squares) และการวิเคราะห์ผลสรุปทางสถิติของแบบจำลอง (model summary statistic) แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าแบบจำลองเชิงเส้น (linear) และกำลังสอง (quadratic) ได้รับความเชื่อมั่นเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เนื่องจากค่า P-value ของทั้งสองสมการนี้มีค่า < 0.05 เพื่อเป็นการยืนยันว่ารูปแบบสมการนี้เหมาะสม ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองกำลังสองสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.9874 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ และผลการทดลองในตารางที่ 4.2 สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปร ดังสมการที่ 4.1

$$Y = 6.81805 - 0.020180X_1 - 0.046800X_2 + 0.001518X_3 + 0.000004X_1X_2 - 0.000002X_1X_3 - 0.000118X_2X_3 + 0.000027X_1^2 + 0.000925X_2^2 - 0.000002X_3^2 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design

Sequential sums of squares						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Mean vs Total	25.25	1	25.25			
Linear vs Mean	6.26	3	2.09	14.92	0.0002	
2FI vs Linear	0.0561	3	0.0187	0.1062	0.9546	
Quadratic vs 2FI	1.66	3	0.5532	38.15	0.0001	Suggested
Cubic vs Quadratic	0.0803	3	0.0268	5.06	0.0756	Aliased
Residual	0.0212	4	0.0053			
Total	33.32	17	1.96			
Model summary statistic						
Source	SD	R^2	Adj. R^2	Pred. R^2	PRESS	
Linear	0.3739	0.7750	0.7230	0.5946	3.27	
2FI	0.4197	0.7819	0.6511	0.1526	6.84	
Quadratic	0.1204	0.9874	0.9713	0.8367	1.32	Suggested
Cubic	0.0727	0.9974	0.9895			Aliased

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) สำหรับใช้ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงในตารางที่ 4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีนัยสำคัญทางสถิติ จากค่า P-value ของ model <0.0001 เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (lack of fit) ค่า P-value เท่ากับ 0.0756 ซึ่ง >0.05 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอย (สมการที่ 4.1) มีความเหมาะสม ในส่วนสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9874 แสดงว่าสมการมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา

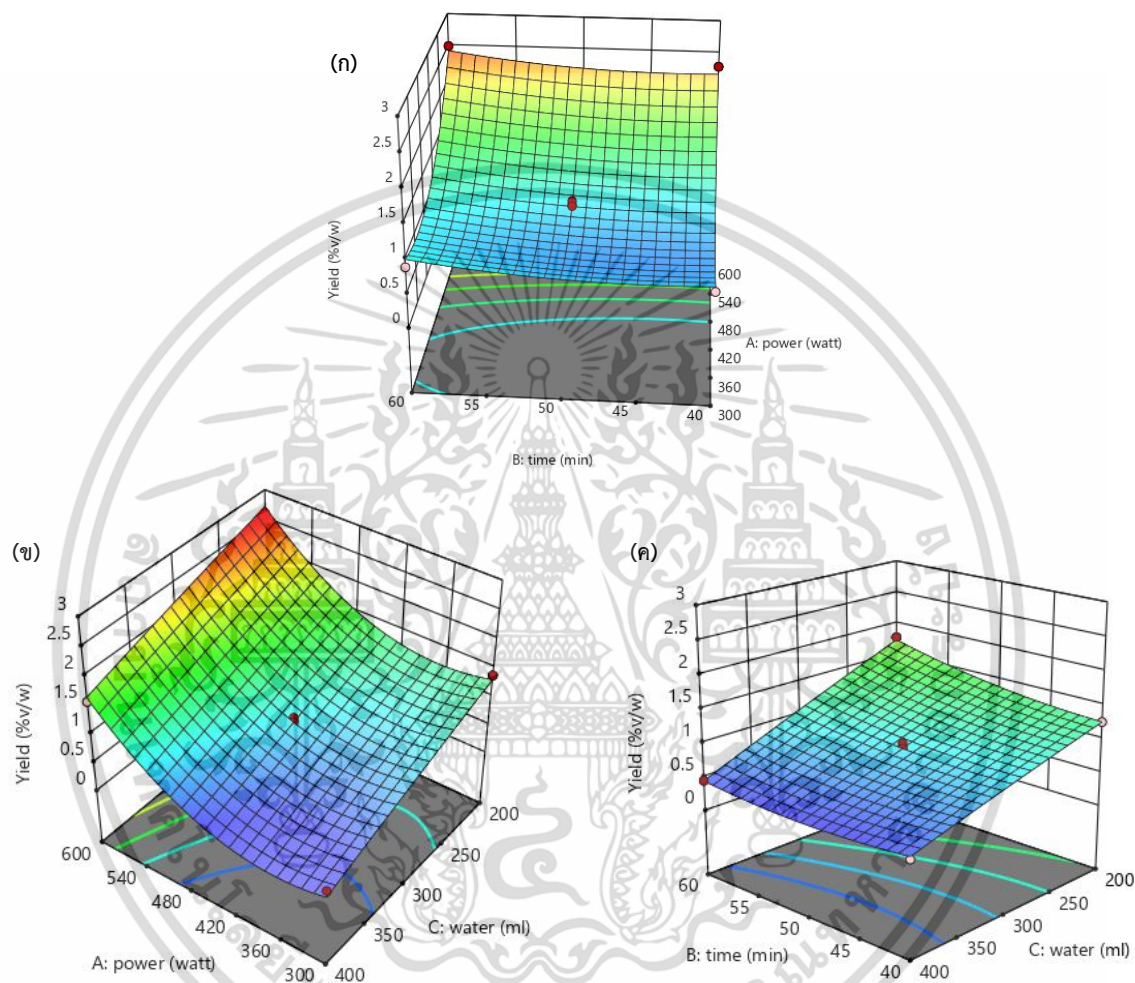
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) ของหลักการพื้นผิวตอบสนอง (RSM)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	7.97	9	0.8860	61.10	<0.0001	significant
X ₁ -power	3.92	1	3.92	270.05	<0.0001	
X ₂ -time	0.1152	1	0.1152	7.94	0.0258	
X ₃ -volume of water	2.23	1	2.23	153.59	<0.0001	
X ₁ X ₂	0.0001	1	0.0001	0.0091	0.9266	
X ₁ X ₃	0.0000	1	0.0000	0.0025	0.9617	
X ₂ X ₃	0.0559	1	0.0559	3.86	0.0903	
X ₁ ²	1.59	1	1.59	109.76	<0.0001	
X ₂ ²	0.0361	1	0.0361	2.49	0.1588	
X ₃ ²	0.0011	1	0.0011	0.0762	0.7905	
Residual	0.1015	7	0.0145			
Lack of Fit	0.0803	3	0.0268	5.06	0.0756	not significant
Pure Error	0.0212	4	0.0053			
Cor Total	8.08	16				
Std. Dev.	0.1204		R ²	0.9874		
Mean	1.22		Adjusted R ²	0.9713		
C.V. %	9.88		Predicted R ²	0.8367		
			Adeq-Precision	26.5766		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 อิทธิพลของตัวแปรต่อค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ

จากสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.1) สามารถนำมาพล็อตกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ มีผลกับค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ แสดงผลในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟสามมิติของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

- (ก) พื้นผิวตอบสนองผลกระทบบetweenระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการสกัด
- (ข) พื้นผิวตอบสนองต่อผลกระทบบetweenระดับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณน้ำกลั่น
- (ค) พื้นผิวตอบสนองต่อผลกระทบบetweenระยะเวลาในการสกัดและปริมาณน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟ และเวลาในการสกัด ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ และความชื้นทำให้เกิดการแตกของผนังเซลล์ นอกจากนี้ยังอัตราความร้อนที่เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจะช่วยเพิ่มการไฮโดรไลซิสของอีเธอร์เซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปล่อยน้ำมันหอมระเหยได้เร็วขึ้น (Camposa และคณะ, 2005) สอดคล้องกับ (Fiorini และคณะ, 2020) ที่สกัดน้ำมันหอมระเหยจากกัญชาด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด พบว่ากราฟจะพุ่งสูงขึ้นเมื่อพลังงานไมโครเวฟมีค่ามากขึ้น และเวลาการสกัดนานทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.1 (ข) การลดปริมาณน้ำกลั่น มีประโยชน์มากเมื่อพลังงานไมโครเวฟมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าปริมาณตัวทำละลายเพิ่มความยากของการใช้พลังงานไมโครเวฟสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ และทำให้เกิดขยะที่ไม่จำเป็น ดังนั้นปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการปรับปรุงกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหย (Vega และคณะ, 2019) ที่ได้ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบกระวานด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด พบว่าอัตราส่วนตัวทำละลายยิ่งน้อย พลังงานไมโครเวฟสูงช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตการสกัด

จากรูปที่ 4.1 (ค) ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำกลั่นต่ำลง เพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้น เพราะน้ำกลั่นต้องแทรกซึมเข้าไปในตัวอย่างเพื่อทำการละลายน้ำมันหอมระเหยจากตัวอย่างให้ระเหยออกมา และควบแน่นได้เป็นผลผลิต กระบวนการทั้งหมดต้องใช้เวลาเพียงพอในการสกัดจึงจะได้น้ำมันหอมระเหยออกมา (Vega และคณะ, 2019)

4.2.4 ค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด

การหาค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุด โดยนำสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.1) มาคำนวณหาค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย มีเงื่อนไข แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณของโปรแกรม สามารถให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ใช้ระยะเวลาการสกัด 43 นาที และปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม 200 มิลลิลิตร จะให้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 2.591 %

ตารางที่ 4.5 การกำหนดเกณฑ์ของระดับตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม

ตัวแปร	กำหนด	ระดับต่ำ	ระดับสูง
กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	อยู่ในเกณฑ์	300	600
ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	อยู่ในเกณฑ์	40	60
ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม (มิลลิลิตร)	อยู่ในเกณฑ์	200	400
ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย (%)	มากที่สุด	0.378	2.500

4.2.5 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.1) ว่าสามารถนำสมการถดถอยกำลังสองมาใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอได้หรือไม่ นำค่าที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุดจากหัวข้อ 4.2.4 มาทำการทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของสมการถดถอยกำลังสองเพื่อยืนยันผลของสมการ แสดงในตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองเพื่อยืนยันจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากการทดลองได้ 2.476% ใกล้เคียงกับค่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากการทำนายคือ 2.591% เมื่อพิจารณาที่ค่าอคติพบว่ามีค่าเป็น 4.438% ซึ่งค่าอคติที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 5% (อิทธิพล และคณะ, 2556) แสดงให้เห็นว่าสถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดที่ได้จากสมการถดถอยกำลังสองมีความน่าเชื่อถือ และอนุมานได้ว่าสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.1) เหมาะสมสำหรับไปใช้ทำนายปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย

สถานะที่เหมาะสม	ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย (%)		ค่าอคติ ² (%)
	ค่าจากการทดลอง ¹	ค่าจากการทำนาย	
กำลังไมโครเวฟ (600 วัตต์) ระยะเวลาในการสกัด (43 นาที) ปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม (250 มิลลิลิตร)	2.476±0.011	2.591	4.438

หมายเหตุ ¹ค่าจากการทดลองเฉลี่ย 5 ซ้ำ

$$^2\text{ค่าอคติ} = \frac{\text{ค่าจากการทำนาย} - \text{ค่าจากการทดลอง}}{\text{ค่าจากการทำนาย}} \times 100$$

4.3 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีกลั่นด้วยน้ำ

4.2.1 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิต

จากการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ซึ่งสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัดมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยสูงสุด รองลงมาคือ วิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ส่วนวิธีกลั่นด้วยน้ำมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยน้อยที่สุด เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) พบว่าวิธีกลั่นด้วยน้ำมีความแตกต่างกับอีก 2 วิธีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าที่ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ

วิธีการสกัด	ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย (%)
วิธีไมโครเวฟช่วยสกัด	2.476±0.011 ^a
วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด	2.492±0.024 ^a
วิธีกลั่นด้วยน้ำ	1.344±0.084 ^b

หมายเหตุ ^{a,b} แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.2 เปรียบเทียบด้านคุณภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย Gas Chromatography รายงานว่าวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ โดยทั้งสามวิธีพบสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ Limonene อยู่ในช่วง 71-75% และสารประกอบที่พบในการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดเพียงวิธีการเดียว คือ Trans-Limonene Oxide, Cis-3-Hexenyl Tiglate และ Hexadecanoic acid พบในปริมาณ 0.238%, 0.147% และ 0.053% ตามลำดับ ส่วนสารประกอบ β -Myrcene, Cis-Carveol และ Limonene oxide พบเฉพาะในน้ำมันหอมระเหยที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัดในปริมาณ 7.993%, 0.301% และ 0.15% ตามลำดับ ส่วนวิธีการกลั่นด้วยน้ำพบ 1-Carvone และ Cis-Asarone ปริมาณ 0.443% และ 0.182% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบสารประกอบบางตัวในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด แต่ไม่พบในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ ได้แก่ Neryl Alcohol, Delta-Elementene และ 3,4,5-Trimethoxyallylbenzene โดยพบปริมาณของสารประกอบทั้ง 3 ตัว ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในทั้ง 2 วิธีการ คือประมาณ 0.71-0.72%, 0.12-0.19% และ 0.13-0.15% ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อเทียบปริมาณ Limonene กับ Chen และคณะ (2016) ทดลองได้ปริมาณที่น้อย เพราะปริมาณ Limonene จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าของพลังงานไมโครเวฟลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย (%) ที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE) วิธีอัลตราโซนิค-ไมโครเวฟช่วยสกัด (UMAE) และวิธีกลั่นด้วยน้ำ (HD)

Compounds	MAE	UMAE	HD
Limonene	71.401	75.275	73.879
β -Pinene	8.438	-	8.531
β -Myrcene	-	7.993	-
α -Fellandrene	4.626	3.919	3.384
α -Pinene	2.401	2.188	2.694
β -Citral	2.466	1.916	2.296
Germacrene D	3.232	2.277	1.451
L-Linalool	1.221	1.066	1.474
Sabinene	1.250	1.185	0.892
Trans-Caryophyllene	0.502	0.319	0.305
Perilla aldehyde	0.215	0.141	0.252
Nootkatone	0.346	0.288	0.284
Lavandulyl Acetate	0.463	0.488	0.369
Bicyclogermacrene	0.582	0.322	0.256
4-Terpineol	0.172	0.160	0.401
Methyl Eugenol	0.236	0.255	0.270
α -Terpineol	0.818	0.787	1.520
Neryl Alcohol	0.711	0.727	-
Delta-Elemene	0.192	0.118	-
3,4,5-Trimethoxyallylbenzene	0.146	0.125	-
Limonene oxide	-	0.150	-
Hexadecanoic acid	0.053	-	-
1-Carvone	-	-	0.443
Cis-Carveol	-	0.301	-
Cis-Asarone	-	-	0.182
Cis-3-Hexenyl Tiglate	0.147	-	-
Cis-3-Hexenyl Benzoate	0.141	-	0.116
Trans-Limonene Oxide	0.238	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า คำนวณไฟฟ้า จากการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีกลั่นด้วยน้ำ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าที่ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ

วิธีการสกัด	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวนยูนิต	ค่าไฟฟ้า (บาท/ชม.)
วิธีไมโครเวฟช่วยสกัด	600	0.24	0.96
วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด	660	0.42	1.66
วิธีกลั่นด้วยน้ำ	500	1.5	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่อง การเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันหอมระเหยสูงสุด

ใช้เปลือกส้มโอบด 100 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร สกัดโดยใช้เครื่อง ไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ใช้เวลา 43 นาที ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด 2.48 %

5.1.2 การทดลองเปรียบเทียบการสกัดโดยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด และวิธีการกลั่นด้วยน้ำ

- วิธีการกลั่นด้วยน้ำ สะดวกในการหาอุปกรณ์ในการสกัด ได้ limoene ระดับกลาง แต่ได้ปริมาณผลผลิตน้อย ใช้เวลา และปริมาณน้ำกลั่นมาก ค่าไฟฟ้าสูง
- วิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ได้ปริมาณผลผลิตที่มาก ใช้เวลาในการสกัด ปริมาณน้ำกลั่น และค่าไฟฟ้าน้อย แต่มี limoene น้อยที่สุด
- วิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด ได้ปริมาณผลผลิตที่มาก ใช้ปริมาณน้ำกลั่นน้อย ใช้เวลาในการสกัด และค่าไฟฟ้ามากกว่าวิธีไมโครเวฟ แต่มี limoene มากที่สุด

สามารถสรุปได้ว่าการใช้อัลตราโซนิกก่อนการสกัดช่วยให้การสกัดดีขึ้น เนื่องจากที่เงื่อนไขเดียวกับการสกัดด้วยไมโครเวฟ หากมีการสันด้วยอัลตราโซนิกก่อนการสกัดด้วยไมโครเวฟ จะช่วยให้ค่าร้อยละปริมาณผลผลิตกับ limoene เพิ่มขึ้นกว่าการสกัดด้วยวิธีที่ใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดเพียงอย่างเดียว และมีการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยค่าร้อยละของผลผลิตของการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัดจะทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นจากวิธีการที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดประมาณ 0.6%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยของการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟ ได้แก่ เวลา กำลังไมโครเวฟที่ใช้ และปริมาณน้ำกลั่นต่อเปลือกส้มโอ ที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นการทำการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ การนำไปประยุกต์ใช้ในระดับสถานประกอบการ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับความต้องการ โดยการเลือกใช้วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยในแต่ละวิธีนั้น ผู้ที่สนใจศึกษาหรือนำไปประยุกต์ใช้มีความจำเป็นต้องพิจารณาหลายด้านประกอบกัน เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ผลิตเนื่องจากวิธีการทั้งสามมีจุดเด่น และจุดด้อยแตกต่างกันไป ผู้วิจัยได้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบ และความแตกต่างของกระบวนการทั้งสาม เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถพิจารณาวิธีการที่เหมาะสม



บรรณานุกรม

กรมศุลกากร. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. **Emport/Export Statistocs**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://www.customs.go.th/statistic_report.php?show_search=1. 23 สิงหาคม 2560.

กรรณิกา แทนคา. (2553). **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า-คลื่นไมโครเวฟ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.oshthai.org/attachments/article/147/147.pdf>. 20 ตุลาคม 2559.

ฐาปนีย์ หงส์รัตนาวรกิจ. (2550). **น้ำมันหอมระเหยและการใช้ในสุนัขบำบัด**. กรุงเทพฯ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ณัฐินี อนันตโชค. (2553). **การพัฒนาสารสกัดและพัฒนาคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอระดับห้องปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

มัตตนา กล้าคง, ยืนยง วาณิชย์ปกรณ์ และพัชราภรณ์ วาณิชย์ปกรณ์. (2562). **ฤทธิ์ไล่ด้วงวงข้าวของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าข่าและเปลือกส้มโอ**. วารสารแก่นเกษตร. 47 (ฉบับพิเศษ 1): 345-350.

ณิชากร เจริญกุล, หทัยรัตน์ ริมศิริ, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และชินจิตต์ แจ้งเจนกิจ.

(2547). **การพัฒนาเจลทาลิวที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยจีน**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 481-487.

มนิษา เสี่ยงประชา. (2546). **การเปรียบเทียบกระบวนการสกัดกลิ่นหอมจากดอกกุหลาบมอญ**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย และสำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนา อิทรานุกกรณ์. (2547). **การตรวจสอบและการสกัดสาระสำคัญจากสมุนไพรมะขาม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งฤดี พรสกุลเลิศชัย. (2550). **การศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไพล โดยใช้วิธีไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย และสำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548. **น้ำมันหอมระเหยไทย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://opac.tistr.or.th/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=33582&shelfbrowse_itemnumber=45515#shelfbrowser. 7 กรกฎาคม 2563.

สุชาติพ ภมรประวัติ. (2541). **น้ำมันหอมระเหยและอะโรมาเทอราปี**. วารสารคณะวิทยาศาสตร์มหิดล. 10 (ฉบับที่ 8): 21-25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. **ข้อมูลการผลิตส้มโอ ปี 2562**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://misapp.oae.go.th/product/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD>. 1 กรกฎาคม 2563.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. **สถิติการส่งออก**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562&E_YEAR=2562&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=5032&wf_search=&WF_SEARCH=Y. 1 กรกฎาคม 2563.

วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ. (2550). **การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการผลิตอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อิทธิพล วรพันธ์, ช่างชัย ชูปวา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. 2556. **การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมด้วยความเสียดทานของเหล็ก AISI 1015 โดยวิธีพื้นผิวทดสอบอง**. วารสารวิจัย มข. 18(6) : 909-924.

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

Aruoma, O. I., Landes, B., Baboolall, D. R., Bourdond, E., Bhujune, V. N., Wagner, K. H. and Bahorun, T. (2012). **Functional benefits of citrus fruits in the management of diabetes**. Preventive Medicine. 54: S12-S16.

Atchley, A. and Crum, L. A. (1985). **Acoustic cavitation and bubbles dynamics**. US: University of Mississippi.

Azwanida, N. N. (2015). **A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation**. Medicinal & Aromatic Plants. 4(3): 1-6.

Bayramoglu, B., Sahin, S. and Sumnu, G. (2008). **Solvent free microwave extraction of essential oil from oregano**. Journal of Food Engineering, 88: 535-540.

Bousbia, N., Vian, M. A., Ferhat, M. A., Meklati, B. Y. and Chemat, F. (2009). **A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity**. Food Engineering. 90(3): 409-413.

Camposa M.A.S.L., Michielina M.Z.E., Danielskib, L. and Ferreiraa R.S.S. (2005). **Experimental data and modeling the supercritical fluid extraction of marigold (*Calendula officinalis*) oleoresin**. The Journal of Supercritical Fluids. 34(2): 163-170.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cardoso-Ugarte, G.A., Juárez-Becerra, G.P., Sosa-Morales, M.E. and López-Malo, A. (2013). **Microwave-assisted Extraction of Essential Oils from Herbs.** Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy. 47(1): 63-72.
- Chemat, F., Tomao, V. and Viot, M. (2008). **Ultrasound-assisted extraction in food analysis.** 85-103. In Handbook of Food Analysis Instruments. US: CRC press.
- Chen, Q., Hu, Z., Yan-Dong Yao, F. and Liang, H. (2016). **Study of two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels.** Food Science and Technology, 66: 538-545.
- Fiorini, D., Scortichini, S., Bonacucina, G., Greco, N. G., Mazzara, E., Petrelli, R., Torresi, J., Maggi, F. and Cespi, M. (2020). **Cannabidiol-enriched hemp essential oil obtained by an optimized microwave-assisted extraction using a central composite design.** Industrial Crops & Products. 154: 112688.
- Goh, R. M. V., Lau, H., Liu, S. Q., Lassabliere, B., Guervilly, R., Sun, J., Bian, Y. and Yu, Bin. (2019). **Comparative analysis of pomelo volatiles using headspace-solid phase micro-extraction and solvent assisted flavour evaporation.** Food Science and Technology. 99: 328-345.
- Gude, V. G., Patil, P., Guerra, M. E., Deng, S., and Nirmalakhandan, N. (2013). **Handbook of food analysis instruments.** US: CRC press.
- Ikan R., (1969), **Natural Products; A Laboratory Guide.** Israel University Press, Jerusalem. 137-177.
- Kimbaris, A. C., Siatis, N. G., Daferera, D. J., Tarantilis, P. A., Pappas, C. S. and Polissiou, M. G. (2006). **Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*).** Ultrasonics Sonochemistry. 13: 54-60
- Kusuma, H. S., Altway, A. and Mahfud, M. (2018). **Solvent-free microwave extraction of essential oil from dried patchouli (*Pogostemon cablin Benth*) leaves.** Industrial and Engineering Chemistry. 58: 343-348.

- Kusuma, H.S. and Mahfud, M. (2017). **Microwave hydrodistillation for extraction of essential oil from Pogostemon cablin Benth: Analysis and modelling of extraction kinetics.** Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 4: 46-54.
- Lianfu, Z. and Zelong, L. (2008). **Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes.** Ultrasonics Sonochemistry. 15(5): 731-737.
- Liu, Y., Liu, A., Ibrahim, S. A., Yang, H. and Huang, W. (2018). **Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from pomelo peel.** International Journal of Biological Macromolecules. 111: 717-721.
- Liu, Z., Zu, Y. and Yang, L. (2017). **A process to preserve valuable compounds and acquire essential oils from pomelo flavedo using a microwave irradiation treatment.** Food Chemistry. 224: 172-180.
- Lucchesi, M.E., Chemat, F. and Smadja, J. (2004). **Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs comparison with conventional hydro-distillation.** Journal of Chromatography. 1043: 323-327.
- Mason, T. J., Paniwnyk, L., and Lorimer, J. P. (1996). **The uses of ultrasound in food.** Ultrasonics Sonochemistry. 3: 253-260
- McGuinness, H. (2003). **Aromatherapy therapy basics.** 2nded. London: Hodder&Stoughton.
- Prats, SM. and Jimenez, A. 2010. **Essential oil analysis by GC.** 2nded. Encyclopedia: CRC Press.
- Okoh, O. O., Sadimenko, A. P. and Afolayan, A. J. (2010). **Comparative evaluation of the antibacterial activities of the essential oils of Rosmarinus officinalis L. obtained by hydrodistillation and solvent free microwave extraction methods.** Food Chemistry. 120(1): 308-312.

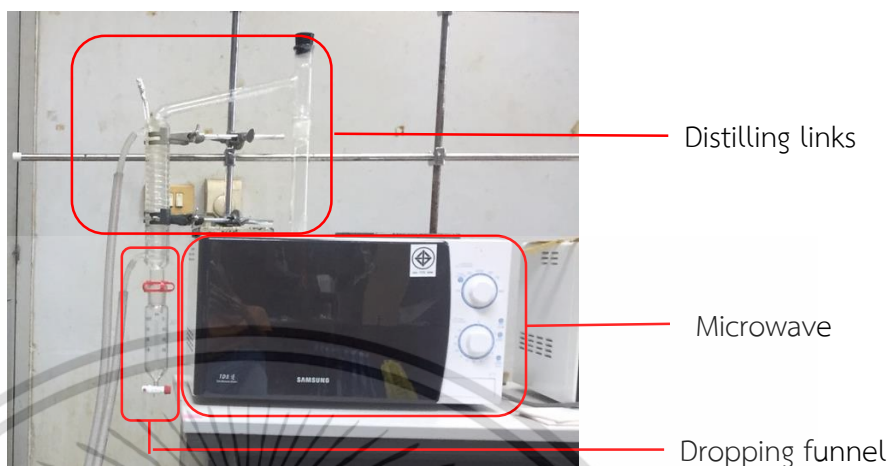
- Prats, S. M. and Jimenez, A. (2010). *Essential oil analysis by GC*. 2nd ed. US: CRC Press. Rahman, N. F. A., Shamsudin, R., Ismail, A., Shah, N. N. A. K. and Varith, J. (2018). **Effects of drying methods on total phenolic contents and antioxidant capacity of the pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels**. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 50: 217-225.
- Rashed, M. H., Bayraktar, E., Hela, G. K., Ellah, M. F., Amero, P., Reyes, A. C. and Aguayo, C. R. (2017). *Exosomes: From Garbage Bins to Promising Therapeutic Targets*. *Molecular Sciences*. 18: 538.
- Shaw P. E. (1968), **Review of Quantitative Analyses of Citrus Essential Oils**, *J. Agric. Food Chem.* 27(2): 246-257.
- Soumaya, B., Zohra, F., Iness, O. and Moufida, T. (2012). **Changes of Peel Essential Oil Composition of Four Tunisian Citrus during Fruit Maturation**. *The Scientific World Journal*, 10: 528-593.
- Suslick, K. S. (1994). **The chemistry effects of ultrasound**. In *The Yearbook of Science & the Future*. Chicago: Encyclopædia Britannica. 138-155.
- Terigar, B. G., Balasubramanian, S., and Boldor, D. (2010). **An analysis of the microwave Dielectric properties of solvent-oil feedstock mixtures at 300-3,000 MHz**. *Bioresource Technology*. 101(16): 6510-6516.
- Tuan, N. T., Dang, L. N., Huong, B. T. C. and Danh, L. T. (2019). **One step extraction of essential oils and pectin from pomelo (*Citrus grandis*) peels**. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 142: 107550.
- Vega, F. A., Corona, R. N., Malo, L. A. and Palou, E. (2019). **Studying microwave assisted extraction of *Laurus nobilis* essential oil: Static and dynamic modeling**. *Food Engineering*. 247: 1-8.
- Vega, F.A., Corona, R.N., Palou, E and Malo, L.A. (2016). **Estimation of mass transfer coefficients of the extraction process of essential oil from orange peel using microwave assisted extraction**. *Food Engineering*. 170: 136-143.

- Veggi, P., Martinez, J. and Meireles, M., (2012). **Fundamentals of microwave extraction**. In: Chemat, F., Cravotto, G. (Eds.), *Microwave- Assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice*. Springer, New York. 16-35.
- Veldhuis, M. K., Berry, R. E., Wagnerjr, C. J., Luand, E. D. and Bryan, W. L. (1972), **Oil and Water Soluble Aromatics Distilled from Citrus Fruit and Processing Waste**. *Food Science*. 37(1): 108-112.
- Wandee, Y., Uttapap, D. and Mischnick, P. (2019). **Yield and structural composition of pomelo peel pectins extracted under acidic and alkaline conditions**. *Food Hydrocolloids*. 87: 237-244.
- Wu, H., Lei, Y., Zhu, R., Zhao, M., Lu, J., Xiao, D., Jiao, C., Zhang, Z., Shen, G. and Li, S. (2019). **Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol**. *Food Hydrocolloids*. 90: 41-49.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave- assisted Extraction)



รูปที่ ก.1 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยเครื่องสกัดในไมโครเวฟช่วยสกัด

1. ชั่งน้ำหนักเปลือกส้มโอ 100 กรัม
2. ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร
3. เติมน้ำกลั่นในปริมาณที่กำหนด
4. ต่อชุดสกัดเข้ากับไมโครเวฟ และขวดก้นกลม ดังรูปที่ ก.1
5. ต่อสายยางน้ำเข้าและน้ำออกจากคอนเดนเซอร์เข้ากับชุดสกัด
6. ทำการสกัดโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ และเวลาที่กำหนด
7. ได้น้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ ปล่อยให้ตั้ง
8. เก็บน้ำมันหอมระเหยในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร
9. จดบันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหย

หมายเหตุ ในกรณีที่สกัดต่อต้องรอให้ภายในเตาไมโครเวฟเย็นลงก่อน ถึงจะเริ่มการสกัดครั้งต่อไปได้

2. การสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด

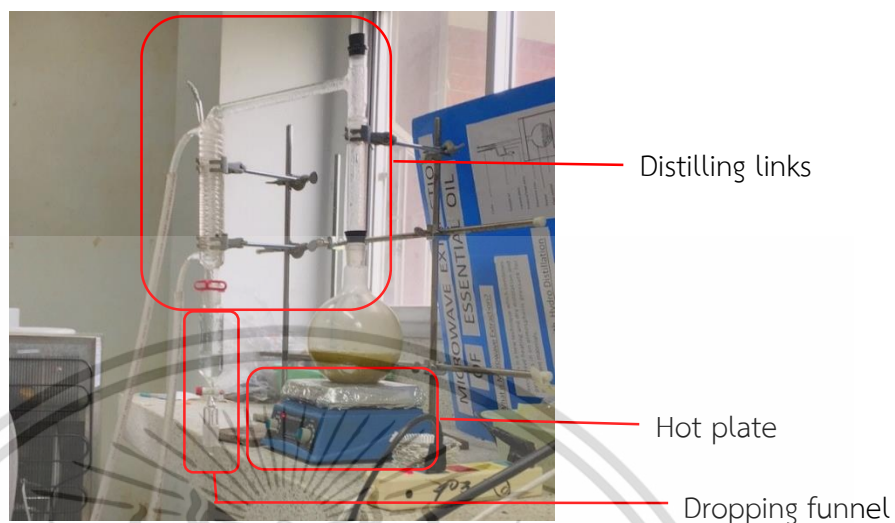


รูปที่ ก.2 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีอัลตราโซนิก

1. ชั่งน้ำหนักเปลือกส้มโอ 100 กรัม
2. ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร
3. เติมน้ำน้ำกลั่นในปริมาณที่เหมาะสม
4. เติมน้ำลงในเครื่องอัลตราโซนิก ไม่น้อยกว่า 10 cm
5. วางขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร ลงในเครื่อง ดังรูปที่ ก.2
6. ปรับค่า R 60% และกำหนดเวลาที่ 20 นาที
7. กดปุ่มเริ่มทำงาน
8. นำขวดก้นกลมไปต่อกับชุดสกัดวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ดังรูปที่ ก.1

หมายเหตุ ในกรณีที่มีการใช้เครื่องอัลตราโซนิกต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ต้องมีการพักเครื่องให้อุณหภูมิเย็นลง และตรวจเช็คปริมาณน้ำในเครื่องไม่ให้น้อยกว่าที่กำหนด จะทำให้ตัวทำความร้อนเกิดการชำรุดได้

3. การสกัดด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ



รูปที่ ก.3 การติดตั้งการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ

1. ชั่งน้ำหนักเปลือกส้มโอ 100 กรัม
2. ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1 ลิตร
3. เติมน้ำน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:6 ของปริมาณเปลือกส้มโอที่ใช้
4. ต่อชุดสกัดเข้ากับขวดก้นกลม ดังรูปที่ ก.3
5. ต่อสายยางน้ำเข้าและน้ำออกจากคอนเดนเซอร์เข้ากับชุดสกัด
6. ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที (Chen และคณะ, 2016)
7. ได้น้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ ปล่อยให้ตั้ง
8. เก็บน้ำมันหอมระเหยในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร
9. จดบันทึกปริมาณของน้ำมันหอมระเหย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ร้อยละปริมาณผลผลิต

$$\text{ร้อยละปริมาณผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักเปลือกชั้นนอกของส้มโอ (กรัม)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักของเปลือกชั้นนอกส้มโอ} = 100.13 \quad \text{กรัม}$$

$$\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหย} = 2.47 \quad \text{มิลลิลิตร}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละปริมาณผลผลิต} &= \frac{2.47}{100.13} \times 100 \\ &= 2.467 \% \end{aligned}$$

2. การคำนวณค่าอคติ

$$\text{ค่าอคติ} = \frac{\text{ค่าจากการทำนาย} - \text{ค่าจากการทดลอง}}{\text{ค่าจากการทำนาย}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ค่าจากการทำนาย} = 2.591 \quad \%$$

$$\text{ค่าจากการทดลอง} = 2.476 \quad \%$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าอคติ} &= \frac{2.591 - 2.476}{2.591} \times 100 \\ &= 4.438 \% \end{aligned}$$

3. การคำนวณค่าไฟฟ้า

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท)} = \text{ยูนิตไฟฟ้า} \times 4 \text{ บาท/ยูนิต}$$

ตัวอย่างการคำนวณของวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด

$$\text{ใช้กำลังไฟฟ้าในการสกัด} = 600 \text{ วัตต์}$$

$$\text{ระยะเวลา} = 43 \text{ นาที คิดเป็น } 0.43 \text{ ชั่วโมง}$$

$$\begin{aligned} \text{ยูนิตไฟฟ้า} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (P) วัตต์}}{1000} \times \text{ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)} \\ &= \frac{600}{1000} \times 0.43 \\ &= 0.258 \text{ kWh} \end{aligned}$$

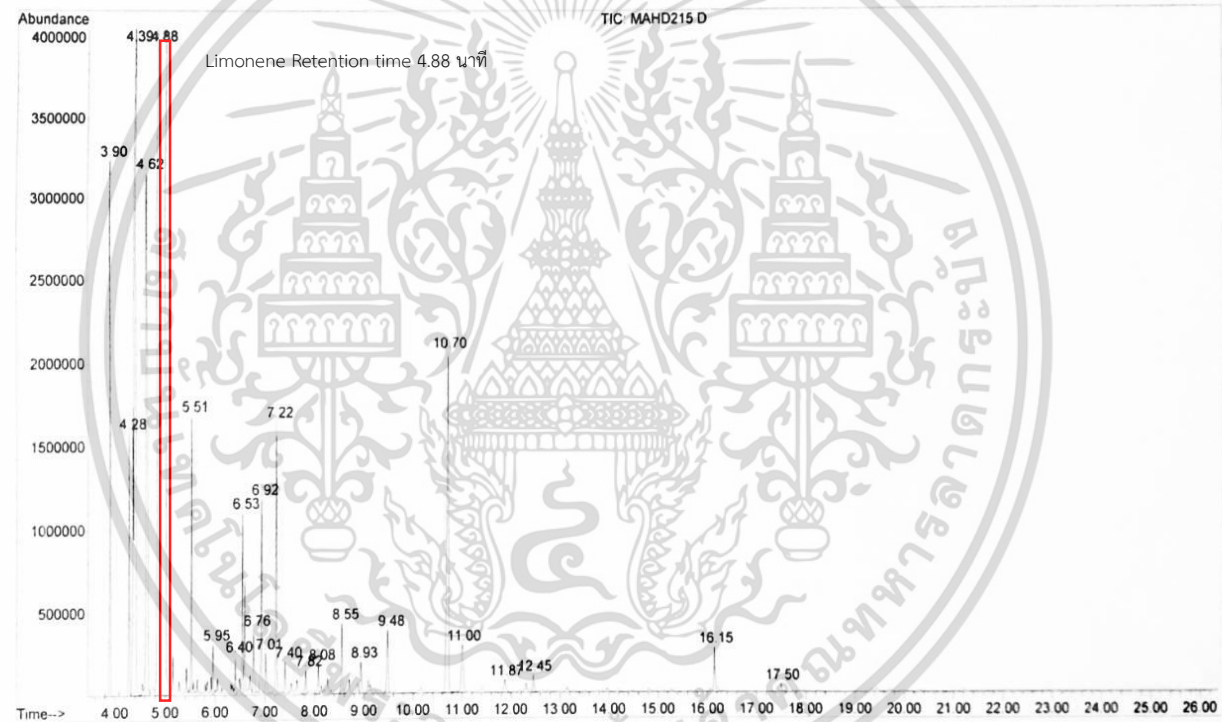
จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} &= 0.258 \times 4 \\ &= 1.032 \text{ บาท/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

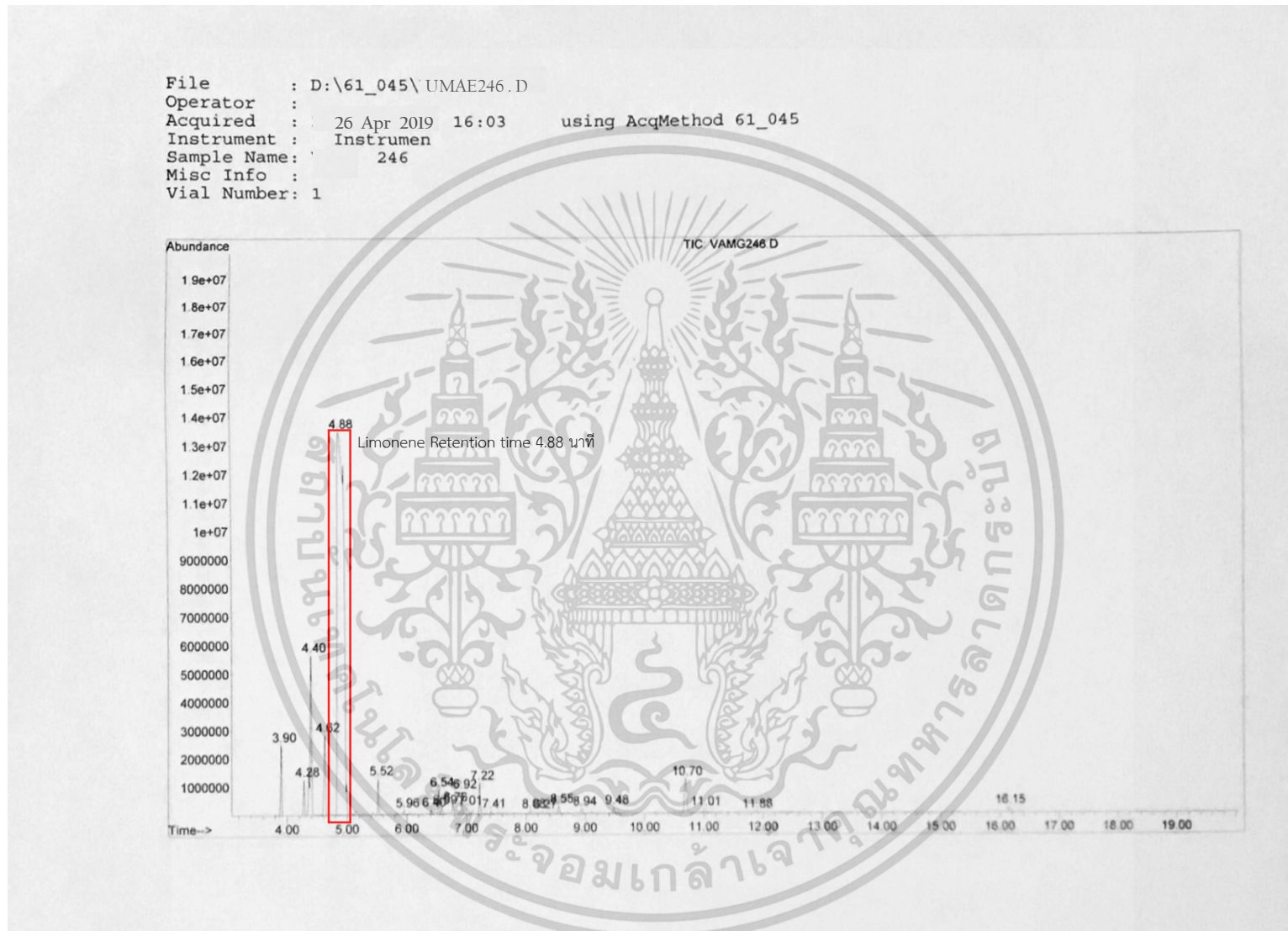


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File : D:\61_045\MAE215.D
 Operator :
 Acquired : 26 Apr 2019 15:08 using AcqMethod 61_045
 Instrument : Instrumen
 Sample Name: MAE 215
 Misc Info :
 Vial Number: 1

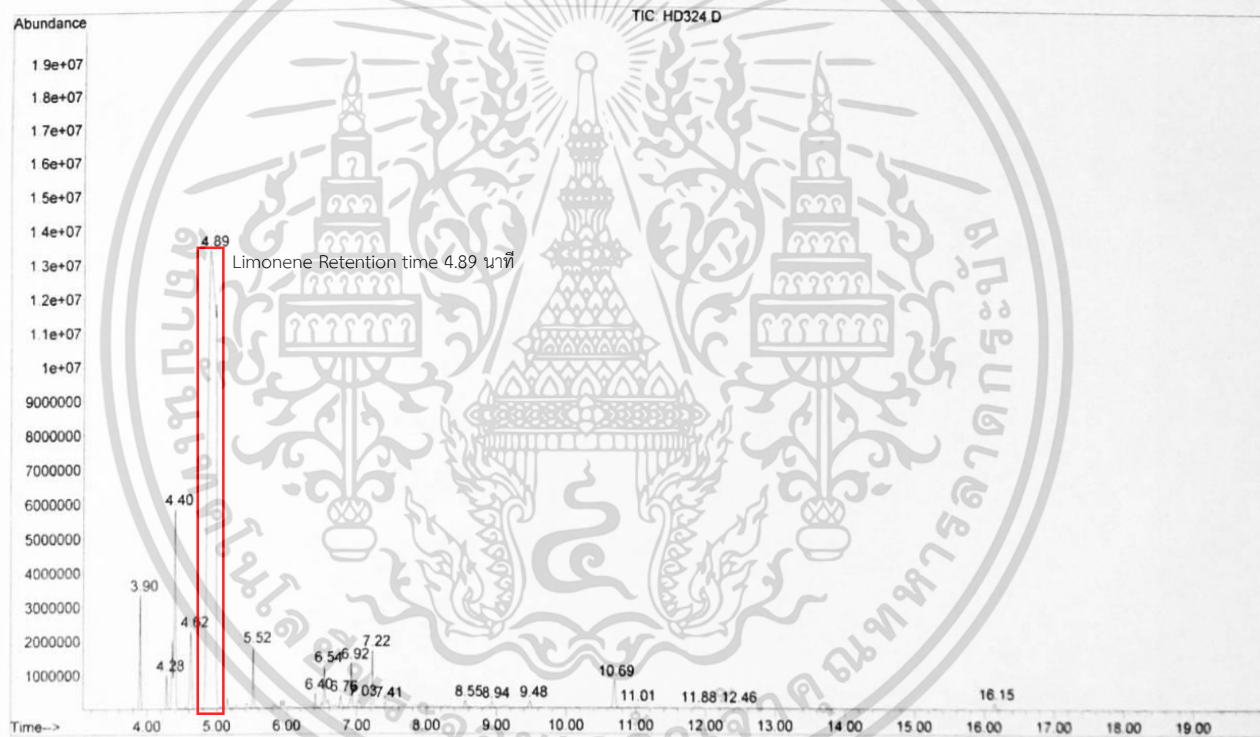


รูปที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ GC-MS ของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด (MAE)



รูปที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ GC-MS ของวิธีอัลตราโซนิก-ไมโครเวฟช่วยสกัด (UMAE)

File : D:\61_045\HD324.D
 Operator :
 Acquired : 26 Apr 2019 16:43 using AcqMethod 61_045
 Instrument : Instrumen
 Sample Name: HD 324
 Misc Info :
 Vial Number: 1



รูปที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ GC-MS ของวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (HD)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวนตรา นนทะวงษ์
วัน เดือน ปี เกิด	23 สิงหาคม 2537
ที่อยู่	90/317 หมู่ 10 ตำบลพัฒนานคร อำเภอพัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว 27160 (nontra.nontawong@gmail.com , โทร 099-894-7859)
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอรัญประเทศ ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะ อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559 ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2560
ผลงาน	Nontawong, N. and Banjong, K. (2020). Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Essential Oil Yield from Pomelo Peel and Comparison with Hydro-Distillation. In Proceeding of The 5 th Food and Applied Bioscience 2020. 364 – 371.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้