



ผลของการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากมินชันอินทรีด้วยไมโครเวฟในตัวทำละลาย
น้ำมันต่างชนิดเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
วิทยาลัยนวัตกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2564



**EFFECT OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF
CURCUMINOIDS FROM ORGANIC *CURCUMA LONGA* L.
IN DIFFERENT OILS FOR COSMETIC APPLICATION**

BY

XHUXHIWIN KANCHANATHAWORNVIBOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN BIOTECHNOLOGY

COLLEGE OF AGRICULTURAL INNOVATION AND FOOD

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2021

วิทยานิพนธ์เรื่อง

ผลของการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันอินทรีย์ด้วยไมโครเวฟ
ในตัวทำละลายน้ำมันต่างชนิดเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

โดย

ชูชีวิน กาญจนถาวรวิบูล

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2564

รศ.ดร.สุภาภย์ คุณสัมพันธ์
ประธานกรรมการสอบ

ดร.กัณฐวดี บุญมี
กรรมการ

ดร.หทัยรัตน์ อุไรรงค์
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ภก.เชาวลิต มณฑล
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณิ์ สุขสาตร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

12 กรกฎาคม 2564

Thesis entitled

**EFFECT OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF CURCUMINOIDS
FROM ORGANIC *CURCUMA LONGA* L. IN DIFFERENT OILS
FOR COSMETIC APPLICATION**

by

XHUXHIWIN KANCHANATHAWORNVIBOON

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Science in Biotechnology

Rangsit University
Academic Year 2021

Assoc. Prof. Suphak Dulsamphan, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Kanthawut Boonmee, Ph.D.
Member

Hathairat Urairong, Ph.D.
Member and Advisor

Chaowalit Monton, B.Pharm., Ph.D.
Member and Co-Advisor

Approved by Graduate School

(Asst.Prof.Plt.Off. Vanee Sooksatra, D.Eng.)

Dean of Graduate School

July 12, 2021

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.หทัยรัตน์ อุไรรงค์ ที่ให้คำแนะนำในทุก ๆ เรื่องของการทำวิทยานิพนธ์ ขอบพระคุณในความเมตตา และความช่วยเหลือในการอนุมัติให้ได้รับทุนการศึกษาระดับปริญญาโท เพื่ออุปการะในการทำงานวิจัย ตลอดจนส่งเสริมในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านค่าใช้จ่าย การให้คำแนะนำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ตลอดช่วงระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ภก.เชาวลิต มณฑล ที่ท่านให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ เกี่ยวกับการจัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณแม่ ญาติ พี่ น้อง ที่สนับสนุนทางด้านต่าง ๆ รวมถึงให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาตลอดจนจบการศึกษา

ชูชีวิน กาญจนถาวรวิบูล

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

6106054 : ชูชีวิน กาญจนถาวรวิบูล
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ผลของการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันอินทรีย์ด้วย
ไมโครเวฟในตัวทำละลายน้ำมันต่างชนิดเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์
เครื่องสำอาง
หลักสูตร : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.หทัยรัตน์ อุไรรงค์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ภก.เชาวลิต มณฑล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดสารจากขมิ้นชันอินทรีย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ได้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด ออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์เบนกันเพื่อควบคุมปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ ปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบ รวมถึงติดตามการตอบสนอง 5 ประการ ได้แก่ ผลผลิต ปริมาณบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ปริมาณดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ปริมาณเคอร์คูมิน และปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวม ในขั้นตอนใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นตัวทำละลาย ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตจะสูงเมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันต่ำ ระยะเวลาการสกัดนาน และจำนวนรอบสูง ในขณะที่ปริมาณบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และเคอร์คูมินอยด์รวมจะสูง เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันสูง ระยะเวลาการสกัดนาน และจำนวนรอบสูง สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมสูงสุด คือ ปริมาณผงขมิ้นชัน 6 กรัมต่อน้ำมันมะพร้าว 20 กรัม ระยะเวลา 1.5 นาที และสกัด 3 รอบ จากนั้นจึงใช้สภาวะนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดเคอร์คูมินอยด์ของน้ำมันชนิดอื่นอีก 10 ตัวอย่าง โดยพบว่าน้ำมันละหุ่งสามารถสกัดเคอร์คูมินอยด์ได้สูงที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว ข้อมูลความคงตัวบ่งชี้ว่า การใช้น้ำมันละหุ่งเป็นตัวทำละลาย ช่วยให้เคอร์คูมินอยด์คงตัวที่สุด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน ดังนั้น การศึกษานี้จึงประสบความสำเร็จในการหาค่าที่เหมาะสมของการสกัดขมิ้นชันอินทรีย์ด้วยไมโครเวฟ และผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกชนิดของน้ำมันเป็นตัวทำละลายเพื่อเตรียมสารเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันพร้อมใช้ สำหรับใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 88 หน้า)

คำสำคัญ: ขมิ้นชัน, เคอร์คูมินอยด์, การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ, น้ำมันพืช, การหาค่าที่เหมาะสม

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

6106054 : Xhuxhiwin Kanchanathawornviboon

Thesis Title : Effect of Microwave-Assisted Extraction of Curcuminoids from
Organic *Curcuma longa* L. in Different Oils for Cosmetic
Application

Program : Master of Science in Biotechnology

Thesis Advisor : Hathairat Uairong, Ph.D.

Thesis Co-Advisor : Chaowalit Monton, B.Pharm., Ph.D.

Abstract

This research aims to investigate the extraction of organic *Curcuma longa* using microwave-assisted extraction to maximize curcuminoid content. The Box-Behnken design was applied to control three factors including solid amount, duration time, and the number of irradiation cycles, while five responses as production yield, bisdemethoxycurcumin (BDMC) content, demethoxycurcumin (DMC) content, curcumin (CUR) content, and total curcuminoid content were monitored. Coconut oil was used as an extraction solvent. Results showed that production yield was high for low solid amount, long duration time, and the high number of irradiation cycles, while high BDMC, DMC, CUR, and total curcuminoid contents were obtained at high solid amount, long duration time, and the high number of irradiation cycles. The optimum condition giving the maximum total curcuminoid content was a solid amount of 6 g per 20 g of coconut oil, duration time 1.5 minutes, and 3 irradiation cycles. The optimum condition for curcuminoid extraction was investigated using ten different oil samples. Castor oil extracted the highest individual and total curcuminoid contents, comparable to coconut oil. Stability data indicated that castor oil gave the most stable curcuminoids when stored at 30°C and 40°C for three months. Optimization of microwave-assisted extraction of organic *C. longa* was successfully achieved. Results can be used as a guide for the selection of oil types to prepare ready-to-use curcuminoid-oil mixtures as ingredients in cosmetic formulations.

(Total 88 pages)

Keywords: Turmeric, Curcuminoids, Microwave-Assisted Extraction, Plant Oil, Optimization

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

Thesis Co-Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 คำถามการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ขมิ้นชัน	5
2.1.1 อนุกรมวิธานของขมิ้นชัน	6
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	6
2.2 สารสำคัญในเหง้าขมิ้นชัน	9
2.2.1 น้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชัน	10
2.2.2 สารเคอร์คูมินอยด์	10
2.3 การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดขมิ้นชัน	11
2.3.1 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา	11
2.3.2 ฤทธิ์ด้านเชื้อจุลชีพ	12
2.4 วิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร	14
2.4.1 การสกัดสารจากสมุนไพร	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การสกัดสารด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction)	17
2.5.1 หลักการสกัดสารโดยใช้ไมโครเวฟ	17
2.5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดด้วยไมโครเวฟ	19
2.6 เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง HPLC	21
2.7 การศึกษาพื้นผิวตอบสนอง RSM	23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	26
3.1 ตัวอย่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	26
3.1.1 ตัวอย่างขมิ้นชันที่ใช้ในงานวิจัย	26
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ	28
3.3 วิธีการทดลอง	30
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างผงขมิ้นชัน	30
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันจังหวัด ลพบุรี	30
3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารเคอร์คูมิน อยด์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็น ตัวทำละลาย	33
3.3.4 ขั้นตอนการหาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดผง ขมิ้นชันด้วยน้ำมันพืชทั้ง 11 ตัวอย่าง โดยใช้ไมโครเวฟ	34
3.3.5 ศึกษาความคงตัวของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันพืช	35
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	36
4.1 ผลการศึกษาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันอินทรีย์	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน อินทรีย์จังหวัดลพบุรี	36
4.1.2 กราฟมาตรฐานของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์และโครมาโท แกรม	38
4.2 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วย ไมโครเวฟ โดยใช้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลาย	39
4.2.1 ผลการทดลองหาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM	40
4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดด้วย ไมโครเวฟ โดยใช้น้ำมันทั้ง 11 ชนิดเป็นตัวทำละลาย	49
4.4 ความคงตัวของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมัน มะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น	51
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
บทที่ 5	
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้วิจัย	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ชนิด ยี่ห้อ และขนาดบรรจุของน้ำมันที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำละลายในการสกัดขมิ้นชัน	29
3.2 ค่ารหัส (coded value) และค่าการทดลอง (experimental value) ของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design	32
4.1 ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC	36
4.2 ปริมาณผลผลิต และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดด้วย 14 สภาวะ	39
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าจากการทำนาย ค่าการทดลองจริง และความคลาดเคลื่อนของการทำนาย	48
4.4 การเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาณผลผลิต และปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดในตัวทำละลายน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	50



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดในงานวิจัย	3
2.1	ลักษณะทั่วไปของขมิ้นชัน	7
2.2	ใบขมิ้นชัน	7
2.3	ช่อดอกขมิ้นชัน	8
2.4	เหง้าขมิ้นชัน	9
2.5	โครงสร้างทางเคมีของสาร เคอร์คูมิน (Curcumin), ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Demethoxycurcumin) และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Bisdemethoxycurcumin) ที่อยู่ในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์	11
3.1	แปลงที่สุ่มตัวอย่างขมิ้นชันของจังหวัดลพบุรี	26
3.2	แปลงปลูกขมิ้นชันของเกษตรกรจังหวัดลพบุรี	27
3.3	ตำแหน่งการวางขลุ่ยชมพูในเตาไมโครเวฟ	33
4.1	กราฟมาตรฐานของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์	38
4.2	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	38
4.3	โครมาโทแกรมของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในตัวอย่างขมิ้นชันรหัส M1	38
4.4	Contour plots ของปริมาณผลผลิตโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณ ผงขมิ้นชัน และจำนวนรอบ และ คอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา และจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)	42
4.5	Contour plots ของปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินโดยเปรียบเทียบ ปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชัน และระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชัน และ จำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา และ จำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	Contour plots ของปริมาณสารเคมีเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาและจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)	44
4.7	Contour plots ของปริมาณสารเคอร์คูมิน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาและจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)	45
4.8	Contour plots ของปริมาณเคอร์คูมินโดยรวม โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาและจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)	46
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทำนาย (predicted value) และค่าจากการทดลองจริง (actual value) ของ (ก) ปริมาณผลผลิต, (ข) ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ค) ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ง) ปริมาณสารเคอร์คูมิน และ (จ) ปริมาณเคอร์คูมินโดยรวม	47
4.10	ความคงตัวของ (ก) สารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ข) สารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ค) สารเคอร์คูมิน และ (ง) สารเคอร์คูมินโดยรวม ที่ละลายในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขมิ้นชัน (turmeric) เป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประกอบอาหาร ใช้เป็นสีย้อมผ้า หรือใช้เพิ่มกลิ่นให้กับอาหาร นอกจากนี้ขมิ้นชันยังอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุมากมาย (โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมยาทางชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ, 2562) ในเหง้าขมิ้นชันมีสารสำคัญที่แสดงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา 2 ชนิด คือน้ำมันหอมระเหยและสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ ซึ่งเคอร์คูมินอยด์สามารถใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และชะลอการเกิดริ้วรอยได้ (Arct, Ratz-Lyko, Mieloch, & Witulska, 2014)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากสารสกัดของพืชสมุนไพรเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพื่อจะนำมาใช้ประโยชน์ ขั้นตอนการแยกสารสำคัญออกจากพืชสมุนไพร จำเป็นต้องใช้วิธีการสกัด การสกัดเคอร์คูมินอยด์ที่นิยมใช้ได้แก่ การแช่ในเอทิล อะซิเตต เอทานอล (Binello, Grillo, Barge, Allegrini, Ciceri, & Cravotto, 2020) อะซิโตน และการสกัดโดยใช้ Soxhlet ด้วยอะซิโตน (Mandal, Dewanjee, Sahu, & Mandal, 2009; Valizadeh Kiamahalleh, M. Najafpour-Darzi, Rahimnejad, Moghadamnia, & Valizadeh Kiamahalleh, M., 2016) ซึ่งใช้เวลารสกัดนาน และเป็นการสกัดหลายขั้นตอน แต่อย่างไรก็ตาม การตกค้างของตัวทำละลายที่เป็นพิษ ยังคงเป็นปัญหาสำคัญของการสกัดสารด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Chassagnez-Méndez, Corrêa, França, Machado, & Araújo, 2000) นอกจากนี้การสกัดสารด้วย ตัวทำละลายอินทรีย์ จะต้องกำจัดตัวทำละลายดังกล่าวโดยการระเหยแห้งด้วยเครื่องมือพิเศษ ในกรณีของการเตรียมส่วนประกอบของเครื่องสำอาง มีการใช้กลีเซอริน เอทานอล หรือน้ำมันเป็นส่วนผสม ดังนั้นการใช้น้ำมันจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสกัดเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันเพื่อเตรียมสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันพร้อมใช้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันอาจจะสกัดสารได้น้อยกว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) ในขั้นตอนการสกัด จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารได้ (Box & Behnken, 1960)

ในปัจจุบันการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวก รวดเร็ว ลดระยะเวลาของการสกัดและสามารถลดปริมาณตัวทำละลายที่ใช้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสกัดแบบเดิมที่นิยม เช่น การกลั่น การแช่ และวิธีเพอร์โคเลชัน ซึ่งเป็นวิธีที่มีหลายขั้นตอน สิ้นเปลืองเวลา และตัวทำละลาย การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนี้มีปัจจัยหรือสภาวะที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญหลายประการ ได้แก่ ระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพร กำลังของคลื่นไมโครเวฟ อุณหภูมิ ระยะเวลาการสกัด และจำนวนรอบในการสกัด (Suede, 2017)

ในปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกขมิ้นชันในพื้นที่จังหวัดลพบุรีมีการขายเหง้าขมิ้นชันให้แก่พ่อค้าคนกลางในรูปแบบเหง้าสด และตากแห้ง เนื่องจากผลผลิตขมิ้นชันไม่ได้มาตรฐานทั้งด้านปริมาณผลผลิต และสารสำคัญในเหง้าขมิ้นชัน จึงทำให้เกษตรกรขายได้ราคาต่ำ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสกัดสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันอินทรีย์ลพบุรีด้วยไมโครเวฟ โดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลาย ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรสามารถทำได้ง่าย ประหยัดเวลา ประหยัดทรัพยากร และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบน้ำมันขมิ้นชันพร้อมใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

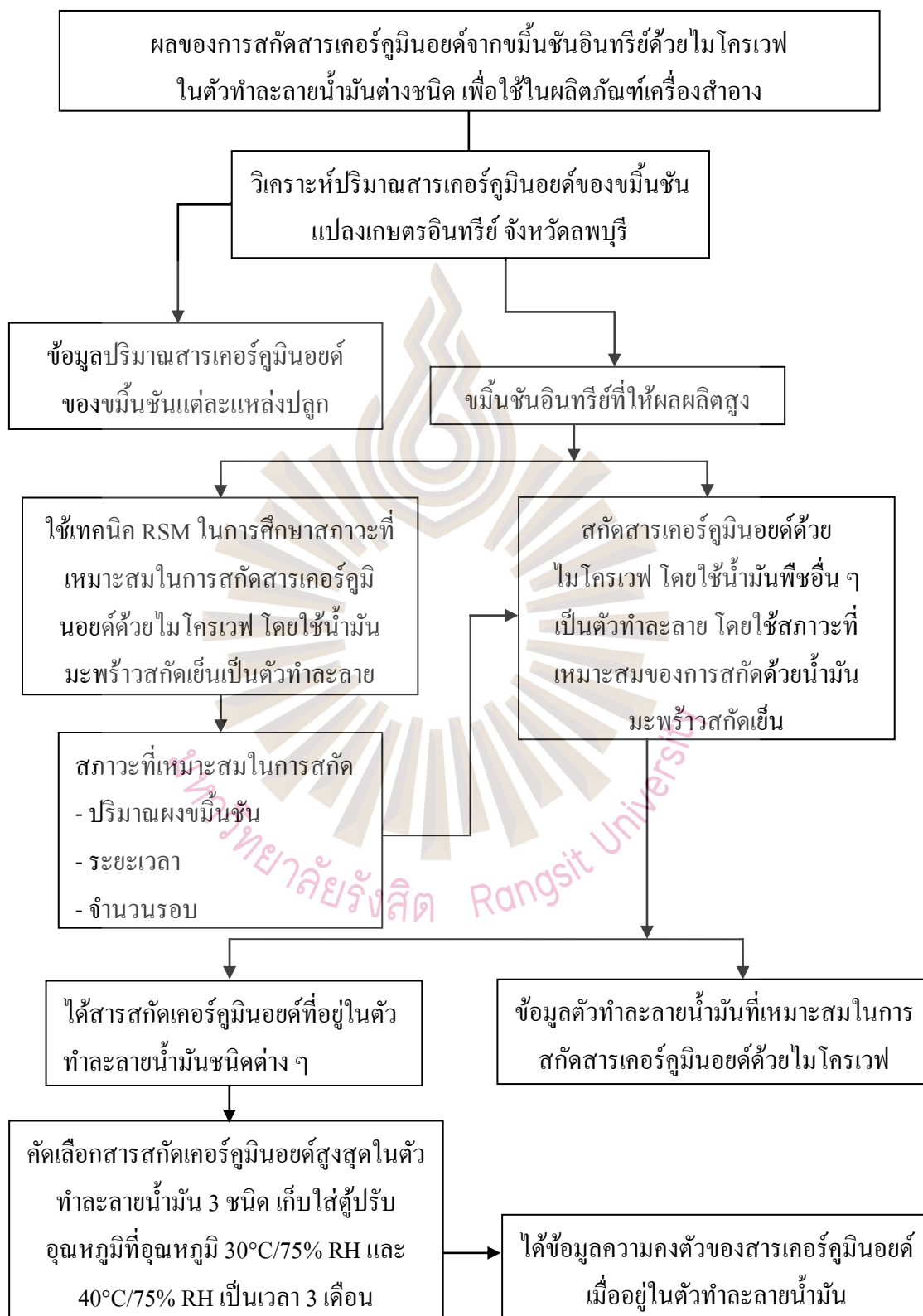
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบของไมโครเวฟที่เหมาะสมต่อการสกัดเคอร์คูมินอยด์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาตัวทำละลายน้ำมันที่เหมาะสมต่อการสกัดเคอร์คูมินอยด์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความคงตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยไมโครเวฟ

1.3 คำถามการวิจัย

- 1.3.1 ปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบของไมโครเวฟที่เหมาะสมต่อการสกัดเคอร์คูมินอยด์เป็นอย่างไร
- 1.3.2 ตัวทำละลายน้ำมันชนิดใดที่เหมาะสมสำหรับสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ
- 1.3.3 ความคงตัวของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันเป็นอย่างไร

1.4 ขอบเขตการวิจัย



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถคัดเลือกขมิ้นชันอินทรีย์ที่ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุดในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และคัดเลือกสภาวะการสกัด และชนิดของน้ำมันพืชที่เหมาะสมต่อการนำมาสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกขมิ้นชัน ที่จะนำผลการทดลองนี้ไปใช้พัฒนาวิธีการปลูกให้ได้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูง และต่อยอดให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ที่เดิมขายแต่ขมิ้นชันตากแห้ง ให้เป็นสารสกัดขมิ้นชันสำหรับเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ครีม สบู่ แชมพู เป็นต้น



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขมิ้นชัน

ขมิ้นชัน (Turmeric) เป็นพืชล้มลุกที่จัดอยู่ในตระกูลขิง โดยถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีชื่ออื่น ๆ อีก เช่น ขมิ้นชัน ขมิ้นแกง ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว ขมิ้น หมิ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละภาคและจังหวัดนั้น ๆ ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่คนไทยรู้จักดี เพราะนิยมนำมาประกอบอาหาร แต่งสี แต่งกลิ่นอาหาร เช่น แกงไตปลา แกงกะหรี่ ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง รวมทั้งใช้เป็นยารักษาโรคมาตั้งแต่สมัยโบราณ (เต็ม สมิตินันท์, 2544; สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2540) ในประเทศอินเดียมีการปลูกขมิ้นชันเป็นจำนวนมาก และมีขมิ้นชันกว่า 70 สายพันธุ์ (Naidu, Shyamala, Manjunatha, Sulochanamma, & Srinivas, 2009) ส่วนในประเทศไทยมีขมิ้นชันกว่า 86 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตสูง ด้านทานโรคแอนแทรกคโนสและหนอนกัดกินใบ ซึ่งสามารถคัดเลือกขมิ้นชันเพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบได้ 48 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ TU 04-9-1 ให้ผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์อื่นๆ (บุญหงษ์ จงคิด, 2553) ขมิ้นชันเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 8 เดือน หลังปลูก แต่อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ 12 เดือนหลังปลูก (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2542) จากการคัดเลือกขมิ้นชันสายพันธุ์ดี 6 สายพันธุ์ นำมาปลูกในแปลงทดลองเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าพันธุ์ที่ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์มากที่สุดคือ พันธุ์ตรง 84-2 โดยให้ค่าสารเคอร์คูมินอยด์เฉลี่ย 11.04 เปอร์เซ็นต์ และให้น้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 7.78 เปอร์เซ็นต์ (ทรงพล สมศรี, 2557) พบว่าแม้ใช้ขมิ้นชันสายพันธุ์เดียวกันปลูกในสภาพดิน และอากาศที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยเช่นกัน (มณฑิรา ภูติวรนาถ, พรรณพิมล สุริยะพรหมชัย, ประนอม ใจอ้าย, สุภาพ มนุษย์สม, และเสรี ทรงศักดิ์, 2550) ขมิ้นชันอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินซี วิตามินอี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก และเกลือแร่ต่าง ๆ รวมไปถึงเส้นใย คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เป็นต้น และขมิ้นชันมีสรรพคุณทางยาที่รักษาอาการและโรคต่าง ๆ ได้หลายชนิด มีประวัติการนำมาใช้รักษามากกว่า 5,000 ปี สำหรับขมิ้นชันที่จะนำมาใช้ประโยชน์นั้น การเก็บเกี่ยวไม่ควรเก็บในระยะที่ขมิ้นเริ่มแตกหน่อ เพราะจะทำให้สารที่มีประโยชน์อย่างเคอร์คูมินในขมิ้นมีน้อย ไม่ควรเก็บผลผลิตไว้นานเกินไป และหลีกเลี่ยง

แสงแดด เพราะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชันลดลง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

2.1.1 อนุกรมวิธานของขมิ้นชัน

ขมิ้นชันเป็นพืชล้มลุกในวงศ์จิง มีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้า มีแหล่งสะสมอาหารบริเวณปลายรากเป็นตุ่ม เนื้อในเหง้ามีสีเหลืองเข้ม จนสีแสดจัด มีกลิ่นหอม ขมิ้นชันชอบแสงแดดจัดและความชื้นสูง ชอบดินร่วนซุย มีการระบายน้ำดี ไม่ชอบน้ำขัง วิธีการปลูกควรใช้หัวพันธุ์หรือเหง้าที่มีอายุ 10-12 เดือนทำพันธุ์ ปลูกลงแปลงกลบดินหนาประมาณ 5-10 ซม. ใช้เวลาในการออกประมาณ 30-70 วันหลังปลูก หลังจากนั้นเมื่อขมิ้นชันมีอายุได้ 9-10 เดือนจึงจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ ฤดูกาลปลูกควรเริ่มปลูกในช่วงต้นฤดูฝนประมาณปลายเดือนเมษายน ถึงต้นเดือนพฤษภาคม เก็บเกี่ยวขมิ้นชันในช่วงฤดูหนาวหรือประมาณปลายเดือนธันวาคมถึงมกราคม ซึ่งช่วงนี้หัวขมิ้นชันจะแห้งสนิท (วิกิพีเดีย, 2562ก)

ชื่อสามัญ	ขมิ้นชัน
ชื่อพื้นเมือง/อื่นๆ	ขมิ้น ขมิ้นแกง ขมิ้นทอง ขมิ้นดี ขมิ้นแดง ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว ขมิ้นคั่ว (เชียงใหม่) ขมิ้นหมื่น (ภาคใต้) ตายอ (กำแพงเพชร) สะขอ (แม่ฮ่องสอน)
ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ	Turmeric
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Curcuma longa</i> Linn.
ชื่อพ้อง	<i>Curcuma domestica</i> Valetton
วงศ์	Zingiberaceae

(เพ็ญศรี เพ็ญประไพ, ธนากรณ์ คำสุด, และชุตินา จันทรัตน์, 2561)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ขมิ้นชันมีเหง้าอยู่ใต้ดิน เนื้อในของเหง้าจะเป็นสีเหลือง มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีตั้งแต่สีเหลืองถึงเหลืองเข้มบางสายพันธุ์มีสีส้มแสด มีอายุอยู่ได้นานหลายปี สูง 30 ถึง 90 ซม. เหง้าใต้ดินมีลักษณะรูปไข่ มีแขนงลักษณะรูปทรงกระบอกแตกออกจากด้านข้างทั้ง 2 ด้าน มีก้านใบเดี่ยวออกแทงออกจากเหง้าเรียงทับซ้อนกัน ใบมีลักษณะเป็นรูปหอกมีความกว้าง 12 ถึง 15 ซม. และยาว 30 ถึง 40 ซม. ดอกมีลักษณะเป็นช่อแทงออกออกจากเหง้า แทรกระหว่างกลางบริเวณ

ก้านใบ มีรูปทรงคล้ายกระบอง กลีบดอกมีสีเหลืองอ่อนออกขาว ใบประดับมีสีเขียวออกนวล แต่ละครั้งจะออกดอกประมาณ 3 ถึง 4 ดอก ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือ เหง้าแก่สด และแห้ง (สุนทรี สิงหนุตตรา, 2536) ลักษณะทั่วไปของขมิ้นชันแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของขมิ้นชัน

ที่มา: ผู้วิจัย

1) ใบขมิ้นชัน

ขมิ้นชันมีลำต้นเหนือดินเป็นลำต้นเทียมที่เกิดจากการเรียงซ้อนอัดแน่นกันของกาบใบสูงได้ถึง 1 เมตร หรือมากกว่า มีใบเดี่ยวออกสลับ 6-10 ใบต่อดัน กาบใบยาว 40 – 60 เซนติเมตร แผ่นใบรูปรีขอบขนาน กว้าง 10 – 20 เซนติเมตร ยาว 30 – 70 เซนติเมตร โคนใบแคบหรือมน ปลายใบแหลม (โสมนัส ศิริจารุกุล, 2550) สารสำคัญที่พบในใบขมิ้นชันคือ น้ำมันหอมระเหย โดยพบปริมาณน้ำมันหอมระเหยในใบขมิ้นชัน 1.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันหอมระเหยที่พบมากในใบขมิ้นชันคือ α -phellandrene ซึ่งคิดเป็น 32.6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีน้ำมันหอมระเหยอื่น ๆ อีกหลายชนิด พบว่าน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่ที่พบในใบขมิ้นชันเป็นสารกลุ่มโมโนเทอร์ปีน (monoterpene; โครงสร้างมีจำนวนคาร์บอน 10 คาร์บอน) (ชัชวาลย์ ช่างทำ, 2558) ลักษณะใบขมิ้นชันแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ใบขมิ้นชัน

ที่มา: ผู้วิจัย

2) ช่อดอก

ช่อดอกของขมิ้นชันมีลักษณะรูปทรงกระบอก กว้าง 5 - 9 เซนติเมตร ยาว 10 - 20 เซนติเมตร มีใบประดับจำนวนมาก ใบประดับที่อยู่บริเวณโคนช่อดอกมีสีเขียวอ่อนหรือสีขาวแกมเขียว ขอบโคนใบประดับประกบติดกับใบประดับที่อยู่ใกล้เคียงและติดกับแกนช่อดอกเกิดเป็นชอกคล้ายกระเปาะ ใบประดับที่อยู่ปลายช่อดอกมีสีขาวแกมเขียวอ่อน ปลายใบประดับมีแถบสีเขียวอ่อนหรือแถบสีชมพูอ่อน ดอกออกในชอกกระเปาะใบประดับ 3 - 5 ดอกต่อชอก และทยอยบาน ดอกยาวประมาณ 5 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงสีขาวติดกันเป็นหลอดสั้น ปลายหยักไม่เท่ากัน กลีบดอกสีขาว โคนติดกันเป็นหลอดยาว และแยกเป็น 3 กลีบ (โสมนัส ศิริจารกุล, 2550) ในช่อดอกพบสารสำคัญคือ น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันหอมระเหยที่พบมากในช่อดอกคือ *p*-cymene-8-ol พบว่ามีปริมาณสาร 26 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีน้ำมันหอมระเหยอื่น ๆ อีกหลายชนิด พบว่าสารส่วนใหญ่ที่พบในช่อดอกขมิ้นชันเป็นสารกลุ่มโมโนเทอร์ปีน (monoterpene; โครงสร้างมีจำนวนคาร์บอน 10 คาร์บอน) (ชัชวาลย์ ช่างทำ, 2558) ลักษณะช่อดอกขมิ้นชันแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ช่อดอกขมิ้นชัน

ที่มา: ผู้วิจัย

3) เหง้าหรือลำต้นใต้ดิน

ลำต้นใต้ดินมีลักษณะเป็นข้อ และปล้องเห็นได้ชัดเจนมีตาติดอยู่ตามข้อ จะอยู่ขนานกับผิวดิน มีอายุยืนในแต่ละปีจะส่งหน่อที่เป็นส่วนของลำต้นเทียมหรือก้านช่อของกาบใบแทงขึ้นมาเหนือพื้นผิวดิน เมื่อออกดอกแล้วส่วนนี้ก็จะตายไปเหลือแต่ลำต้นใต้ดินเอาไว้ รูปร่างลักษณะลำต้นใต้ดินของขมิ้นชันมีลักษณะเป็นแง่งสำหรับสะสมอาหาร ตามข้อมีใบสีน้ำตาลที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ มีลักษณะเป็นเกล็ดเรียกว่า ใบเกล็ด หุ้มตาเอาไว้ มีรากงอกออกจากเหง้า หรือแง่งนั้น ๆ ตาอาจแตกแขนงเป็นใบอยู่เหนือดิน หรือเป็นลำต้นใต้ดินก็ได้ (พิริยะ ตระกูลสว่าง, 2560)

เหง้าขมิ้นชันมีรสฝาดหวานเย็น กลิ่นหอม มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ลดอักเสบ และมีฤทธิ์ขับน้ำดี ในเหง้ายังมีสารสีเหลืองส้มที่เรียกว่าเคอร์คูมินอยด์ สารสกัดด้วยเอทานอลจากเหง้าสดมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและต้านอนุมูลอิสระ ขมิ้นชันไม่มีพิษเฉียบพลัน มีความปลอดภัยสูง ขมิ้นชัน เพิ่มภูมิคุ้มกัน อิมมูโนโกลบูลิน ชนิดจี (IgG) และลดความไวต่อตัวกระตุ้น ช่วยขยายหลอดลม ฤทธิ์ด้านการอักเสบ และเป็นสมุนไพรรักษาโรคมะเร็ง แก้ไข้เรื้อรัง แก้โรคผิวหนัง แก้เสมหะและโลหิต แก้ท้องร่วง สมานแผล แก้ธาตุพิการ ขับลม แก้ผื่นคัน แก้โรคเหงือกบวม แก้บิด น้ำคั้นจากเหง้าสดสามารถนำมาทาแก้แผลถลอก แก้โรคผิวหนัง ผื่นคัน ลดการอักเสบ ทำให้ผิวพรรณผุดผ่อง รักษาแผลในกระเพาะอาหาร (โชติอนันต์ และคณะ, 2551) ลักษณะของเหง้าขมิ้นชันแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เหง้าขมิ้นชัน

ที่มา: ผู้วิจัย

2.2 สารสำคัญในเหง้าขมิ้นชัน

ในเหง้าขมิ้นชันมีสารสำคัญในการออกฤทธิ์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) และกลุ่มสารสีเหลืองส้มที่ เรียกว่า เคอร์คูมินอยด์ สารทั้ง 2 กลุ่มจะออกฤทธิ์เสริมกันในการรักษาอาการแน่นจุกเสียด สำหรับน้ำมันหอมระเหยที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่พบในขมิ้นชัน เช่น ar-turmeron, ar-curcumene, α and β pinene sabinene, myrcene, α -terpinene, *p*-cymenene, perillyl-alcohol, turmerone, eugenol และ iso-eugenol ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์ชีวภาพต่อแมลง (Abida, Tabassum, Zaman, Chhabbi, & Islam, 2010) สารสำคัญที่นำมาใช้ในทางเภสัชกรรม คือ สารเคอร์คูมินอยด์ ซึ่งเป็นสารประเภทโพลีฟีนอล ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายที่มีขี้ เช่น

แอลกอฮอล์ อัลคาไลด์ คีโตน กรดอะซิติก และคลอโรฟอร์ม (Aggarwal, B., Kumar, Aggarwal, M., & Shishodia, 2004)

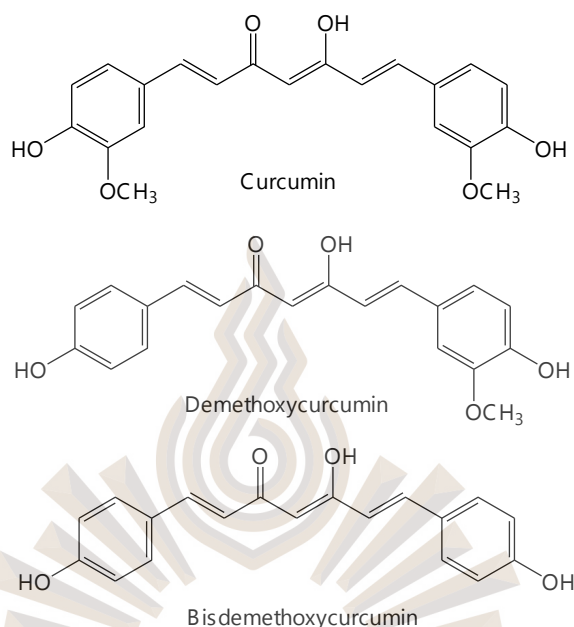
2.2.1 น้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชัน

น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) มีลักษณะเป็นน้ำมันของเหลวสีใส ซึ่งมีกลิ่นหอม ซึ่งสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากพืช เช่น ส่วนดอก ใบ ผล ลำต้น เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ทั้งด้านสุขอนามัยบำบัด (Aromatherapy) ด้านเภสัชศาสตร์ และการนำมาใช้กำจัดศัตรูพืช โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยจะถูกสกัดได้หลายรูปแบบ เช่น การกลั่น (Distillation) การสกัดโดยใช้ไฉมัน (Enfleurage) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) การบีบอัด (Expression) การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวภายใต้ความดันสูง (Supercritical fluid extraction) ซึ่งการกลั่นเหล่านี้นักนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (วิกิพีเดีย, 2562ข) องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชันพบว่าประกอบด้วย โมโนเทอร์พีน (monoterpenes) (5.58 เปอร์เซ็นต์), เซสควิเทอร์พีน (sesquiterpenes) (84.37 เปอร์เซ็นต์) และ นอนเทอร์พีนิก (nonterpenic) (8.64 เปอร์เซ็นต์) (Devkota & Rajbhandari, 2015) ซึ่งองค์ประกอบที่มีอยู่ในขมิ้นชันนี้มี คุณสมบัติในการฆ่าแมลงได้ (Damalas, 2011; Tavares et al., 2013)

2.2.2 สารเคอร์คูมินอยด์

สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน เป็นสารสีเหลือง พบเป็นส่วนประกอบในขมิ้นชันประมาณ 3 - 6 เปอร์เซ็นต์ สารเคอร์คูมินอยด์ ประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (Curcumin ($C_{21}H_{20}O_6$)) เป็นสารที่ทำให้มีสีเหลืองส้มไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในสารที่มีขั้ว ได้แก่ ไดเมททิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide), อะซิโตน (acetone) และ แอลกอฮอล์ (alcohol) มีประมาณ 70 - 75 เปอร์เซ็นต์ ของเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Desmethoxycurcumin ($C_{20}H_{18}O_5$)) มีประมาณ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ และบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Bisdsmethoxycurcumin ($C_{19}H_{16}O_4$)) มีประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (Bhavani & Sreenivasa, 1979; Department of Medical Sciences, 2019; Monton, Charoenchai, Suksaeree, & Sueree, 2016) สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์แสดงดังรูปที่ 2.5 ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่พบในเหง้าขมิ้นชันแตกต่างกันในแต่ละแหล่งปลูก ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ขมิ้นชันมีปริมาณเคอร์คูมินมากที่สุด

รองลงมาคือบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน และดีเมทอกซีเคอร์คูมินตามลำดับ (สิงห์คำ ชีมา, ประสิทธิ์ ชนะรัตน์, ชฎารัตน์ ดวงรัตน์, พรงาม ลีมีตระกูล และทรงยศ อนุชปรีดา, 2551)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของสาร เคอร์คูมิน (Curcumin), ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Demethoxy curcumin) และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (Bisdemethoxycurcumin) ที่อยู่ในกลุ่ม

เคอร์คูมินอยด์

ที่มา: Monton et al., 2016

2.3 การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดขมิ้นชัน

2.3.1 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง ฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้เกิดจากสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (คณะกรรมการแห่งชาติด้านยา, 2551) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม phenolic compound ได้มีการศึกษาฤทธิ์ของเคอร์คูมินอยด์อย่างกว้างขวางในต่างประเทศ พบว่า มีการใช้สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ผสมในผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต่อต้านริ้วรอยที่ดี (Arct et al., 2014) นอกจากนี้ในการวิจัยในสัตว์ทดลองพบว่ามีฤทธิ์ด้านการอักเสบ มีฤทธิ์บำรุงและรักษาตับ ช่วยป้องกันมะเร็ง การรักษาผู้ป่วยโรคหัวใจ เบาหวาน ข้ออักเสบ ชาติสชีเมีย ลดระดับคอเลสเตอรอล และป้องกันสมองเสื่อม (Daily, Yang, & Park, 2016; Hewlings

& Kalman, 2017; Perkins, Sahy, & Beckett, 2017; Sabinsa Corporation, 1988) ในบัญชีรายชื่อยาแผนไทยยังมีการนำขมิ้นชันมารักษาอาการท้องอืด (Monton, Luprasong, & Charoenchai 2019a; คณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ, 2561) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จากสารสกัดขมิ้นชันที่มีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูงจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อใช้เป็นยารักษาโรคข้อเข่าเสื่อม มีงานวิจัยหลายชิ้นศึกษาการออกฤทธิ์ของสารสกัดจากขมิ้นชันและสารบริสุทธิ์ของขมิ้นชัน ที่เป็นส่วนผสมในสูตรเครื่องสำอาง เช่น ครีมลดอาการอักเสบ (Gonçalves et al., 2014), ครีมฆ่าเชื้อ (Lobo, Prabhu, Shirwaikar, Shirwaikar, & Ballal, 2011), ครีมควบคุมหน้ามัน (Zaman & Akhtar, 2013), เจลลดอาการอักเสบ (Patel, N.A., Patel, N.J., & Patel, R., 2009), ลิโปโซม (Kongkaneramt, Aiemsumang, & Kewsuwan, 2016), ครีมกันแดดลิโปโซม เอโทโซม ทรานสเฟอร์โซม (Kaur & Saraf, 2011), สบู่รักษาบาดแผล (Ungphaiboon et al., 2005), เจลลดการอักเสบที่มีนาโนพาร์ทิเคิลชนิดโซลิดลิปิด (Zamarioli, Martins, Carvalho, & Freitas, 2015) และครีมลดเลือนริ้วรอยทรานสเฟอร์โซม (Saraf, Jeswani, Kaur, & Saraf, 2011)

2.3.2 ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดน้ำที่ได้จากเหง้าขมิ้นชัน ทำการศึกษาในหลอดทดลอง ตรวจสอบโดยใช้วิธี agar diffusion method เพื่อหาบริเวณใในการยับยั้งเชื้อ (zone of inhibition) และใช้วิธี agar dilution method เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อ (minimum inhibitory concentration; MIC) และใช้วิธี broth macro-dilution method เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อ (minimal bactericidal concentration; MBC) ใช้ยา gentamicin sulphate เป็นสารมาตรฐาน ทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก 5 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* และ *Lactobacillus plantarum* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 5 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Proteus vulgaris* ผลการทดสอบพบว่า สารสกัดน้ำที่ได้จากเหง้าขมิ้นชันออกฤทธิ์ดีในการยับยั้งเชื้อ 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli* และ *K. pneumoniae* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 6, 4, 4 และ 16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีค่า MBC เท่ากับ 32, 16, 16 และ 32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนยามาตรฐาน gentamicin sulphate มีค่า MIC ต่อเชื้อทั้ง 4 ชนิด น้อยกว่า 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Niamsa & Sittiwet, 2009)

1) การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหารของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์จากเหง้าขมิ้นชันด้วย เอทานอล เฮกเซน และเอทิลอะซิเตต ซึ่งประกอบด้วย เคอร์คูมิน 86.5 เปอร์เซ็นต์ ทำการศึกษาในหลอดทดลอง ใช้วิธี disc diffusion method หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ (minimum inhibition concentration; MIC) ผลการทดสอบพบว่าสารสกัดจากเหง้าขมิ้นชันด้วยเอทานอลสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ *Bacillus cereus*, *Vibrio cholera*, *B. subtilis*, *Staphylococcus aureus* และ *V. parahaemolyticus* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 3.91, 15.63, 15.63, 31.25 และ 31.25 ppt ตามลำดับ สารสกัดจากเหง้าขมิ้นชันด้วยเฮกเซนสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus*, *B. cereus*, *V. cholera* และ *V. parahaemolyticus* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 250, 250, 500 และ 1000 ppt ตามลำดับ และสารเคอร์คูมินอยด์ที่ได้จากการสกัดด้วยเอทิลอะซิเตต สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus*, *B. cereus* และ *B. subtilis* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 3.91, 15.63 และ 125 ppt ตามลำดับ โดยสรุปสารเคอร์คูมินอยด์ในเหง้าขมิ้นชันที่ได้จากการสกัดด้วย สารสกัดเอทานอล สารสกัดเฮกเซน และสารสกัดเอทิลอะซิเตต สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหารหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ *B. subtilis* และ *B. cereus* ซึ่งก่อโรคอาหารเป็นพิษ ท้องร่วง เชื้อ *V. parahaemolyticus* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ หรือทางเดินอาหารอักเสบ เชื้อ *V. cholera* ก่อโรคอหิวาตกโรค เชื้อ *S. aureus* ทำให้เกิดการติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร ลำไส้อักเสบ อาหารเป็นพิษ เป็นต้น (Sincharoenpokai et al., 2009)

2) การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางผิวหนัง ได้แก่ *S. aureus* ซึ่งเป็นสาเหตุของการติดเชื้อ เช่น ฝี หนอง เชื้อนี้สามารถสร้างสารพิษ endotoxin ทำให้เกิดการติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร ลำไส้อักเสบ อาหารเป็นพิษ เป็นต้น เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคติดเชื้อฉวยโอกาสในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง และเป็นสาเหตุของการติดเชื้อในโรงพยาบาลอีกด้วย การทดสอบโดยใช้สารสกัดขมิ้นชันด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ สารสกัดเบนซีน สารสกัดคลอโรฟอร์ม สารสกัด เมทานอล และการสกัดด้วยไอน้ำจากเหง้าขมิ้นชัน ด้วยวิธี disc diffusion method หาบริเวณใส ในการยับยั้งเชื้อ (zone of inhibition) ใช้ยา gentamicin เป็นสารมาตรฐาน แสดงผลในหน่วยร้อยละของการยับยั้งการเจริญของเชื้อ ใช้เชื้อในการทดสอบจาก 2 แหล่ง คือ เชื้อมาตรฐาน *S. aureus* ATCC 6571 และ *S. aureus* ที่แยกทางคลินิก (clinical isolates) ผลการทดสอบพบว่าสารสกัดจากขมิ้นชันด้วย ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซีน คลอโรฟอร์ม เมทานอล และไอน้ำ สามารถยับยั้งเชื้อมาตรฐาน *S. aureus* ATCC 6571 โดยมีค่า MIC เท่ากับ 73, 84, 42, 100 และ 73% ตามลำดับ

(ให้ gentamicin เท่ากับ 100%) และยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ที่แยกทางคลินิก ได้เท่ากับ 85, 107, 71, 42 และ 85% ตามลำดับ (ให้ gentamicin เท่ากับ 100%) โดยสรุปสารสกัดขมิ้นชันด้วยเมทานอล ออกฤทธิ์ดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อมาตรฐาน *S. aureus* ATCC 6571 และสารสกัดขมิ้นชันด้วยเบนซีน ออกฤทธิ์ดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ที่แยกทางคลินิก (Gupta, Mahajan, & Sharma, 2015)

2.4 วิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร

2.4.1 การสกัดสารจากสมุนไพร

การสกัดสารจากสมุนไพรแบบเดิม คือ การแช่ การหมัก การกลั่นด้วยไอน้ำ การใช้ เอทิลอะซิเตต หรือเอทานอล (Binello et al., 2020), อะซิโตน, การสกัดแบบ Soxhlet โดยใช้ อะซิโตน (Mandal et al., 2009; Valizadeh et al., 2016) เป็นตัวทำละลาย ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน และต้องใช้หลายขั้นตอนในการสกัด เทคนิคการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรจึงเป็นขั้นตอน ที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร และคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ ทางชีวภาพ อีกทั้งในพืชสมุนไพรประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายกลุ่ม ดังนั้นขั้นตอน วิธี เทคนิค และสถานะที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร (วิภาวรรณ นีละพงษ์, บุญบา ผลโยธิน และวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน, 2561) การสกัดสารสำคัญส่งผลต่อการวิเคราะห์ การ ทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ และเภสัชวิทยา ขั้นตอนและสถานะที่เหมาะสมในการสกัดจะทำให้ได้ ปริมาณสารสำคัญสูง และมีคุณภาพไม่เสื่อมสลาย (Sasidharan, Chen, Saravanan, Sundram, & Yoga Latha, 2010) แต่ตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดที่ใช้ในการสกัด อาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ (Chassagnez-Méndez, Corrêa, França, Machado, & Araújo, 2000) เทคนิคการสกัดสารสำคัญจาก สมุนไพรมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

1) การสกัดพืชสมุนไพรด้วยวิธีแช่ (Maceration) คือ กระบวนการสกัด องค์ประกอบสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลาย เช่น ใช้ตัวทำละลาย เป็นเอทานอลความเข้มข้น 99.98 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในผงสมุนไพร และนำไปวางไว้ในที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-4 วัน หรือตามกำหนดในเภสัชตำรับ พืชบางชนิด ใช้เวลาทิ้งไว้ 7 วัน หลังจากนั้นนำมากรอง พยายามบีบเอาสารละลายออกจากกาก (Marc) ให้มากที่สุด (จันทร์เพ็ญ โคตรภูธร, 2559) แล้วนำไประเหยหรือปรับปริมาณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล วิธีนี้

มีข้อดีคือสารไม่ถูกความร้อนแต่เป็นวิธีที่เปลืองตัวทำลายมาก และใช้เวลาการสกัดนาน (ชนัญ ผลประไพ, ศรีณยู อุ๋นทวี, จุฑามาส สุขอม, และภาณุวัฒน์ ทองสอง, 2562)

2) การกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นด้วยน้ำนิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อน ซึ่งพืชบางชนิด ที่มีน้ำหนักเบาอาจจะลอยขึ้น แล้วแต่ความถ่วงจำเพาะของพืชนั้น โดยการนำตัวอย่างพืชสมุนไพร ที่ต้องการกลั่นมาใส่ในหม้อกลั่นแล้วเติมน้ำจนท่วมตัวอย่าง ต้มจนน้ำเดือดจะเกิดการระเหยเป็น ไอน้ำ จะช่วยพาน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชออกมาเมื่อผ่านเครื่องควบแน่น ไอของน้ำมันหอมระเหยจะควบแน่นเป็นของเหลวได้เป็นน้ำ และน้ำมันหอมระเหย (บดินทร์ ใจจันทร์, เอกพันธ์ จำปา, เพลิน จันทรสุยะ, และจิรพัฒน์พงษ์ เสนานูตร, 2559)

3) การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) การกลั่นด้วยไอน้ำนิยมในการสกัดสารสำคัญที่ระเหยง่าย ไม่ละลายน้ำ และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีสลายตัวเมื่อถูกความร้อนโดยตรง โดยนำตัวอย่างพืชสมุนไพรที่ต้องการกลั่นมาวางบนตะแกรงที่อยู่เหนือหม้อต้มน้ำให้ความร้อนจนน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชช่วยนำพาน้ำมันหอมระเหย และถูกส่งไปตามท่อผ่านระบบหล่อเย็น แล้วควบแน่นกลับมาเป็นน้ำกับน้ำมันหอมระเหย (บดินทร์ ใจจันทร์ และคณะ, 2559; ภิวารณ นีละพงษ์ และคณะ, 2561) โดยของเหลวที่ได้จะแยกออกเป็นชั้น 3 ส่วน คือ ชั้นบนเป็นน้ำมันหอมระเหย ชั้นกลางเป็นส่วนผสมของน้ำกับน้ำมันหอมระเหย ชั้นล่างเป็นส่วนของน้ำ การกลั่นโดยวิธีนี้เรียกว่า Wet steam ตัวอย่างพืชที่ใช้กลั่นโดยวิธีนี้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (Ahmad et al., 2015; Azmir et al., 2013)

4) การสกัดพืชสมุนไพรด้วยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) คือ การใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำโดยให้ความร้อนจนตัวทำละลายระเหยขึ้นไปกลั่นตัวลงใน Thimble ซึ่งบรรจุสมุนไพรไว้เมื่อสารที่สกัดได้สูงถึงระดับกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงมาใน Flask วนเวียนไปเรื่อย ๆ จนกว่าการสกัดจะสมบูรณ์ให้สังเกตจากสีของตัวทำละลายในโอสกัดจะใสขึ้น (วารกรณ์ กิตติพันธ์วรกุล และมานพ เจริญไชยตระกูล, 2556)

5) การสกัดด้วยของไหลความดันสูง (Pressurized liquid extraction, PLE) เป็นเทคนิคการสกัดที่ใช้ความดัน และอุณหภูมิสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1996 โดย Richter และคณะ โดยมีชื่อเรียกทั่วไปเช่น Pressurized fluid extraction (PFE), Accelerated

fluid extraction (AFE), Enhanced solvent extraction (ESE), High pressure solvent extraction (HSPE) (อาณัติ ดีพัฒนา, อาลักษณ์ ทิพย์รัตน์, ณัฐฉิณี ชีรกุลกิตติพงษ์ และนพพล วีระนพนนท์, 2563) เทคนิคนี้สามารถลดปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นพิษต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม มีความสะดวก รวดเร็วสามารถนำมาประยุกต์ใช้เตรียมสารสกัดจากพืชสมุนไพร เพื่อใช้เตรียมเป็นโภชนเภสัชภัณฑ์ (Nutraceuticals) และใช้เตรียมสารสกัดจากพืชสมุนไพรสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดด้วยเทคนิค PLE ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันตัวทำละลาย และความชื้นของพืชสมุนไพร (ชุดิมา ล้อมมัทวาทิรัตน์ และสนทยา ล้อมมัทวาทิรัตน์, 2555)

6) การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction: SFE) หลักการคือ เมื่อสารอยู่ในอุณหภูมิและความดันที่เป็นจุดวิกฤตยิ่งยวด (Critical point) จะมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของแข็งได้เหมือนแก๊ส และสามารถละลายสารได้เหมือนของเหลวซึ่งเป็นวัฏกรรมเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการสกัดสารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly) นิยมใช้ในการสกัดน้ำมัน หรือสารจากพืชและสัตว์ ตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการนี้ คือคาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล น้ำ เป็นต้น การเลือกใช้คาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาเป็นตัวทำละลายในการสกัดเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายอย่างดี และไม่ต้องกังวลกับเรื่องการบำบัดของเสียที่อาจมีพิษของสารเคมีปนอยู่รวมไปถึงระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รังสีสันติวานนท์, 2546)

7) การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic extraction) เป็นเทคนิคการสกัดโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงที่ช่วงความถี่ระหว่าง 20 – 100 kHz ร่วมกับตัวทำละลายในการสกัดตัวอย่าง (พรพรรณ ลิระมนต์ และรัตติยา แวนนุกูล, 2563) การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสามารถกำหนดทิศทางไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้ โดยการใส่ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดลงในตัวอย่าง ซึ่งเป็นการสัมผัสกันระหว่างตัวทำละลายกับตัวอย่างพืช จำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกจากตัวอย่างพืชก่อนเพื่อประสิทธิภาพในการสกัด หลังจากนั้นนำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างวางลงใน Ultrasonic bath คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความถี่สูง จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลตัวทำละลายเป็นความร้อน ทำให้สารสำคัญละลายออกมาจากตัวอย่างพืช (หัตยา ซาหอม, 2559; Demirdoven, Ozdogan, & Erdogan-Tokatli, 2015) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดี คือ ช่วยลดระยะเวลาการสกัด ทำได้ง่าย ใช้อุณหภูมิต่ำ และมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากทำให้เกิดปรากฏการณ์แคฟฟิเคชัน (Cavitation) ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถชะสารสำคัญออกจากเซลล์พืชที่นำมาสกัดได้ง่ายขึ้น (Rodrigues & Pinto, 2007)

2.5 การสกัดสารด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction)

เทคนิคการสกัดสารสำคัญด้วยไมโครเวฟ เป็นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 0.3 – 300 GHz ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับคลื่นวิทยุ ในอุตสาหกรรมและครัวเรือนจะใช้คลื่นไมโครเวฟในระดับคลื่นความถี่ 2.45 GHz เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนคลื่นวิทยุในการสื่อสาร (Kaufmann & Christen, 2002) ซึ่งคลื่นนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกัน และเกิดความร้อนขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งมีผลต่อเซลล์พืช และเกิดการสกัดออกมาของสารสำคัญ (Suede, 2017) ปัจจุบันการสกัดพืชสมุนไพรด้วยไมโครเวฟ (MAE) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมนำมาสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชเนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การสกัดด้วยไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการ เช่น มีประสิทธิภาพในการสกัด ความน่าเชื่อถือ ความเสถียร ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการสกัดได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยไมโครเวฟก็มีข้อเสีย เช่น ต้องใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วถึงจะได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีที่ยังไม่แพร่หลาย (Lopez-Avila & Luque de Castro, 2014) วิธีการสกัดสารจากพืชแบบดั้งเดิมมีอยู่หลายวิธี เช่น การต้ม การแช่หมัก การสกัดแบบไหลย้อนกลับ และการสกัดแบบ Soxhlet จากวิธีที่กล่าวมาเป็นการให้ความร้อนจากภายนอกสู่ภายในของพืช แต่วิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟ จะทำให้เกิดความร้อนจากภายในสู่ภายนอก จากผลการศึกษาของ กาญจนา ชิงห์ และนิรมล อุดมอ่าง, 2558 โดยสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากผงขมิ้นชันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยใช้กำลังไฟฟ้าในการสกัดที่ 400 และ 800 วัตต์ และใช้เวลาในการสกัดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที ซึ่งพบว่าปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ทั้ง 3 ชนิด ที่สกัดด้วยกำลังไฟฟ้า 400 และ 800 วัตต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการสกัดด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ มีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดมากกว่าการสกัดด้วยกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันด้วยไมโครเวฟ ต้องใช้กำลังไฟฟ้า เวลาในการสกัด และตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ปริมาณสารสกัดที่สูงขึ้น

2.5.1 หลักการสกัดสารโดยใช้ไมโครเวฟ

เป็นการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 3×10^2 ถึง 3×10^5 เมกะเฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 1 เมตร (Afoakwah, Tabassum, Zaman, Chhabi, & Islam 2012; Songsak, 2016; Terigar, Balasubramanian, & Boldor, 2010) ร่วมกับตัวทำละลาย

อินทรีย์ในการสกัดสารจากพืชสมุนไพรโดยเมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในตัวอย่างพืชที่จะสกัดจะเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของพืช และมีผลต่อการละลายของสารสำคัญที่ต้องการ ด้วยคุณสมบัติของตัวทำละลายที่แตกต่างกันจึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันไปเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟเกิดจากกระบวนการถ่ายเทพลังงานจาก 2 กลไก ได้แก่ 1) การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation) และ 2) การเคลื่อนที่ของไอออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic conduction) (Singh & Heldman, 2001) ผ่านการเปลี่ยนแปลง dipole และแทนที่ไอออนที่มีประจุในสารและตัวทำละลาย โดยที่ทั้งสองกระบวนการเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน การเคลื่อนย้ายไอออนจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า เรียกว่า ionic conduction หากตัวทำละลายด้านการเคลื่อนที่ของไอออน จะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทาน และทำให้เกิดความร้อนขึ้น การปรับเปลี่ยน dipole ของโมเลกุลรวมกับการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า เรียกว่า dipole rotation โดยที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ คลื่นไมโครเวฟเปลี่ยน electric component ด้วยความเร็ว 4.9×10^4 ครั้งต่อวินาที จึงเกิดความร้อนขึ้นจากแรงเสียดทาน การถ่ายเทพลังงานเป็นคุณสมบัติหลักของการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ พบว่าที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตซ์เป็นความถี่นิยมใช้กันมาก มีกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 600-700 วัตต์ ซึ่งโดยปกติการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมนั้น พลังงานจะถ่ายเทไปยังสมุนไพรโดยการพาความร้อน (convection) การนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสี (radiation) ผ่านพื้นผิวภายนอกของสมุนไพรที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal gradient) ในกรณีของการสกัดด้วยไมโครเวฟ พลังงานไมโครเวฟถูกนำส่งโดยตรงไปยังสมุนไพรผ่านอันตรกิริยาระดับโมเลกุล (molecular interaction) ด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านการเปลี่ยนแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนหรืออาจกล่าวได้ว่าคลื่นไมโครเวฟจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Afoakwah et al., 2012; Azwanida, 2015; Brian, 1994; Gude, Patil, Martinez-Guerra, Deng, & Nirmalakhandan, 2013; Handa, Khanuja, Longo, & Rakesh, 2008; Rungsardthong, 2014; Songsak, 2016; Veggi, Martinez, & Meireles, 2013)

นอกจากนี้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นไมโครเวฟขึ้นอยู่กับค่า Dissipation factor ($\tan \delta$) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสกัดที่ใช้คลื่นไมโครเวฟโดยวัดความสามารถในการดูดซึมพลังงานไมโครเวฟของตัวอย่างพืช และกระจายความร้อนไปยังโมเลกุลข้างเคียง ซึ่งเป็น

ค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเกิดความร้อนของไมโครเวฟ โดยวัตถุตัวอย่างที่มีค่า $\tan \delta$ และ dielectric loss หรือ loss factor (ϵ'') สูง ร่วมกับค่า dielectric constant (ϵ') ปานกลาง จะสามารถเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นพลังงานความร้อนได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทั้งสามประการนี้แสดงได้ดังสมการ

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

โดยที่ค่า dielectric constant (ϵ') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับหรือเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความมีขั้ว (polarity) ของวัตถุตัวอย่างที่อุณหภูมิใด ๆ โดยถ้ามีค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความชื้นของวัตถุตัวอย่างค่า dielectric loss หรือ loss factor (ϵ'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูงคำว่า “loss” หรือสูญเสียหมายถึง การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

ดังนั้นจากสมการค่า loss tangent ($\tan \delta$) แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนค่าเหล่านี้ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น (Alupului, Călinescu, & Lavric, 2012; Rungsardthong, 2014; Songsak, 2016; Veggi et al., 2013)

2.5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดด้วยไมโครเวฟ

ในการสกัดสารโดยใช้ไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการใช้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดในด้านต่าง ๆ ดังนี้คือ

- 1) ระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพร (Solvent nature and solvent feed ratio--S/F ratio)

การคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมจะส่งผลให้สามารถสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรได้มากขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการละลายของสารสำคัญที่ต้องการสกัดออกมาการซึมผ่านของตัวทำละลาย และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด้านในของสารตัวอย่างสมุนไพร โดยที่ค่า ϵ' ของตัวทำละลายและจลนศาสตร์การถ่ายเทมวลของสารของตัวทำละลายที่ดีควรมีความจำเพาะต่อสารสำคัญที่ต้องการสกัด ในขณะที่สามารถสกัดสารที่ไม่ต้องการออกมาได้น้อยที่สุด การคัดเลือกตัวทำละลายที่นำมาใช้ในการสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟจะต้องพิจารณาความสามารถของตัวทำละลายในการดูดซึมพลังงานไมโครเวฟเพื่อทำให้เกิดความร้อนโดยที่ระดับของการดูดซึมคลื่นไมโครเวฟจะเพิ่มขึ้นตามค่า ϵ'

2) กำลังของคลื่นไมโครเวฟ (microwave power) และอุณหภูมิ (extraction temperature)

การตั้งค่ากำลังของคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิจะแปรผันตามกัน โดยกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตจากการสกัดเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งคงที่และลดลงในที่สุด การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ระบบการสกัดมีความหนืดและแรงตึงผิวลดลง ซึ่งจะช่วยให้ตัวทำละลายที่ใช้สามารถละลายสารได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเพิ่มกำลังไมโครเวฟจะช่วยเพิ่มปริมาณสารสำคัญจากการสกัดและลดระยะเวลาการสกัดสารได้ อย่างไรก็ตามในการเพิ่มกำลังไมโครเวฟอาจทำให้สูญเสียสารสำคัญบางชนิดหรือสารเกิดการสลายตัวได้

3) ระยะเวลาการสกัดและจำนวนรอบในการสกัด (extraction time and cycle)

การสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมโดยทั่วไปจะใช้เวลาดำกว่า 30 นาที ซึ่งสามารถช่วยหลีกเลี่ยงการสลายตัวของสารที่ไวต่อความร้อนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ในการเพิ่มระยะเวลา และจำนวนรอบการสกัดนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณสารสำคัญจากสารสกัด ในการเพิ่มจำนวนรอบของการสกัดนั้น หากเพิ่มถึงในระดับหนึ่งแล้วปริมาณสารสกัดที่ได้จะคงที่จนกระทั่งไม่สามารถสกัดเพิ่มได้อีก

4) พื้นที่ผิวสัมผัส (plant matrix characteristic)

เนื่องจากประสิทธิภาพการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะของการสกัดเท่านั้น แต่ส่วนของพืชสมุนไพรเองก็สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดได้เช่นกัน พื้นที่ผิวของผงสมุนไพรที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงขึ้นด้วยขนาดของผงสมุนไพรที่มีขนาดเล็กจะทำให้คลื่นไมโครเวฟผ่านได้มากยิ่งขึ้น แต่หากขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไปนั้นอาจทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการกรองหรือการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกกากสมุนไพรออกจากสารละลาย ซึ่งอาจใช้วิธีการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลายก่อนที่จะสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มปริมาณผลผลิตจากการสกัดได้มากขึ้น อีกทั้งความชื้นของผงสมุนไพรก็ยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายในการสกัดสาร โดยใช้คลื่นไมโครเวฟได้ เป็นการเพิ่มความมีชีวะของตัวทำละลาย ยกตัวอย่างเช่น การเติมน้ำลงไปในระบบตัวทำละลายจะสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซึมไมโครเวฟได้โดยจะส่งผลต่อกระบวนการทำความร้อนและจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสำคัญในสมุนไพรได้

5) ผลของการคนสาร (effect of stirring)

ในการคนสารนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งการคนสารนั้นจะช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการสกัดสารโดยจะช่วยเพิ่มการละลายของสารออกจากสมุนไพรได้ และการคนสารจะช่วยลดการใช้ตัวทำละลายให้น้อยลงหรือสามารถทำให้ระบบตัวทำละลาย และสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพรลดลงได้ (Chan, Yusoff, Ngoh, & Kung, 2011; Alupului et al., 2012; Songsak, 2016)

2.6 เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง HPLC

เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง หรือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือคอลัมน์ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่าง สามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้น กับเฟสเคลื่อนที่ หรือเฟสที่อยู่กับที่โดยสารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับเฟสเคลื่อนที่สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสเคลื่อนที่ หรือ

เข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ที่จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีก ซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม (chromatogram) เครื่อง HPLC สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารได้หลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ สารประกอบทางชีวภาพ พอลิเมอร์ คู่อิออนิกไอโอเมอร์ สารประกอบที่เสถียรภาพได้ง่าย สารประกอบที่ระเหยยาก ไอออนขนาดเล็ก ไมโครโมเลกุล ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นของแข็งหรือของเหลวที่สามารถละลายได้ 100% (ต้องผ่านการกรอง) การแยกสารจะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อสารมีอัตราการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์ สารประกอบที่ถูกแยกนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามความยาวทั้งหมดของคอลัมน์ โดยมี Mobile phase เป็นตัวนำพา (มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ศูนย์วิทยาศาสตร์, 2554) เครื่อง HPLC มีส่วนประกอบหลัก ๆ 6 ส่วนคือ

- 1) Mobile phase / Solvent: หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เป็นเฟสเคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่ stationary phase (ในที่นี้คือ คอลัมน์) เพื่อให้เกิดกระบวนการแยกภายในคอลัมน์
- 2) Degasser: ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศ ที่มีอยู่ใน mobile phase เพื่อไม่ให้ฟองอากาศเข้าสู่ column และ detector
- 3) Pump: ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลาย (mobile phase) เข้าสู่ระบบ HPLC เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหล ระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน
- 4) Injector / Autosampler: ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบ HPLC
- 5) Column: หรือจะเรียกว่า stationary phase มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเจล เป็นเฟสอยู่กับที่ ทำหน้าที่ให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยกระบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่าง mobile phase กับ stationary phase

6) Detector: คือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจ ที่ได้จากกระบวนการแยก มีหลายชนิดด้วยกัน การเลือกใช้ขึ้นกับตัวอย่างที่สนใจว่าสามารถตอบสนองกับ Detector ชนิดไหนได้ดี

2.7 การศึกษาพื้นผิวตอบสนอง RSM

การศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งจะวิเคราะห์ผลตอบสนองจากตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาจุดความเหมาะสมต่อผลลัพธ์ที่ได้ และง่ายต่อการอธิบายเปรียบเทียบผล เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อผลนั้น (Montgomery, 2001) โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายปัจจัยในการสกัดสารสำคัญจากมินชันอินทรีย์ มีงานวิจัยบางชิ้นใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดด้วยวิธีการหมักแบบไดนามิกของสารเคอร์คูมินจากมินชันโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย (Başpinar, Üstündağ, Bayraktar, & Sezgin, 2018; Paulucci, Couto, Teixeira, & Freitas, 2013)

ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา (2557) รายงานผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้สูงขึ้นด้วยระยะเวลาในการสกัดที่สั้นลง และได้ปริมาณของสารสำคัญสูงขึ้น โดยศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวทำละลายในอัตราส่วนที่ต่างกัน ระยะเวลาการสกัด และกำลังคลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ต่อประสิทธิภาพการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง พบว่า เมื่อใช้ปัจจัยสภาวะต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดได้ดังนี้

สุขสรรค์ ดันศิริ, วราวุธ ชนะมูล, และวิชัย เสริมผล (2563) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูดโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย และใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในกระบวนการสกัดเพื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ระบบ ซึ่งเป็นกระบวนการสกัดเพกทินที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้กรดในการสกัด สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง คือ ใช้เวลาในการสกัด 13.34 นาที ที่อุณหภูมิ 98.21 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 71.85 มิลลิลิตรต่อกรัม สามารถสกัดเพกทินได้

ร้อยละ 20.66 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่าค่าจากการทำนายจากแบบจำลอง (ร้อยละ 20.18 โดยน้ำหนัก) โดยมีค่าอคติร้อยละ 2.38 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้จากการทดลองนี้มีความเหมาะสมแก่การนำไปใช้สกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูดด้วยน้ำกลั่นโดยใช้คลื่นไมโครเวฟช่วย ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้ผลิตเพกทินเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต

พรรณทิพย์ แสงสุขเอี่ยม และราตรี ชูยหิรัญ (2558) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีข้อมจากกลีบดอกอัญชัน จากตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรคือ ระยะเวลาในการสกัด อุณหภูมิในการสกัด และปริมาณกลีบดอกอัญชันที่ใช้ในการสกัด ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีข้อมจากกลีบดอกอัญชัน ดูจากค่าที่มากที่สุดในการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer) โดยประยุกต์ใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (CCD) และประมวลผลด้วยโปรแกรม RGui386 version 3.2.0 พบว่า ตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร มีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94 เมื่อนำมาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด (stationary point) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสีข้อมจากกลีบดอกอัญชันคือ ระยะเวลาในการสกัดที่ 88 นาที อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณกลีบดอกอัญชัน 1.25 กรัม จะได้ค่าการดูดกลืนแสงจากสีข้อมที่สกัดได้สูงสุดคือ 2.955 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรม (3.051) และใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง (3.000) ที่ใช้ระยะเวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณกลีบดอกอัญชัน 2 กรัม

ไทรวุฒิ พันธุ์โยธา, วราภรณ์ ศรีจันทร์, ชลัท ศานติวรารัณ, นัฐพล ตั้งสุภูมิ, และอุทัยวรรณ สุทธิคันสนีย์ (2557) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของใบแปะดำปิ้งโดยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวเงื่อนไขที่ทำการศึกษาคือ เวลา 30 - 90 นาที ความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 40 - 60 โดยปริมาตร อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 20 - 30 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส จากข้อมูลสามารถออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) พบว่า สารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 9.0 - 71.17 และ 25.56 - 125.9 ไมโครเมตร Trolox equivalent (TE) ต่อกรัมของมวลแห้ง เมื่อวัด DPPH และ FRAP ตามลำดับ การสกัดที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ด้วย DPPH คือ ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 60 โดยปริมาตร อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 30 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และเวลา 60 นาที ในขณะที่

อุณหภูมิ และอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็งที่เหมาะสมยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดของการวัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วย FRAP คือ ความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 40 โดยปริมาตร และเวลาสกัด 90 นาที พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัด คือ ความเข้มข้นของเอทานอล และเวลา ข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยนี้สามารถนำมาสนับสนุนการตรวจสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแยกสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป



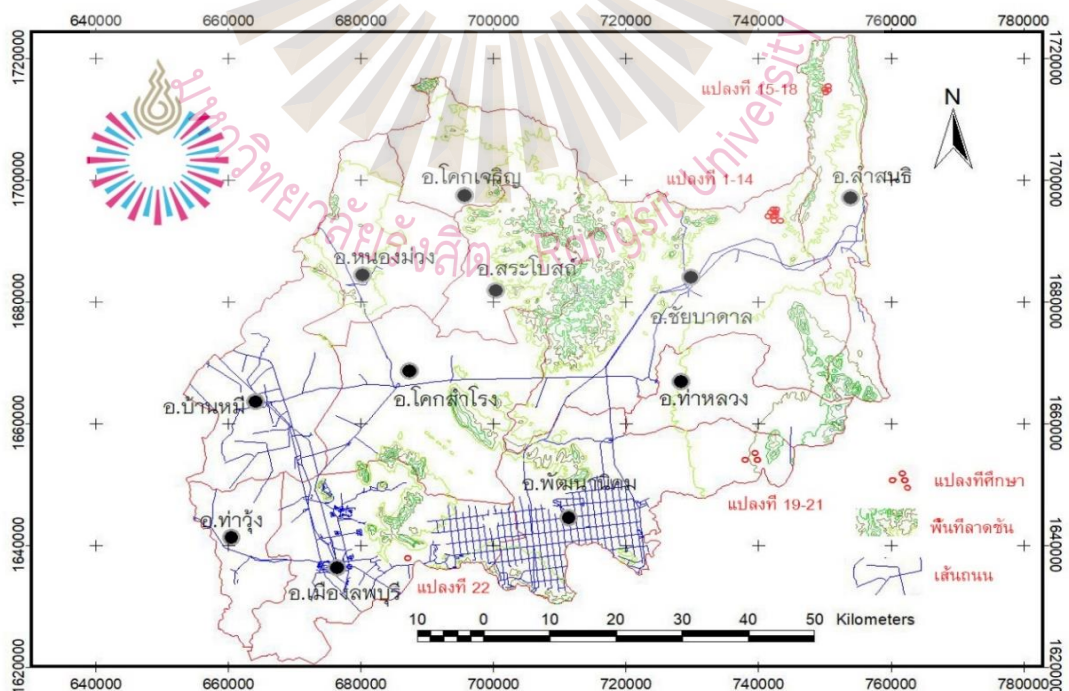
บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ตัวอย่าง เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ตัวอย่างขมิ้นชันที่ใช้ในงานวิจัย

เก็บตัวอย่างขมิ้นชันพันธุ์แดงสยาม โดยทำการสุ่มเหง้าขมิ้นชันที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์เพื่อศึกษากลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในพื้นที่ของจังหวัดลพบุรี โดยสุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 22 แปลง จาก 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอชัยบาดาล แปลงที่ 1-14 รวม 14 ตัวอย่าง (รหัส S1-S14) อำเภอลำสนธิ แปลงที่ 15-18 รวม 4 ตัวอย่าง (รหัส L1-L4) อำเภอพัฒนานิคม แปลงที่ 19-21 รวม 3 ตัวอย่าง (รหัส P1-P3) และอำเภอเมือง แปลงที่ 22 จากกลุ่มเกษตรกรไร่ทหารสานประชาภิเษตรกรรมกลุ่มกันปลูก 9 ราย ในพื้นที่เดียวกันจึงเก็บตัวอย่างมาเพียง 1 ตัวอย่าง (รหัส M1) ดังแสดงใน(รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แปลงที่สุ่มตัวอย่างขมิ้นชันของจังหวัดลพบุรี

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.2 แปลงปลูกขมื่นชั้นของเกษตรกรจังหวัดลพบุรี

ที่มา: ผู้วิจัย

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ตู้ดูดควัน (ProLAB Model FH120, UK)
- 2) ตู้อบลมร้อน (JSOF-100, JS Research Inc., Korea)
- 3) เครื่องปั่นบด (DF-15, Dade, China)
- 4) เครื่อง HPLC (Agilent 1260 Infinity, Agilent Technologies, USA)
- 5) HPLC Column (ACE Generix 5 C18, 150×4.6mm, i.d., 5µm)
(Advanced Chromatography Technologies Ltd., Scotland)
- 6) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Entris224i-1S, Sartorius, Germany) และ 2
ตำแหน่ง (PAJ3102, Ohaus Corp., USA)
- 7) เครื่องกรองน้ำ Ultrapure (Expe-UP Ele-M, Mirae ST Co., Ltd., Korea)
- 8) เครื่อง Ultrasonic Cleaner (SB 25-12 DTDN, Laboratory Sky Shanghai,
China)
- 9) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter; SevenCompact S220, Mettler
Toledo, Switzerland)
- 10) Microwave (Sharp model R-270, Japan)
- 11) กระดาษกรอง (Whatman No.1, GE Healthcare UK Limited, UK)
- 12) ผ้ากรองโพลีเอสเตอร์ (Thai Unitika Spunbond Co., Ltd., Thailand)
- 13) ตะแกรงร่อน (Standard Test Sieve, Gilson, USA)
- 14) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) 5 และ 10 มิลลิลิตร (Hirschman
Laborgerate GmbH & Co. KG, Germany)

- 15) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) 250 มิลลิลิตร (Duran, Germany)
- 16) Syringe filter (Allpure NY 0.45 μ m, Membrane Solution LLC, USA)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) Acetic acid (Carlo Erba Reagent, Italy)
- 2) Acetonitrile (RCI Labscan Limited, Thailand)
- 3) Curcumin Standard (Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd., China)
- 4) Demethoxycurcumin standard (Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd., China)
- 5) Bisdemethoxycurcumin standard (Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd., China)
- 6) Almond oil (Chemipan, Thailand)
- 7) Castor oil (Krungthepchemi Co. Ltd, Thailand)
- 8) Coconut oil (Krungthepchemi Co. Ltd, Thailand)
- 9) Olive oil (Chemipan, Thailand)
- 10) Olive oil (Natural, Spain)
- 11) Peanut oil (Lemon Farm, Thailand)
- 12) Rice bran oil (Rizi, Thailand)
- 13) Sesame oil (Chemipan, Thailand)
- 14) Sesame oil (Lemon Farm, Thailand)
- 15) Sunflower oil (Chemipan, Thailand)
- 16) Sunflower oil (JOE & CO S.R.L, Italy)

3.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ

การเตรียมส่วนผสมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันพร้อมใช้ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสูตรเครื่องสำอางต่าง ๆ เริ่มจากการสกัดสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันด้วยไมโครเวฟนั้น จำเป็นต้องใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลาย เพราะมีจุดเดือดสูงกว่าสารเคมีชนิดอื่น ๆ ใช้เวลาในการสกัดน้อย และเพื่อความปลอดภัยในการดำเนินการ เพราะคลื่นไมโครเวฟมีความร้อนสูงจึงอาจเกิด

การใหม่ หรือระเบิดจากสารเคมีบางชนิดได้ ผู้วิจัยจึงเลือกน้ำมันพืชเป็นตัวทำละลายในการทดลอง 8 ชนิด ประกอบไปด้วยน้ำมันพืช 11 ตัวอย่าง คือ น้ำมันอัลมอนด์, น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น, น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น, น้ำมันมะกอก, น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี, น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น, น้ำมันรำข้าว, น้ำมันงา, น้ำมันงาสกัดเย็น, น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันดอกทานตะวันอินทรีย์ น้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทำการทดลองนี้ได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้ในทางเภสัชกรรมหรือเครื่องสำอางได้ (Rowe, Sheskey, Cook, & Fenton, 2012) น้ำมันรำข้าวยังใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีความปลอดภัยสูง (Cosmetic Ingredient Review Expert Panel, 2006) เนื่องจากประกอบด้วยกรดไขมันแกมมา-โอโรซานอล โทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล (The American Oil Chemists' Society, 2018) ที่มีประโยชน์ต่อผิว น้ำมันประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่แตกต่างกันรวมทั้งส่วนประกอบอื่น ๆ ก็มีผลต่อความคงตัวของสูตรเช่นกัน

ตารางที่ 3.1 ชนิด ยี่ห้อ และขนาดบรรจุของน้ำมันที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำละลายในการสกัดขมิ้นชัน

ชนิดน้ำมันพืช	ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ
น้ำมันอัลมอนด์	Chemipan	100 mL
น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น	Bkkchemi	1 kg
น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น	Bkkchemi	1 kg
น้ำมันมะกอก	Chemipan	100 mL
น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี	Naturel	500 mL
น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น	Lemon Farm	500 mL
น้ำมันรำข้าว	Rizi	1 L
น้ำมันงา	Chemipan	100 mL
น้ำมันงาสกัดเย็น	Lemon Farm	500 mL
น้ำมันดอกทานตะวัน	Chemipan	100 mL
น้ำมันดอกทานตะวันอินทรีย์	Happy Mate	500 mL

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างผงขมิ้นชัน

นำตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันที่ทำการสุ่มเก็บจากแปลงเกษตรกรในเขตพื้นที่จังหวัดลพบุรีล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า นำดิน ราก และใบแห้งที่ติดเหง้าขมิ้นชันออกให้หมด หั่นเหง้าขมิ้นชันเป็นแว่นขนาดประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำขมิ้นชันแห้งมาวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยทั่วไปสมุนไพรควรมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้น สมุนไพรบางชนิดที่มีการกำหนดไว้ตามความเหมาะสม สมุนไพรที่มีความชื้นมากเกินไปจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตได้ง่าย และทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญได้ง่าย (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาทิพย์ รัตนภาสกร, 2555) นำขมิ้นชันแห้งมาบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60-mesh ความละเอียด 250 ไมโครเมตร เก็บผงขมิ้นชันใส่ถุงขจัดกันความชื้นและแสงไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันจังหวัดลพบุรี

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เคอร์คูมินอยด์ด้วยเครื่อง HPLC

เตรียมสารละลายมาตรฐานของเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยการชั่งสารมาตรฐานแต่ละชนิด 10 มิลลิกรัม ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอล ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานสามชนิด แต่ละชนิดมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายผสมของสารมาตรฐานทั้งสามชนิด โดยปิเปตสารละลายที่เตรียมได้มาอย่างละ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอล ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายของสารมาตรฐานความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาเจือจางแบบ 2 เท่า กล่าวคือ นำสารละลายผสมของสารมาตรฐานปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนครบด้วยเมทานอล และผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จะได้สารละลายของสารมาตรฐานที่จะนำไปสร้างกราฟมาตรฐานจำนวน 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 100, 50, 25, 12.5, 6.25, และ 3.125 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ละความเข้มข้นทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานแต่ละชนิด เพื่อใช้เทียบหาปริมาณของสารเคอร์คูมินอยด์ทั้งสามชนิดในหัวข้อถัดไป

กรณีของผงขมิ้นชัน ชั่งผงขมิ้นชัน 20 มิลลิกรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล จากนั้นนำไปสกัดด้วยคลื่นความถี่สูงโดยวางลงใน Ultrasonic bath ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อสกัดสารสำคัญออกจากผงขมิ้นชัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็นแล้วกรองผ่าน syringe filter ชนิดในลอนที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ขวดไวอัลลีชา ปิดฝาให้สนิท จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2) สภาพการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (Monton, et al., 2019b, 2021)

เครื่อง HPLC คือ Agilent 1260 Infinity

คอลัมน์ คือ ACE Generix 5 C18, 150×4.6 มิลลิเมตร, i.d., 5 ไมโครเมตร

วัฏภาคเคลื่อนที่ ประกอบด้วย acetonitrile: 1% acetic acid สัดส่วนคงที่ 55:45 โดยปริมาตร

อัตราการไหลของวัฏภาคเคลื่อนที่ คือ 1 มิลลิลิตรต่อนาที

อุณหภูมิของคอลัมน์ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาตรการฉีดสาร เท่ากับ 10 ไมโครลิตร

ความยาวคลื่นการตรวจวัด 425 นาโนเมตร

3) การออกแบบการทดลอง

การศึกษานี้เพื่อคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ ได้แก่ ปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบ จึงต้องออกแบบการทดลองเพื่อไม่ให้ปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลเสียต่อผลผลิตที่ได้ เช่น ถ้าใช้ปริมาณผงขมิ้นชันเยอะเกินไป ใช้เวลาในการสกัดมากเกินไป หรือใช้จำนวนรอบมากเกินไป จะทำให้ผลผลิตไหม้ และสารสำคัญถูกทำลาย จึงนำการออกแบบ Box-Behnken มาใช้ในการศึกษานี้ มีการศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณผงขมิ้นชัน (X_1) ระยะเวลา (X_2) และ จำนวนรอบ (X_3) ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟคงที่ที่ 800 วัตต์ มีการติดตาม การตอบสนอง 5 ประการ คือ ปริมาณผลผลิต (production yield) (Y_1), ปริมาณบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (BDMC) (Y_2), ปริมาณดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (DMC) (Y_3), ปริมาณเคอร์คูมิน (CUR) (Y_4) และปริมาณ

สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์รวม (total curcuminoids) (Y_3) ปัจจัยมีการปรับเปลี่ยน 3 ระดับ คือ ปริมาณผงขมิ้นชัน 2, 4 และ 6 กรัม ต่อน้ำมันพืช 20 กรัม ระยะเวลาเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 นาที โดยมีจำนวนรอบเท่ากับ 1 2 และ 3 รอบ โดยหยุดระหว่างรอบ 0.5 นาที ทำการทดลอง 14 สภาวะ ดังที่แสดงในตารางที่ 3.2 มีการทำซ้ำที่สภาวะที่ 13 และ 14 เพื่อประเมินความแปรปรวนของการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ค่ารหัส (coded value) และค่าการทดลอง (experimental value) ของการออกแบบ

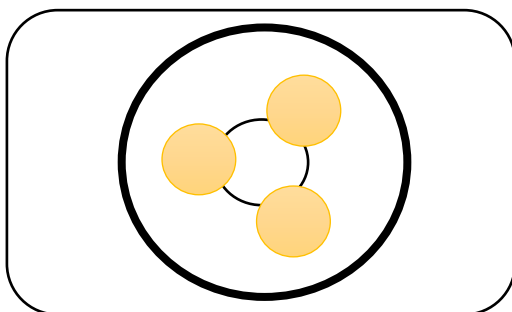
ทดลองแบบ Box-Behnken design						
สภาวะ	ค่ารหัส			ค่าการทดลอง		
	X_1	X_2	X_3	ปริมาณผงขมิ้นชัน (กรัม)	ระยะเวลา (นาที)	จำนวน รอบ
1	-1	-1	0	2	0.5	2
2	1	-1	0	6	0.5	2
3	-1	1	0	2	1.5	2
4	1	1	0	6	1.5	2
5	-1	0	-1	2	1	1
6	1	0	-1	6	1	1
7	-1	0	1	2	1	3
8	1	0	1	6	1	3
9	0	-1	-1	4	0.5	1
10	0	1	-1	4	1.5	1
11	0	-1	1	4	0.5	3
12	0	1	1	4	1.5	3
13	0	0	0	4	1	2
14	0	0	0	4	1	2

3.3.3 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้ น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลาย

1) ขั้นตอนการสกัดผงขมิ้นชันด้วยน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น

การศึกษานี้จะใช้ขมิ้นชันจากแปลงที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด โดยชั่งผงขมิ้นชันลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำหนักรวมของผงขมิ้นชันตามตารางแผนการทดลอง (ตารางที่ 3.2) จากนั้นเติมน้ำมันมะพร้าว 20 กรัม คนด้วยแท่งแก้วให้ผงขมิ้นชันกับน้ำมันมะพร้าวเข้ากัน ($n=3$) นำขวดตัวอย่างทั้งสามขวดเข้าเครื่องไมโครเวฟโดยวางตามตำแหน่งที่แสดงใน (รูปที่ 3.3) ใช้กำลังไฟอยู่ที่ 800 วัตต์ ระยะเวลา และจำนวนรอบตามตารางแผนการทดลอง (ตารางที่ 3.2)

เมื่อสกัดด้วยระยะเวลาและจำนวนรอบที่กำหนดแล้วนำตัวอย่างออกจากไมโครเวฟกรองด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ (polyester) 2 ชั้น ผ้าโพลีเอสเตอร์เกิดจากกระบวนการทางเคมีของ ethylene glycol และกรด terephthalic มีคุณสมบัติเหนียว มีความคงขนาดได้ดีไม่ยับง่าย การดูดซับความชื้นค่อนข้างต่ำ อยู่ที่ประมาณ 0.4-0.6 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะมาตรฐาน ทำให้น้ำ และน้ำมันไหลผ่านได้ดี จึงมีความเหมาะสมกว่าผ้าชนิดอื่น ๆ สำหรับการกรองน้ำมันพืช โดยใช้วิธีการกรองแบบสุญญากาศ (vacuum filtration technique) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งชุดหัวกรองทิ้งไว้ อีก 1 นาที เพื่อให้สารสกัดตัวอย่างถูกกรองออกมามากที่สุด ใช้เวลาในการกรองและตั้งทิ้งไว้เหมือนกันทุกตัวอย่าง นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนักของสารที่ได้จากการกรอง บันทึกค่าปริมาณผลผลิต (production yield) หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เก็บสารสกัดตัวอย่างที่ได้ในขวดแก้วปิดฝาให้สนิทและเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันแสง



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการวางขวดรูปชมพู่ในเตาไมโครเวฟ

1) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยวิธี HPLC

นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้มาเจือจางในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล โดยเตรียมให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อ 10 มิลลิลิตร กรองผ่าน syringe filter ชนิดในตอนที่มิรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ขวดไวอัลลีชาปิดฝาให้สนิท นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เมื่อได้ peak area ของสารเคอร์คูมินอยด์นำไปคำนวณจากกราฟมาตรฐานเพื่อรายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์แต่ละชนิด และรายงานผลรวมของความเข้มข้นของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ด้วย จากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำนายผลด้วยโปรแกรม Design-Expert® version 11 โดยสร้างพื้นผิวการตอบสนอง (Response surface) หรือแผนภาพแรงเงา (contour plot) รายงานสมการที่ใช้ในการทำนาย แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าจากการทำนายพร้อมทั้งสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เลือกสถานะที่ดีที่สุดสกัดเคอร์คูมินอยด์ได้สูงที่สุด เพื่อนำสถานะที่ได้ไปใช้สกัดผงขมิ้นชันด้วยน้ำมันพืชทั้ง 11 ตัวอย่าง แต่จะทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์โดยสกัดตามสถานะนั้นอีกครั้ง และนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับการทำนายมาคำนวณความคลาดเคลื่อน

3.3.4 ขั้นตอนการหาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดผงขมิ้นชันด้วยน้ำมันพืชทั้ง 11 ตัวอย่าง โดยใช้ไมโครเวฟ

1) ขั้นตอนการสกัดผงขมิ้นชันโดยใช้ไมโครเวฟ ด้วยน้ำมันพืช 11 ตัวอย่าง

นำผงขมิ้นชันมาชั่ง 6 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำมันพืชปริมาณ 20 กรัม (น้ำมันอัลมอนด์ น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น น้ำมันมะกอก น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น น้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี น้ำมันงา น้ำมันงาสกัดเย็น น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันดอกทานตะวันเกษตรอินทรีย์) ซึ่งน้ำมันทั้งหมดนี้เป็นน้ำมันที่สามารถใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางได้ แต่ละตัวอย่างจะสกัดแยกกัน 3 ขวด คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว นำขวดรูปชมพู่ที่มีผงขมิ้นชันและน้ำมันทั้งสามขวดเข้าเครื่องไมโครเวฟ โดยวางตามตำแหน่งใน (รูปที่ 3.3) ใช้กำลังไฟอยู่ที่ 800 วัตต์ ระยะเวลา 1.5 นาที จำนวน 3 รอบ (หยุดพักรอบละ 30 วินาที) ซึ่งเป็นสถานะที่ดีที่สุดของการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น เมื่อสกัดด้วยระยะเวลาและจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว นำตัวอย่างออกจากไมโครเวฟ กรองด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ 2 ชั้น โดยใช้วิธีการกรองแบบสุญญากาศเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งชุดหัวกรองทิ้งไว้อีก 1 นาที เพื่อให้สารสกัดตัวอย่างถูกกรองออกมามากที่สุด ใช้เวลาในการกรองและตั้งทิ้งไว้เหมือนกันทุกตัวอย่าง นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนักของสารที่ได้จากการกรอง บันทึกค่าปริมาณ

ผลผลิต หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เก็บสารสกัดตัวอย่างที่ได้ในขวดแก้วปิดฝาให้สนิท และเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันแสง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3.3.5 ศึกษาความคงตัวของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันพืช

คัดเลือกชนิดของตัวทำละลายน้ำมันที่ให้สารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด 3 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น B เพื่อศึกษาความคงตัวของสารเคอร์คูมินอยด์เมื่ออยู่ในตัวทำละลายน้ำมัน นำตัวอย่างมาตั้งในตู้ปรับอุณหภูมิ (climate chamber) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส/ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ และ 40 องศาเซลเซียส/ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ($n=3$) เป็นระยะเวลา 3 เดือน เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความคงตัวของสารด้วยเครื่อง HPLC และเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำโดยการใช้โปรแกรม SPSS 21 (IBM, USA) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะเปรียบเทียบทีละคู่ โดยเลือกน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นกลุ่มเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต และปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ สถิติที่ใช้คือ t-test ข้อมูลจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อ $p < 0.05$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันอินทรีย์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันอินทรีย์จังหวัดลพบุรี

ในการทดลองสกัดสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากผงขมิ้นชันอินทรีย์โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย สกัดด้วยคลื่นความถี่สูง เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

รหัส	อำเภอ	ปริมาณกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (ร้อยละ)			
		BDMC	DMC	CUR	Total
S1	ชัยบาดาล	1.53 ± 0.01	1.67 ± 0.01	4.61 ± 0.02	7.82 ± 0.04
S2	ชัยบาดาล	1.42 ± 0.00	1.85 ± 0.00	4.86 ± 0.01	8.12 ± 0.01
S3	ชัยบาดาล	1.26 ± 0.01	1.16 ± 0.01	3.32 ± 0.02	5.75 ± 0.03
S4	ชัยบาดาล	1.51 ± 0.02	1.97 ± 0.01	4.92 ± 0.03	8.40 ± 0.06
S5	ชัยบาดาล	2.11 ± 0.01	2.20 ± 0.01	4.99 ± 0.02	9.29 ± 0.04
S6	ชัยบาดาล	1.10 ± 0.01	1.75 ± 0.01	4.46 ± 0.02	7.31 ± 0.04
S7	ชัยบาดาล	0.63 ± 0.00	1.31 ± 0.00	3.60 ± 0.01	5.54 ± 0.02
S8	ชัยบาดาล	1.72 ± 0.00	1.93 ± 0.00	4.90 ± 0.01	8.55 ± 0.01
S9	ชัยบาดาล	2.02 ± 0.01	1.56 ± 0.01	4.47 ± 0.03	8.05 ± 0.04
S10	ชัยบาดาล	1.08 ± 0.01	1.58 ± 0.01	4.13 ± 0.02	6.79 ± 0.04
S11	ชัยบาดาล	1.01 ± 0.00	1.74 ± 0.00	4.50 ± 0.01	7.26 ± 0.01
S12	ชัยบาดาล	0.67 ± 0.00	0.73 ± 0.00	2.70 ± 0.00	4.10 ± 0.00
S13	ชัยบาดาล	2.20 ± 0.01	1.73 ± 0.01	4.45 ± 0.02	8.38 ± 0.04
S14	ชัยบาดาล	2.65 ± 0.02	1.94 ± 0.01	5.32 ± 0.03	9.92 ± 0.06

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC (ต่อ)

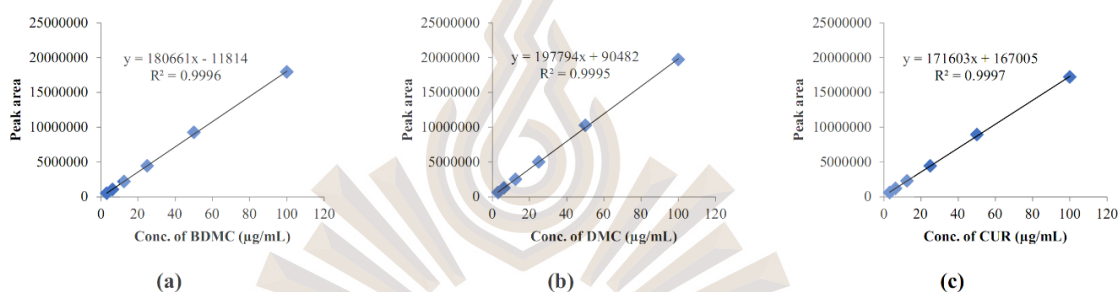
รหัส	อำเภอ	ปริมาณกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (ร้อยละ)			
		BDMC	DMC	CUR	Total
L1	ลำสนธิ	2.36 ± 0.01	1.90 ± 0.01	4.43 ± 0.03	8.69 ± 0.05
L2	ลำสนธิ	0.82 ± 0.01	1.69 ± 0.01	1.87 ± 0.02	4.38 ± 0.04
L3	ลำสนธิ	2.28 ± 0.02	1.97 ± 0.01	4.85 ± 0.03	9.09 ± 0.05
L4	ลำสนธิ	1.40 ± 0.01	2.32 ± 0.01	3.30 ± 0.01	7.01 ± 0.03
P1	พัฒนานิคม	2.12 ± 0.01	1.55 ± 0.01	4.34 ± 0.02	8.02 ± 0.05
P2	พัฒนานิคม	2.08 ± 0.01	1.93 ± 0.01	4.72 ± 0.02	8.73 ± 0.04
P3	พัฒนานิคม	2.57 ± 0.02	1.95 ± 0.02	5.69 ± 0.03	10.21 ± 0.06
M1	เมือง	2.66 ± 0.00	1.81 ± 0.00	5.89 ± 0.01	10.35 ± 0.01

จากตารางที่ 4.1 เป็นการนำตัวอย่างขมิ้นชันทั้ง 22 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์รวมของขมิ้นชันอินทรีย์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า พิสัยของปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์รวมเท่ากับร้อยละ 4.10 – 10.35 โดยน้ำหนัก โดยขมิ้นชันแปลง M1 จากอำเภอเมือง ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์รวมสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.35 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ขมิ้นชันแปลง S12 จากอำเภอชัยบาดาล ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์รวมน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.10 โดยน้ำหนัก

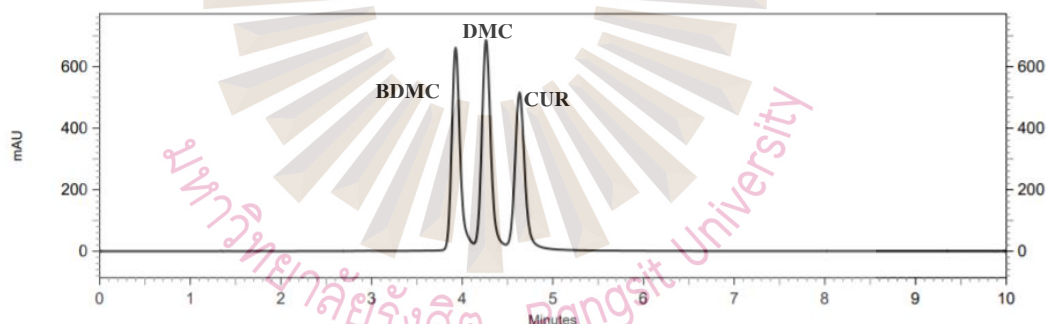
เภสัชตำรับสมุนไพรไทย (Thai Herbal Pharmacopoeia) ระบุว่า ขมิ้นชันจะต้องมีปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์รวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 (เมื่อวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้เคอร์คูมินเป็นสารมาตรฐาน) (Department of Medical Sciences, 2019) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีจำนวนตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐานเพียง 2 ตัวอย่าง คือ S12 จากอำเภอชัยบาดาล และ L2 จากอำเภอลำสนธิ คิดเป็นร้อยละ 9.1 ของตัวอย่างทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าขมิ้นชันที่ปลูกด้วยวิถีเกษตรอินทรีย์ในเขตพื้นที่จังหวัดลพบุรีมีคุณภาพดี สามารถใช้เป็นยาสมุนไพรหรือส่วนประกอบของเครื่องสำอางได้

4.1.2 กราฟมาตรฐานของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์และโครมาโทแกรม

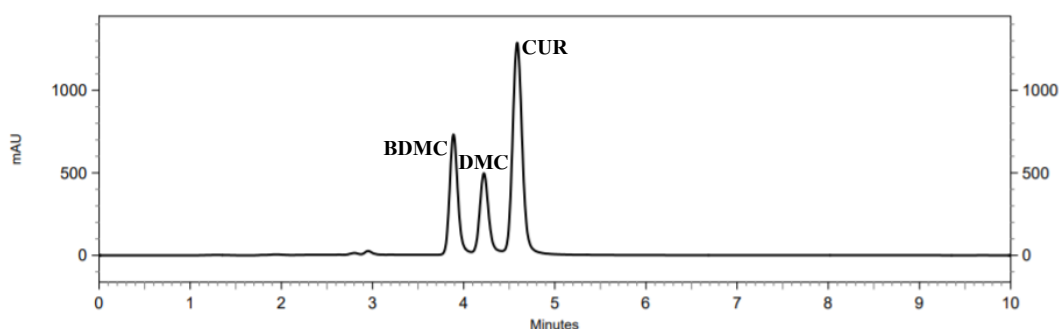
จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารเคอร์คูมินอยด์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า กราฟมาตรฐานของสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน และเคอร์คูมิน มีค่า R^2 ที่สูง ซึ่งบ่งชี้ว่าค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ และ peak area มีความสัมพันธ์สูง จากรูปที่ 4.2-4.3 แสดงโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานเคอร์คูมินอยด์ และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันรหัส M1 จากอำเภอมือง



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์



รูปที่ 4.2 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในตัวอย่างขมิ้นชันรหัส M1

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ โดยใช้ น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลาย

การศึกษานี้ใช้หมั่นชั้นแปลง M1 จากอำเภอเมือง ซึ่งมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุดเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ ผลของปริมาณผลผลิต สารบิสตีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และเคอร์คูมินอยด์รวมในตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิต อยู่ระหว่าง 12.31 - 16.87 กรัม พบว่าสภาวะที่ 3 ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่สภาวะที่ 6 ให้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด ปริมาณสารบิสตีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ให้ค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.96 - 4.36, 0.50 - 2.96, 1.28 - 8.03 และ 2.75 - 15.37 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าสภาวะที่ 8 ให้ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด ในขณะที่สภาวะที่ 1 ให้ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิต และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดด้วย 14 สภาวะ

สภาวะ	ผลผลิต		ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ (ร้อยละ)			
	g*	%	BDMC	DMC	CUR	Total
1	15.80 ± 0.26	79.00 ± 1.28	0.96 ± 0.05	0.50 ± 0.04	1.28 ± 0.13	2.75 ± 0.21
2	12.74 ± 0.20	63.70 ± 1.01	3.53 ± 0.07	1.57 ± 0.76	5.28 ± 0.17	10.39 ± 0.87
3	16.87 ± 0.33	84.38 ± 1.66	1.73 ± 0.13	1.12 ± 0.07	3.46 ± 0.20	6.33 ± 0.40
4	13.17 ± 0.80	65.85 ± 3.99	3.11 ± 0.11	1.63 ± 0.13	4.10 ± 0.48	8.85 ± 0.70
5	16.26 ± 0.39	81.32 ± 1.94	1.15 ± 0.06	0.58 ± 0.03	1.47 ± 0.10	3.21 ± 0.19
6	12.31 ± 0.41	61.58 ± 2.05	3.31 ± 0.03	1.85 ± 0.06	4.88 ± 0.24	10.05 ± 0.32
7	16.82 ± 0.25	84.12 ± 1.23	1.67 ± 0.03	1.06 ± 0.01	3.23 ± 0.04	5.96 ± 0.09
8	13.22 ± 0.36	66.12 ± 1.80	4.36 ± 0.08	2.96 ± 0.05	8.03 ± 0.16	15.37 ± 0.28
9	14.25 ± 1.21	71.27 ± 6.07	1.76 ± 0.06	0.75 ± 0.02	1.58 ± 0.03	4.10 ± 0.11
10	14.69 ± 0.40	73.47 ± 1.98	2.85 ± 0.07	1.74 ± 0.06	4.99 ± 0.18	9.58 ± 0.31
11	14.51 ± 0.05	72.55 ± 0.26	2.64 ± 0.06	1.58 ± 0.05	4.52 ± 0.15	8.75 ± 0.25
12	14.85 ± 0.09	74.28 ± 0.46	3.22 ± 0.38	2.21 ± 0.30	6.62 ± 0.81	12.06 ± 1.49
13	14.70 ± 0.02	73.50 ± 0.10	2.99 ± 0.05	1.93 ± 0.04	5.71 ± 0.11	10.64 ± 0.20
14	14.88 ± 0.76	74.43 ± 3.81	3.03 ± 0.07	1.94 ± 0.06	5.69 ± 0.21	10.66 ± 0.34

* น้ำหนักของสารที่ได้หลังจากการกรอง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้นี้ไปสร้างแผนภาพแรงเงา (contour plot) จะได้แผนภาพแรงเงาดังรูปที่ 4.4 - 4.8 ปริมาณผงขมิ้นชันมากเกินไปส่งผลเสียต่อปริมาณผลผลิต ในขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลาสั้น และจำนวนรอบมากมีแนวโน้มที่ดีต่อปริมาณผลผลิต ระยะเวลาส่งผลต่อปริมาณสารมาก เมื่อเทียบกับจำนวนรอบ ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินได้รับผลกระทบจากการใช้ปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินออกไซด์ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากการใช้ระยะเวลา จำนวนรอบ และปริมาณผงขมิ้นชัน ตามลำดับ ดังสมการค่าจริง (actual equation)

Production yield (%) = $85.93 - 4.47(\text{solid amount}) + 2.86(\text{time}) + 1.18(\text{cycle})$	สมการที่ 1
BDMC content (mg/g) = $-0.81 + 0.54(\text{solid amount}) + 0.51(\text{time}) + 0.35(\text{cycle})$	สมการที่ 2
DMC content (mg/g) = $-0.95 + 0.30(\text{solid amount}) + 0.58(\text{time}) + 0.36(\text{cycle})$	สมการที่ 3
CUR content (mg/g) = $-2.85 + 0.80(\text{solid amount}) + 1.63(\text{time}) + 1.18(\text{cycle})$	สมการที่ 4
Total curcuminoid content (mg/g) = $-4.62 + 1.65(\text{solid amount}) + 2.71(\text{time}) + 1.90(\text{cycle})$	สมการที่ 5

4.2.1 ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM

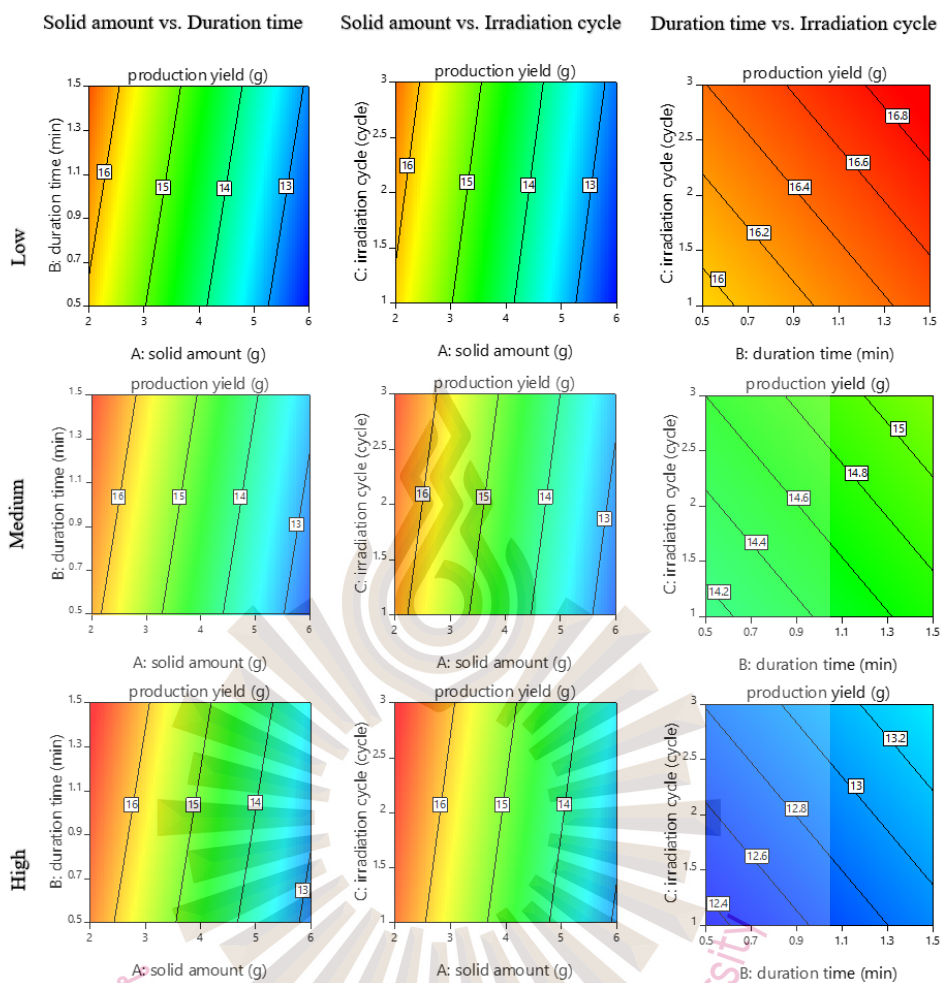
ผลจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้การทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการผลิต และเงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสม จะได้ผลการตอบสนองดังแสดงในรูปที่ 4.4 - 4.8 จาก contour plot ของปริมาณผลผลิต ในรูปที่ 4.4 คอลัมน์แรกพบว่าเมื่อใช้ผงขมิ้นชันน้อย และใช้เวลานาน ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง เมื่อใช้จำนวนรอบมากขึ้นปริมาณผลผลิตก็มีแนวโน้มมากขึ้นเช่นกัน คอลัมน์กลางพบว่าเมื่อใช้ผงขมิ้นชันน้อย และใช้จำนวนรอบมากทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง เมื่อใช้เวลานานขึ้นปริมาณผลผลิตก็มีแนวโน้มมากขึ้นเช่นกัน คอลัมน์สุดท้ายพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาสั้น และจำนวนรอบมาก ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงเมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันน้อยปริมาณผลผลิตก็มีแนวโน้มมากขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันน้อย ระยะเวลาสั้น และจำนวนรอบมาก ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง

จาก contour plot ของสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินออกไซด์ในรูปที่ 4.4 - 4.8 พบว่าคอลัมน์แรกของแต่ละรูปแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณ

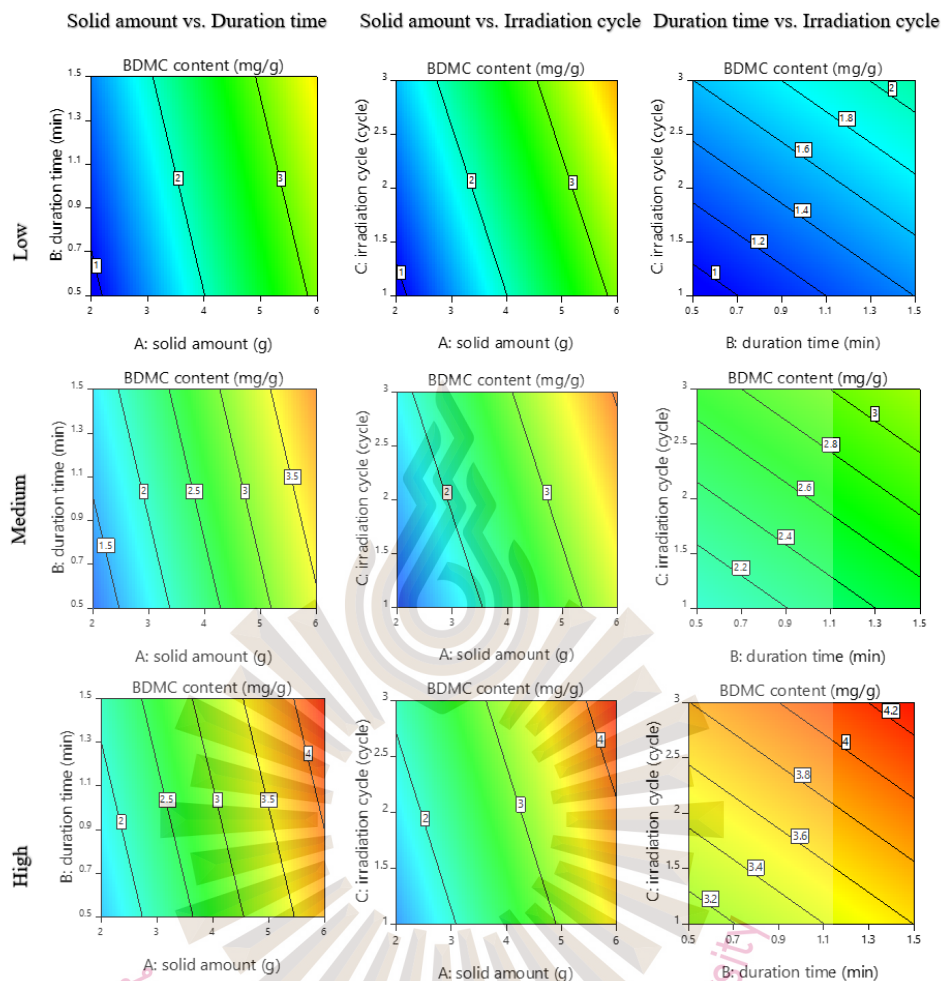
ผงขมิ้นชันมาก และใช้ระยะเวลานานทำให้ได้ปริมาณสารสูง เมื่อใช้จำนวนรอบมากขึ้นปริมาณสารก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน คอลัมน์กลางของแต่ละรูปแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมาก และใช้จำนวนรอบมากทำให้ได้ปริมาณสารสูง เมื่อใช้ระยะเวลามากขึ้นปริมาณสารก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน คอลัมน์สุดท้ายของแต่ละรูปแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลานาน และใช้จำนวนรอบมาก ทำให้ได้ปริมาณสารสูง เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมากขึ้นปริมาณสารก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมาก ระยะเวลานาน และจำนวนรอบมาก ทำให้ได้ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์รวมสูงที่สุด

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าในการทำนาย และค่าการทดลองจริง อยู่ในระดับปานกลาง ถึงระดับสูง เนื่องจากผลของค่า R^2 ค่อนข้างสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ผลจากการทดลองพบว่าค่าในการทำนายมีความน่าเชื่อถือ และมีความแม่นยำสูง (Monton et al., 2019a, 2019b; Monton, Settharaksa, Luprasong, & Songsak, 2019; Monton, Wunnakup, Suksaeree, Charoenchai, & Chankana, 2020).

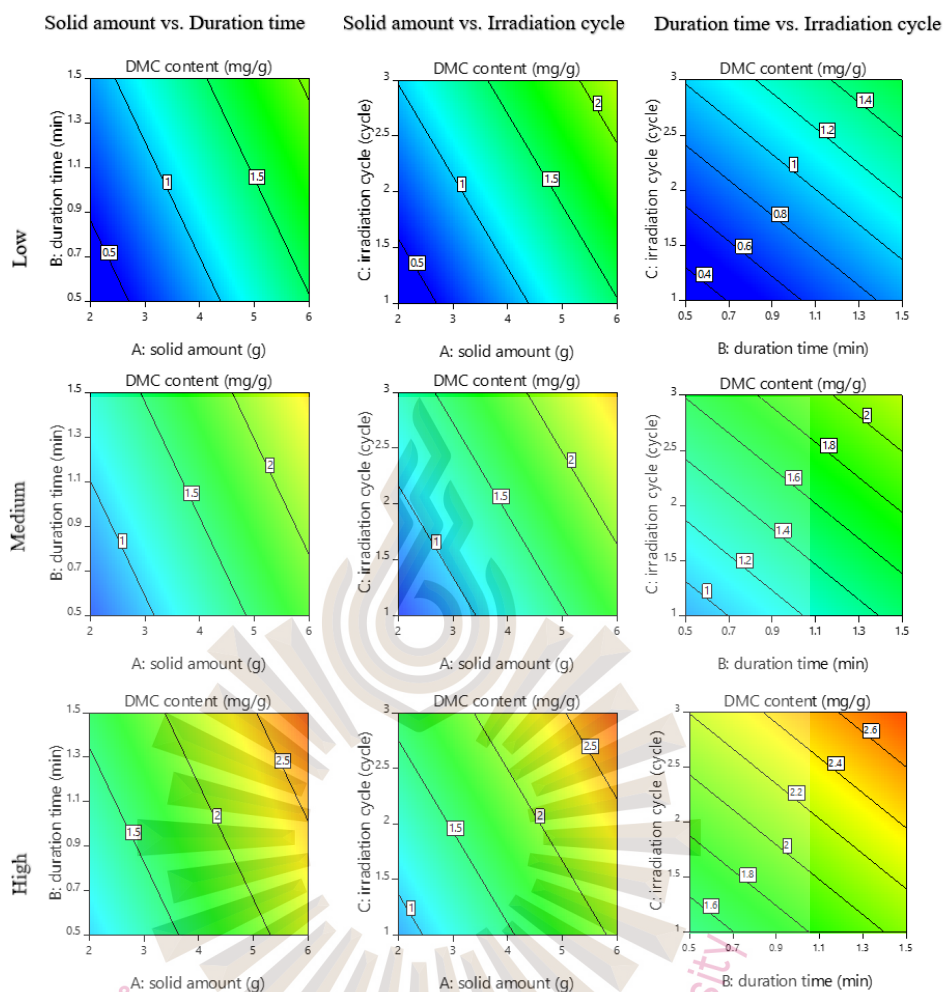
ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมาก ระยะเวลานาน และจำนวนรอบมาก ส่งผลดีต่อการตอบสนองในการสกัดสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์รวมจึงทำให้ได้ปริมาณสารสูง ในขณะที่การใช้ปริมาณผงขมิ้นชันนั้นส่งผลต่อปริมาณผลผลิต เพราะผงขมิ้นชันจะดูดซับน้ำมันเข้าไป ทำให้เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมากจึงได้ปริมาณผลผลิตน้อยนั่นเอง



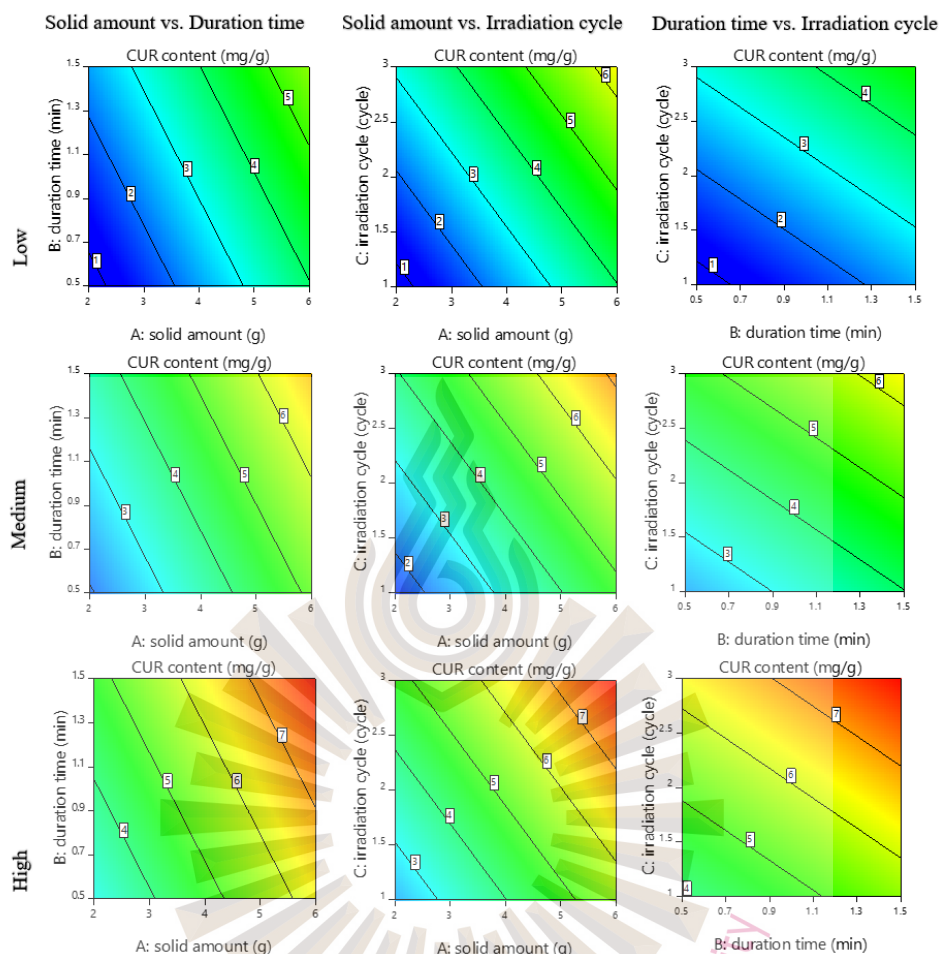
รูปที่ 4.4 Contour plots ของปริมาณผลผลิตโดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรก
เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงมันชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่าง
ปริมาณผงมันชัน และจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา
และจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน)
กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)



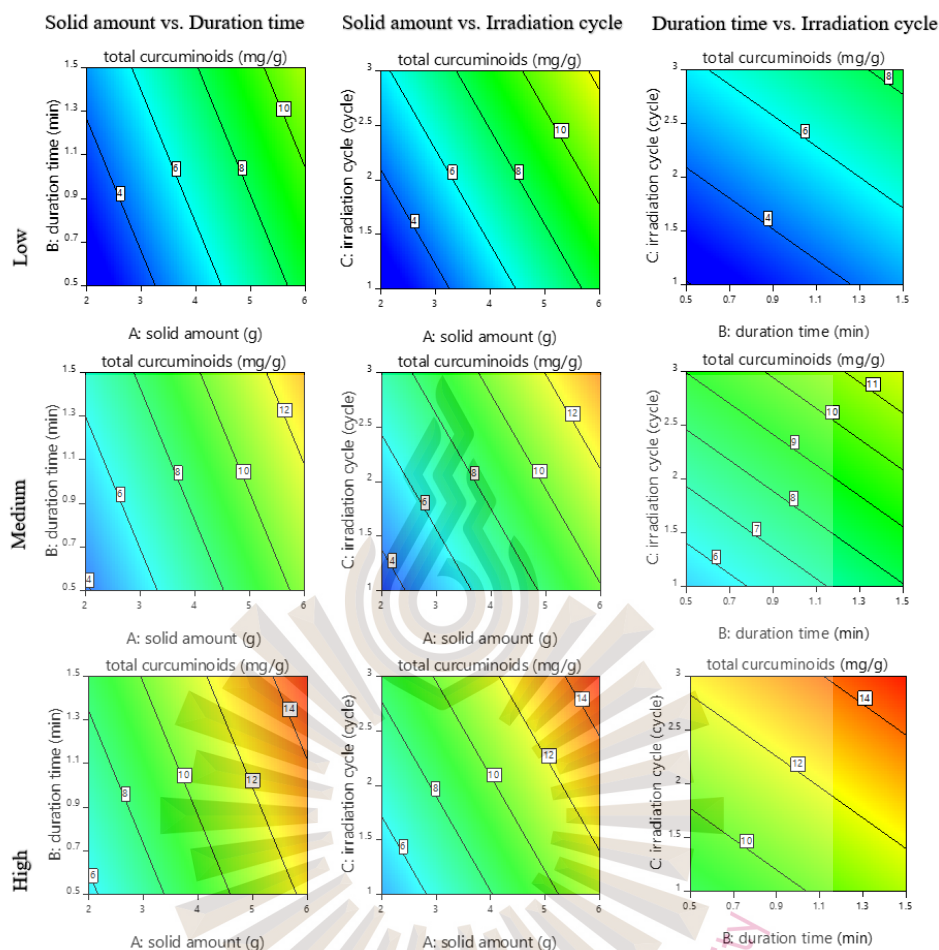
รูปที่ 4.5 Contour plots ของปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชัน และจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา และจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)



รูปที่ 4.6 Contour plots ของปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน
 คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบ
 ระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่าง
 ระยะเวลาและจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ
 ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)

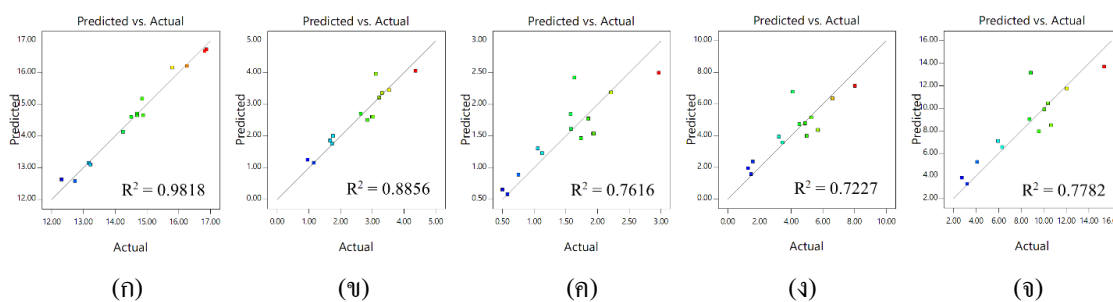


รูปที่ 4.7 Contour plots ของปริมาณสารเคอร์คูมิน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรก
เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณ
ผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาและจำนวน
รอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง)
และสูง (แถวล่าง)



รูปที่ 4.8 Contour plots ของปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวม โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่แตกต่างกัน คอลัมน์แรกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและระยะเวลา คอลัมน์ที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณผงขมิ้นชันและจำนวนรอบ และคอลัมน์สุดท้ายเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาและจำนวนรอบ โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ (แถวบน) กลาง (แถวกลาง) และสูง (แถวล่าง)

*จากรูป contour plots ค่าที่อยู่บริเวณสีน้ำเงินแสดงถึงปริมาณผลที่ให้ค่าน้อย และค่าที่อยู่บริเวณสีแดงแสดงถึงปริมาณผลที่ให้ค่ามาก



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทำนาย (predicted value) และค่าจากการทดลองจริง (actual value) ของ (ก) ปริมาณผลผลิต, (ข) ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ค) ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ง) ปริมาณสารเคอร์คูมิน และ (จ) ปริมาณเคอร์คูมินโดยรวม

จากผลการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่า การใช้ปริมาณผงขมิ้นชันมาก และระยะเวลาานส่งผลให้การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันด้วยไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูง (Dandekar & Gaikar, 2002; Singh, Simapaisan, & Utama-ang, 2017) รายงานว่าที่กำลังไฟ 800 วัตต์ มีการเพิ่มเวลาในการสกัดด้วยไมโครเวฟจาก 1 นาที เป็น 3 นาที จะทำให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นจาก 3 นาที เป็น 5 นาที ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์มีปริมาณลดลง ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เวลาในการสกัดด้วยไมโครเวฟนาน ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชเสื่อมสลาย มีการศึกษาผลของปริมาณผงขมิ้นชัน พบว่าการเพิ่มปริมาณผงขมิ้นชันจาก 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2.0 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ให้สูงขึ้น Lateh, Yuenyongsawad, Chen, and Panichayupakaranant (2019) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงขมิ้นชันจาก 1 กรัม เป็น 2.5 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร ได้ปริมาณผลผลิตลดลง ในขณะที่ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบจาก 1 รอบ เป็น 4 รอบ ไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ในขณะที่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบจาก 1 รอบ เป็น 3 รอบ ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มจำนวนรอบจาก 3 รอบ เป็น 4 รอบ ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์รวมลดลง Sae-Lim, Yuenyongsawad, and Panichayupakaranant (2019) รายงานว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงขมิ้นชันในตัวอย่างน้ำมันจาก 10 กรัม เป็น 100 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลง และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ปริมาณผงพืชส่งผลกระทบต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารในพืชกับตัวทำละลาย การใช้ปริมาณผงพืชมากทำให้เกิดความเข้มข้นสูงส่งผลต่อการละลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชไปยังตัวทำละลาย จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟสามารถเพิ่ม

ปริมาณผลผลิต และปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ได้ ดังนั้นการปรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัด จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้ปริมาณผลผลิต และปริมาณสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชสูง

สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงสุดตามที่โปรแกรมได้ทำนายไว้ คือ ปริมาณผงขมิ้นชันในตัวทำละลายน้ำมัน 6 กรัม ต่อ น้ำมัน 20 กรัม ระยะเวลา 1.5 นาที และ จำนวนรอบ 3 รอบ ค่าความพึงพอใจ (desirability) ของสภาวะนี้คือ 0.973 ความแม่นยำในการทำนายโดยโปรแกรมนี้ได้รับการยืนยันจากค่าการทดลองสกัดสารจากขมิ้นชันโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการทำนายโดยโปรแกรม และค่าการทดลองจริง ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าการทำนายของโปรแกรมมีความแม่นยำ และน่าเชื่อถือ (Monton et al., 2019a, 2019b; Monton et al., 2019; Monton, Wunnakup, Suksaeree, Charoenchai, & Chankana, 2020)

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าจากการทำนาย ค่าการทดลองจริง และความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

การตอบสนอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ร้อยละความคลาดเคลื่อน*
Production yield (%)	66.90	66.10 ± 1.80	-1.21
BDMC content (mg/g)	4.3	4.37 ± 0.08	1.49
DMC content (mg/g)	2.78	2.97 ± 0.05	6.34
CUR content (mg/g)	7.95	8.03 ± 0.16	1.02
Total curcuminoids content (mg/g)	15.04	15.37 ± 0.28	2.18

* ความคลาดเคลื่อน = (ค่าจากการทดลอง - ค่าจากการทำนาย) × 100 / ค่าจากการทดลอง

4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดด้วยไมโครเวฟ โดยใช้น้ำมันทั้ง 11 ชนิดเป็นตัวทำละลาย

นำสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากผงขมิ้นชันโดยใช้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลายมาใช้เป็นสภาวะในการเปรียบเทียบกับตัวทำละลายน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ ในตารางที่ 4.4 แสดงค่าปริมาณผลผลิต และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดจากผงขมิ้นชันโดยใช้น้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าน้ำมันพืชเกือบทุกชนิดให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น โดยน้ำมันอัลมอนด์ และน้ำมันงา ให้ปริมาณผลผลิตสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) น้ำมันละหุ่งสกัดเย็นให้ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ให้ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารเคอร์คูมินอยด์รวมค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น ในขณะที่น้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ ให้ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน เคอร์คูมิน และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์รวมต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันละหุ่งสกัดเย็นให้ปริมาณผลผลิต และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด ซึ่งโครมาโทแกรมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูปภาคผนวกที่ 14 - 16

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าจากการสกัดโดยใช้น้ำมันทั้ง 11 ชนิดเป็นตัวทำละลาย ชนิดของน้ำมันที่ให้ค่าปริมาณผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือน้ำมันอัลมอนด์ โดยมีค่าเท่ากับ 14.47 ± 0.45 กรัม ให้ค่าสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น โดยมีค่าเท่ากับ 4.83 ± 0.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ให้ค่าดีเมทอกซีเคอร์คูมินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น โดยมีค่าเท่ากับ 3.06 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ให้ค่าเคอร์คูมินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น โดยมีค่าเท่ากับ 9.38 ± 0.52 มิลลิกรัมต่อกรัม และให้ค่าเคอร์คูมินอยด์รวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น โดยมีค่าเท่ากับ 17.27 ± 0.99 มิลลิกรัมต่อกรัม จากนั้นจึงคัดเลือกชนิดของน้ำมันที่ให้ผลสอดคล้องกันทั้งด้านปริมาณผลผลิต และปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงสุด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น, น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น เพื่อนำไปศึกษาความคงตัวของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ต่อไป

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาณผลผลิต และปริมาณสารกลุ่มเทอร์พีนอยด์ที่สกัดในตัวอย่างน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	ผลผลิต		p-value	ปริมาณเทอร์พีนอยด์ (mg/g)							
	g	%		BDMC	p-value	DMC	p-value	CUR	p-value	Total	p-value
น้ำมันอัลมอนต์	14.47 ± 0.45	72.33 ± 2.26	0.022*	3.09 ± 0.17	0.003*	2.30 ± 0.09	0.001*	7.76 ± 0.33	0.003*	13.15 ± 0.57	0.002*
น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น	13.68 ± 0.87	68.40 ± 4.33	0.268	4.83 ± 0.29	0.016*	3.06 ± 0.19	0.202	9.38 ± 0.52	0.898	17.27 ± 0.99	0.184
น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น	12.90 ± 0.59	64.52 ± 2.94	-	4.03 ± 0.20	-	2.88 ± 0.09	-	9.33 ± 0.29	-	16.23 ± 0.54	-
น้ำมันมะกอก	13.16 ± 0.61	65.80 ± 3.05	0.628	3.23 ± 0.25	0.012*	2.50 ± 0.12	0.013*	8.55 ± 0.27	.027*	14.27 ± 0.62	0.015*
น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี	12.34 ± 0.61	61.70 ± 3.07	0.315	2.95 ± 0.26	0.004*	2.29 ± 0.09	0.001*	7.84 ± 0.13	0.001*	13.09 ± 0.47	0.002*
น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น	13.87 ± 0.58	69.35 ± 2.92	0.114	3.17 ± 0.06	0.002*	2.39 ± 0.05	0.001*	8.01 ± 0.18	0.003*	13.57 ± 0.29	0.002*
น้ำมันรำข้าว	13.59 ± 0.70	67.95 ± 3.49	0.263	3.22 ± 0.16	0.005*	2.46 ± 0.09	0.006*	8.28 ± 0.22	0.007*	13.97 ± 0.47	0.006*
น้ำมันงา	14.46 ± 0.23	72.28 ± 1.15	0.013*	3.40 ± 0.16	0.012*	2.44 ± 0.13	0.010*	7.99 ± 0.45	0.012*	13.83 ± 0.74	0.010*
น้ำมันงาสกัดเย็น	13.56 ± 0.97	67.82 ± 4.83	0.369	3.47 ± 0.10	0.011*	2.52 ± 0.11	0.012*	8.27 ± 0.40	0.020*	14.26 ± 0.60	0.013*
น้ำมันดอกทานตะวัน	13.23 ± 0.62	66.15 ± 3.12	0.545	2.69 ± 0.05	< 0.0001*	2.08 ± 0.02	< 0.0001*	7.21 ± 0.09	< 0.0001*	11.98 ± 0.12	< 0.0001*
น้ำมันดอกทานตะวันอินทรีย์	13.63 ± 0.76	68.15 ± 3.79	0.26	3.04 ± 0.26	0.006*	2.32 ± 0.11	0.003*	7.92 ± 0.21	0.002*	13.28 ± 0.57	0.003*

* ค่าที่มีนัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น

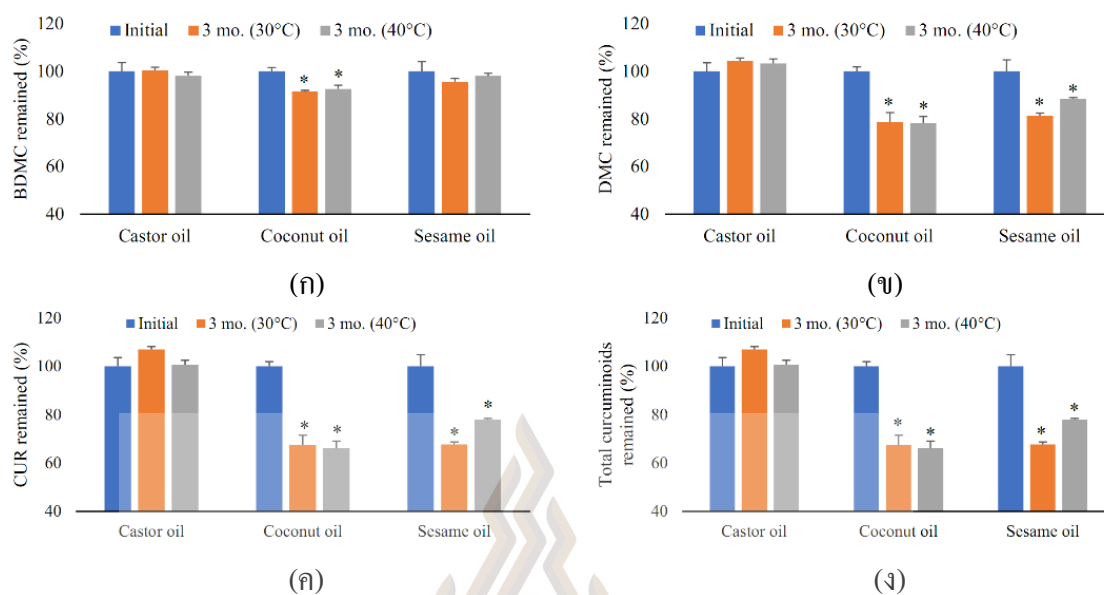
ใช้สภาวะ ปริมาณผงขมิ้นชัน 6 กรัม ต่อน้ำมันพืช 20 กรัม

ระยะเวลา 1.5 นาที

จำนวนรอบ 3 รอบ (เว้นพัก 30 วินาทีต่อรอบ)

4.4 ความคงตัวของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น

การศึกษาความคงตัวนี้เลือกทดสอบเฉพาะน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น เนื่องจากมีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามจากตาราง 4.4 พบว่าน้ำมันมะกอก มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันงาสกัดเย็น แต่น้ำมันงาสกัดเย็นสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย ในขณะที่น้ำมันมะกอกเป็นสินค้านำเข้า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกทดสอบความคงตัวในน้ำมันงาสกัดเย็นทดแทนการใช้้ำมันมะกอก ผลการศึกษาความคงตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวทำละลายน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น โดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ และ 40 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าสารสกัดจากขมิ้นชันคงตัวในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็นสูงที่สุดในขณะที่การใช้้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น ทำให้สารไม่คงตัว สารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินคงตัวในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น แต่สารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน สารเคอร์คูมิน และสารเคอร์คูมินอยด์รวมไม่คงตัว อาจเพราะสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินมีความเสถียรสูงกว่าสารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน และสารเคอร์คูมิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของหมู่ เมทอกซี ซึ่งในสารเคอร์คูมินประกอบด้วยหมู่เมทอกซี 2 หมู่ สารดีเมทอกซีเคอร์คูมินประกอบด้วยหมู่เมทอกซี 1 หมู่ ส่วนสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินไม่มีหมู่เมทอกซีในโครงสร้าง (Monton et al., 2016) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Peram, Jalalpure, Palkar, & Diwan, 2017) ที่รายงานว่าการมีหมู่เมทอกซี ส่งผลเสียต่อความคงตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันบางชนิดภายใต้สภาวะความเครียด นอกจากนี้ น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีกรดไขมัน ปริมาณ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน (Sae-Lim et al., 2019) ซึ่งส่งผลต่อความคงตัวของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.10 ความคงตัวของ (ก) สารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ข) สารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน, (ค) สารเคอร์คูมิน และ (ง) สารเคอร์คูมินอยด์รวม ที่ละลายในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์

* แสดงถึงค่าที่มีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้นของน้ำมันแต่ละชนิด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะ และตัวทำละลายน้ำมันพืชที่เหมาะสมในการสกัดสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันอินทรีย์ด้วยไมโครเวฟ เพื่อให้ได้ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงสุด จึงทำการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยปรับเปลี่ยนปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ ปริมาณผงขมิ้นชัน ระยะเวลา และจำนวนรอบในการสกัดที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตสารเคอร์คูมินอยด์ จากการทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลาย พบว่า เมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันสูง ระยะเวลาสั้น และจำนวนรอบสูง ให้ค่าปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูง แต่ให้ปริมาณผลผลิตต่ำ และเมื่อใช้ปริมาณผงขมิ้นชันต่ำ ระยะเวลาสั้น และจำนวนรอบสูง ให้ค่าสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูง และให้ปริมาณผลผลิตสูง จึงได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ ปริมาณผงขมิ้นชัน 6 กรัม ในน้ำมันมะพร้าว 20 กรัม ระยะเวลา 1.5 นาที และสกัด 3 รอบ สภาวะนี้ให้ปริมาณผลผลิต 12.90 ± 0.59 กรัม ปริมาณบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน 4.03 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณดีเมทอกซีเคอร์คูมิน 2.88 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณเคอร์คูมิน 9.33 ± 0.29 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวม 16.23 ± 0.54 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนาย พบว่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำ จึงถือเป็นการทำนายมีความแม่นยำสูง จากนั้นใช้สภาวะที่เหมาะสมนี้เพื่อสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยน้ำมันพืช 11 ชนิด พบว่า น้ำมันละหุ่งสกัดเย็นให้ค่าปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด โดยให้ปริมาณผลผลิต 13.68 ± 0.87 กรัม ปริมาณบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน 4.83 ± 0.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณดีเมทอกซีเคอร์คูมิน 3.06 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณเคอร์คูมิน 9.38 ± 0.52 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวม 17.27 ± 0.99 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยน้ำมันอัลมอนด์ และน้ำมันงา ให้ค่าปริมาณผลผลิตสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น ขณะที่น้ำมันละหุ่งสกัดเย็นให้ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูงที่สุด และจากการศึกษาความคงตัวของสาร พบว่า สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์มีความคงตัวเมื่ออยู่ในน้ำมันละหุ่งสกัดเย็น เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75

เปอร์เซ็นต์ และ 40 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 เดือน ในขณะที่ไม่คงตัวในน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และน้ำมันงาสกัดเย็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์จากขมิ้นชัน เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ขมิ้นชัน และเป็นวิธีที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ง่าย เพื่อผลิตเป็นสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันพร้อมใช้ เพื่อใช้ต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

แนวทางการศึกษาต่อยอดงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาชนิด และปริมาณกรดไขมัน และองค์ประกอบอื่น ๆ ของตัวทำละลายน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัด และความคงตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในการนำไปศึกษาเพิ่มเติม หรือนำแผนการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการสกัดสมุนไพรชนิดอื่น ๆ ต่อไป



บรรณานุกรม

- กาญจนา ชิงห์, และนิรมล อุดมอ่าง. (2558, กุมภาพันธ์). ผลของการใช้ไมโครเวฟต่อการสกัดเคอคูมินอย์จากขมิ้นชัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ. (2561). *Thai Herbal Pharmacopoeia 2019*. Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand.
- คณะกรรมการแห่งชาติด้านยา. (2551). บัญชียาจากสมุนไพร พ.ศ. 2549 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- จันทร์เพ็ญ โคตรภูธร. (2559). การสกัดสารฟลาโวนอยด์ จากพืชสมุนไพรและด้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบจากเพกา (Master's thesis). สืบค้นจาก http://digital_collect.lib.buu.ac.th/
- ชนัญ ผลประไพ, ศรีณยู อุ๋นทวี, จุฑามาส สุขหอม, และภาณุวัฒน์ ทองสอง. (2562). อิทธิพลของวิธีการสกัดต่อผลได้การสกัดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพืชสมุนไพรไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 8(5), 493-508.
- ชัชวาลย์ ช่างทำ. (2558). คุณประโยชน์และฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายของสมุนไพรขมิ้นชัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 1(2), 94-109.
- ชุดิมา ลิ้มมัททาภิรัตน์, และสนทยา ลิ้มมัททาภิรัตน์. (2555). การสกัดพืชสมุนไพรโดยการสกัดด้วยของไหลความดันสูง. วารสารไทยเภสัชวิทยนิพนธ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 7(1), 1-21.
- โชติอนันต์ และคณะ. (2551). สมุนไพรไทย สำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิง.
- ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. (2557). ผลของอุณหภูมิในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงด้วยวิธีพื้นผิวดูดซับ. วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต, 7(3), 45-60.
- เต็ม สมิตินันท์. (2544). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2544) (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ไทรวุฒิ พันธุ์โยธา, วรางคณา ศรีจันทร์, ชลัท ศานติวรางคณา, นัฐพล ตั้งสุภูมิ, และอุทัยวรรณ สุทธิสันสนีย์. (2557). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสารสกัดใบแปะตำปึง โดยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว. สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(2), 17-20.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ทรงพล สมศรี. (2557). ความสำคัญของแหล่งพันธุกรรมพืชในประเทศไทยและอาเซียนต่อการพัฒนาประเทศ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. วารสารทางวิชาการของสมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย, 7(1), 1-6.
- บดินทร์ ใจจันทร์, เอกพันธ์ จำปา, เฟลีน จันทรสุยะ, และจิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร. (2559). การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 1(1), 16-24.
- บุญหงษ์ จงกิด. (2553). สายพันธุ์ขมิ้นชันผลผลิตสูง TU 04-9-1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 18(4), 24-37.
- พริยะ ตระกูลสว่าง. (2560). ลำต้นใต้ดิน. สืบค้นจาก <http://homeroom.kruchamp.com/?p=236>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และสาทิพย์ รัตนภาสกร. (2555). รายงานการวิจัยการพัฒนาระบบการผลิตต้นแบบชาสมุนไพรคุณภาพสูง ในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. สืบค้นจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.).
- เพ็ญศรี เพ็ญประไพ, ธนากรณ์ คำสุด, และชุติมา จันทรรัตน์. (2561). รายงานการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นชันบรรจุแคปซูลเจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- พรพรรณ ธีระมนต์, และรัตติยา แวนนุกูล. (2563). การใช้กลิ่นอัลตราซาวด์ร่วมกับตัวทำละลายในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเหง้าว่านนางคำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 22(1), 40-44.
- พรณทิพย์ แสงสุขเอี่ยม, และราตรี ชูยศิริ. (2558, มีนาคม). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชัน โดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- มณฑิรา ภูติวรนาถ, พรณพิมล สุริยะพรหมชัย, ประนอม ใจอ้าย, สุภาพ มนุษย์สม, และเสรี ทรงศักดิ์. (2550). วิจัยอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในการผลิตวัตถุดิบขมิ้นชัน. เชียงใหม่: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2562). รายงานการวิจัยเรื่อง โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมยาทางชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ บทที่ 61 รายละเอียดข้อมูลยาทางชีวภาพสารสกัดจากขมิ้นชัน (*Curcumin*). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วิกิพีเดีย. (2562ก). ขมิ้นชัน. สืบค้น 14 กุมภาพันธ์, 2564, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ขมิ้นชัน>
- วิกิพีเดีย. (2562ข). น้ำมันหอมระเหย. สืบค้น 14 กุมภาพันธ์, 2564, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/น้ำมันหอมระเหย>
- วรารณ กิตติพันธ์วรกุล, และมานพ เจริญไชยตระกูล. (2556). การสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญจากบัวบกโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตที่มีตัวทำละลายร่วม (Master's thesis). สืบค้นจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.).
- วิภาวรรณ นิละพงษ์, บุญบา ผลโยธิน, และวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2561). การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรไทย: การสกัดด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยตัวทำละลาย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28(4), 901-910.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. (2554). *High Performance Liquid Chromatography (HPLC)*. สืบค้นจาก http://science.skru.ac.th/ShowToolCame.php?id_skru=skru1234567890
- สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, และอาทิตย์ รัสสีสันตวานนท์. (2546). การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 11(2), 37-42.
- สถาบันการแพทย์แผนไทย. (2540). ยาสมุนไพรสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. นนทบุรี: สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- สถาบันการแพทย์แผนไทย. (2542). สมุนไพรกับวัฒนธรรมไทย ตอนที่ 2 ไม่รู้รู้ (พิมพ์ครั้งที่ 3). นนทบุรี: สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- สิงห์คำ ธิมา, ประสิทธิ์ ชนรัตน์, ชฎารัตน์ ดวงรัตน์, พรงาม ลิ้มตระกูล, และทรงยศ อนุชปรีดา. (2551). ผลของเคอร์คิวมิน, ดีเมตทอกซีเคอร์คิวมิน และปีดีเมตทอกซีเคอร์คิวมินต่อการยับยั้งการแสดงออกของยีน และการผลิตโปรตีนวิล์มทูเมอร์วันในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเพาะเลี้ยงชนิดต่างๆ. วารสารสงขลานครินทร์เวชสาร, 26(1), 1-13.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สุขสรรค์ ตันศิริ, วราวุธ ชนะมูล, และวิชัย เสริมผล. (2563). สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูดด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(11), 1944-1965.
- สุนทรี สิงหนุตตรา. (2536). *สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด*. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- โสมนัส ศิริจารุกุล. (2550). *การศึกษาประสิทธิภาพและผลข้างเคียงของขมิ้นชันเปรียบเทียบกับยา ranitidine ในผู้ป่วย uninvestigated dyspepsia* (Master's thesis). สืบค้นจาก <http://www.sure.su.ac.th/>
- หัตยา ซาหอม. (2559). *การเตรียมเคอร์คิวมินอยด์ผงด้วยเทคนิคการห่อหุ้มระดับนาโน เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง* (Master's thesis). สืบค้นจาก <http://library.rsu.ac.th/>
- อาณัติ ดีพัฒนา, อาลักษณ์ ทิพย์รัตน์, ณัฐฉิณี ชีรกุลกิตติพงศ์, และนพพล วีระนพรัตน์. (2563). รายงานการวิจัยเรื่องโครงการ นวัตกรรมมาสค์พืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ทางยาอย่างต่อเนื่อง ประสิทธิภาพสูงและได้มาตรฐานการผลิตทางเภสัชกรรมด้วยระบบบิวเทน ภายใต้ความดันสูงร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- Abida, Y., Tabassum F., Zaman S., Chhabi S.B., & Islam N. (2010). Biological screening of *Curcuma longa* L. for insecticidal and repellent potentials against *Tribolium castaneum* (Herbst) adults. *University Journal of Zoology Rajshahi University*, 28, 69-71.
- Afoakwah, A. N., Owusu, J., Adomako, C., & Teye, E. (2012). Microwave Assisted Extraction (MAE) of antioxidant constituents in plant materials. *Global Journal of Bio-Science & Biotechnology*, 1(2), 132-140.
- Aggarwal, B.B., Kumar, A., Aggarwal, M.S., & Shishodia, S. (2004). *Curcumin derived from turmeric (Curcuma longa) A Spice for seasons*. Retrieved from <http://www.agrawal.org/PDF/curcumin-season-BW1.pdf>
- Ahmad, Z.A., Yusoff, Z.B., Awang, A.F., Nor, M.A., Zait, M.S., Roslan, M.H., & Zaid, M.Z. (2015). Hydeo-distillation process in extracting of agarwood essential oil. In *Proceedings Technology and Innovation National Conference* (pp. 203-211). Kuching, Sarawak, Malaysia: Hilton Hotel, Kuching.
- Alupului, A., Călinescu, I., & Lavric, V. (2012). Microwave extraction of active principles from medicinal plants. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series B*, 74(2), 129-142.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Arct, J., Ratz-Lyko, A., Mieloch, M., & Witulska, M. (2014). Evaluation of skin colouring properties of *Curcuma longa* extract. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 76(4), 374-378.
- Azmir, J., Zaidul, I.S., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena, F., . . . Omar, A.K. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436.
- 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.
- Başpınar, Y., Üstündağ, M., Bayraktar, O., & Sezgin, C. (2018). Response surface methodology for extraction of curcumin from turmeric and piperine from black pepper. *Celal Bayar University Journal of Science*, 13(3), 747-754.
- Bhavani, S., & Sreenivasa, M. (1979). Effect of turmeric (*Curcuma longa*) fractions on the growth of some intestinal & pathogenic bacteria in vitro. *Indian Journal of Experimental Biology*, 17(12), 1363-1366.
- Binello, A., Grillo, G., Barge, A., Allegrini, P., Ciceri, D., & Cravotto, G. (2020). A cross-flow ultrasound-assisted extraction of curcuminoids from *Curcuma longa* L.: Process design to avoid degradation. *Foods*, 9(6), 743. doi:10.3390/foods9060743
- Box, G. E. P., & Behnken, D. W. (1960). Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 2(4), 455-475.
- Brian, W.R. (1994). *Microwave assisted extraction*. Retrieved from <http://www.cem.de/documents/pdf/re/re014.pdf>
- Chan, C. H., Yusoff, R., Ngoh, G. C., & Kung, F. W. L. (2011). Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, 1218(37), 6213-6225.
- Chassagnez-Méndez, A. L., Corrêa, N. C. F., França, L. F., Machado, N. T., & Araújo, M. E. (2000). A mass transfer model applied to the supercritical extraction with CO₂ of curcumins from turmeric rhizomes (*Curcuma longa* L). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 17(3), 315-322.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Cosmetic Ingredient Review Expert Panel. (2006). Amended final report on the safety assessment of *Oryza sativa* (rice) bran oil, *Oryza sativa* (rice) germ oil, rice bran acid, *Oryza sativa* (rice) bran wax, hydrogenated rice bran wax, *Oryza sativa* (rice) bran extract, *Oryza sativa* (rice) extract, *Oryza sativa* (rice) germ powder, *Oryza sativa* (rice) starch, *Oryza sativa* (rice) bran, hydrolyzed rice bran extract, hydrolyzed rice bran protein, hydrolyzed rice extract, and hydrolyzed rice protein. *International Journal of Toxicology*, 25(2), 91-120. doi:10.1080/10915810600964626
- Daily, J. W., Yang, M., & Park, S. (2016). Efficacy of turmeric extracts and curcumin for alleviating the symptoms of joint arthritis: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Journal of Medicinal Food*, 19(8), 717-729. doi:10.1089/jmf.2016.3705
- Damalas, C.A. (2011). Potential uses of turmeric (*Curcuma longa*) products as alternative means of pest management in crop production. *Plant Omics Journal*, 4(3), 136–141.
- Dandekar, D. V., & Gaikar, V. G. (2002). Microwave assisted extraction of curcuminoids from *Curcuma longa*. *Separation Science and Technology*, 37(11), 2669-2690. doi:10.1081/SS-120004458
- Department of Medical Sciences. (2019). *Thai Herbal Pharmacopoeia 2019*. Thailand: Bureau of Drug and Narcotic, Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health.
- Demirdoven, A., Ozdogan K., & Erdogan-Tokatli K. (2015). Extraction of anthocyanins from red cabbage by ultrasonic and conventional methods: optimization and evaluation. *Journal of Food Biochemistry*, 39(5), 491-500.
- Devkota, L., & Rajbhandari, M. (2015). Composition of essential oils in turmeric rhizome. *Nepal Journal of Science and Technology*, 16(1), 87–94. doi:10.3126/NJST.V16I1.14361
- Gonçalves, G.M.S., Silva, G.H.d., Barros, P.P., Srebernick, S.M., Shiraishi, C.T.C., Camargos, V. R.d., & Lasca, T.B. (2014). Use of *Curcuma longa* in cosmetics: extraction of curcuminoid pigments, development of formulations, and in vitro skin permeation studies. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50(4), 885-893. doi:10.1590/S1984-82502014000400024

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gude, V.G., Patil, P., Martinez-Guerra, E., Deng, S., & Nirmalakhandan, N. (2013). Microwave energy potential for biodiesel production. *Sustainable Chemical Processes*, 1(5), 1-31.
- Gupta, A., Mahajan, S., & Sharma, R. (2015). Evaluation of antimicrobial activity of *Curcuma longa* rhizome extract against *Staphylococcus aureus*. *Biotechnology Reports*, 6, 51–55. doi:10.1016/j.btre.2015.02.001
- Handa, S.S., Khanuja, S.P.S., Longo, G., & Rakesh, D.D. (2008). *Extraction technologies for medicinal and aromatic plants*. Retrieved from https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Publications/Pub_free/Extraction_technologies_for_medicinal_and_aromatic_plants.pdf
- Hewlings, S.J., & Kalman, D.S. (2017). Curcumin: A review of its' effects on human health. *Foods*, 6(10), 92. doi:10.3390/foods6100092
- Kaufmann, B., & Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurized solvent extraction. *Phytochemical Analysis Journal*, 13(2), 105-113.
- Kaur, C. D., & Saraf, S. (2011). Topical vesicular formulations of *Curcuma longa* extract on recuperating the ultraviolet radiation–damaged skin. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 10(4), 260-265. doi:10.1111/j.1473-2165.2011.00586.x
- Kongkaneramt, L., Aiemsun-ang, P., & Kewsuwan, P. (2016). Development of curcumin liposome formulations using polyol dilution method. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 38(6), 605-610.
- Lateh, L., Yuenyongsawad, S., Chen, H., & Panichayupakaranant, P. (2019). A green method for preparation of curcuminoid-rich *Curcuma longa* extract and evaluation of its anticancer activity. *Pharmacognosy Magazine*, 15(65), 730- 735. doi:10.4103/pm.pm_162_19
- Lobo, R., Prabhu, K., Shirwaikar, A., Shirwaikar, A., & Ballal, M. (2011). Formulation and evaluation of antiseptic activity of the herbal cream containing *Curcuma longa* and tea tree oil. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 1(1), 27-32. doi:10.1080/22311866.2011.10719070

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Lopez-Avila, V., & Luque de Castro, M.D. (2014). Microwave-assisted extraction. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11172-2>
- Mandal, V., Dewanjee, S., Sahu, R., & Mandal, S.C. (2009). Design and optimization of ultrasound assisted extraction of curcumin as an effective alternative for conventional solid liquid extraction of natural products. *Natural Product Communications*, 4(1), 95-100.
- Montgomery, D.C. (2001). *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Monton, C., Charoenchai, L., Suksaeree, J., & Sueree, L. (2016). Quantitation of curcuminoid contents, dissolution profile, and volatile oil content of turmeric capsules produced at some secondary government hospitals. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24(3), 493-499. doi:10.1016/j.jfda.2016.01.007
- Monton, C., Chuanchom, P., Popanit, P., Settharaksa, S., & Pathompak, P. (2021). Simplex lattice design for optimization of the mass ratio of *Curcuma longa* L., *Curcuma zedoaria* (Christm) Roscoe and *Curcuma aromatica* Salisb. to maximize curcuminoids content and antioxidant activity. *Acta Pharmaceutica*, 71(3), 445-457. doi:10.2478/acph-2021-0024
- Monton, C., Luprasong, C., & Charoenchai, L. (2019a). Acceleration of turmeric drying using convection and microwave-assisted drying technique: An optimization approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), e14096. doi:10.1111/jfpp.14096
- Monton, C., Luprasong, C., & Charoenchai, L. (2019b). Convection combined microwave drying affect quality of volatile oil compositions and quantity of curcuminoids of turmeric raw material. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(4), 434-440.
 doi:10.1016/j.bjp.2019.04.006

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Monton, C., Settharaksa, S., Luprasong, C., & Songsak, T. (2019). An optimization approach of dynamic maceration of *Centella asiatica* to obtain the highest content of four centelloids by response surface methodology. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(2), 254-261. doi:10.1016/j.bjp.2019.01.001
- Monton, C., Wunnakup, T., Suksaeree, J., Charoenchai, L., & Chankana, N. (2020). Investigation of the interaction of herbal ingredients contained in Triphala recipe using simplex lattice design: Chemical analysis point of view. *International Journal of Food Science*, 20(20), 1-14. doi:10.1155/2020/5104624
- Naidu, M.M., Shyamala, B.N., Manjunatha, J.R., Sulochanamma, G., & Srinivas, P. (2009). Simple HPLC method for resolution of curcuminoids with antioxidant potential. *Food Science*, 74(4), 312-318.
- Niamsa, N., & Sittiwet, C. (2009). Antimicrobial activity of *Curcuma longa* aqueous extract. *Journal of Pharmacology and Toxicology*, 4(4), 173-177.
- Patel, N.A., Patel, N.J., & Patel, R.P. (2009). Formulation and evaluation of curcumin gel for topical application. *Pharmaceutical Development and Technology*, 14(1), 83-92. doi:10.1080/10837450802409438
- Paulucci, V.P., Couto, R.O., Teixeira, C.C.C., & Freitas, L.A.P. (2013). Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1), 94-100. doi:10.1590/S0102-695X2012005000117
- Peram, M.R., Jalalpure, S.S., Palkar, M.B., & Diwan, P.V. (2017). Stability studies of pure and mixture form of curcuminoids by reverse phase-HPLC method under various experimental stress conditions. *Food Science and Biotechnology*, 26(3), 591-602. doi:10.1007/s10068-017-0087-1
- Perkins, K., Sahy, W., & Beckett, R.D. (2017). Efficacy of *Curcuma* for treatment of osteoarthritis. *Journal of Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 22(1), 156-165. doi:10.1177/2156587216636747

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Revathy, S., Elumala, S., Benny, M., & Antony, B. (2011). Evaluation of curcuminoids in turmeric rhizome (*Curcuma longa* L.) collected from different places in India. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 8(1), 259-264.
- Rodrigues, S., & Pinto, G.A.S. (2007). Ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell powder. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 869-872.
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J., Cook, W.G., & Fenton, M.E. (2012). *Handbook of Pharmaceutical Excipients* (7th ed.). London: Pharmaceutical Press.
- Rungsardthong, V. (2014). *Food processing technology: Using of microwave and infrared radiation*. Bangkok: Text and Journal. (in Thai)
- Sabinsa Corporation. (1988). *Curcuminoids*. USA: Author.
- Sae-Lim, P., Yuenyongsawad, S., & Panichayupakaranant, P. (2019). Chamuangone-enriched *Garcinia cowa* leaf extract with rice bran oil: Extraction and cytotoxic activity against cancer cells. *Pharmacognosy Magazine*, 15(61), 183-188. doi:10.4103/pm.pm_472_18
- Saraf, S., Jeswani, G., Kaur, C. D., & Saraf, S. (2011). Development of novel herbal cosmetic cream with *Curcuma longa* extract loaded transfersomes for antiwrinkle effect. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(8), 1054-1062.
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Yoga Latha, L. (2010). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 8(1), 1-10.
- Sincharoenpokai, P., Lawhavinit, O., Sunthornandh, P., Kongkathip, N., Sutthiprabha, S., & Kongkathip, B. (2009). *Inhibitory effects of Turmeric (Curcuma longa L.) extracts on some human and animal pathogenic bacteria* (Research report). Bangkok: Kasetsart University.
- Singh, K., Simapaisan, P., & Utama-ang, N. (2017). Effect of microwave-assisted extraction on curcuminoid from turmeric and application in germinate-coated rice. *Food and Applied Bioscience Journal*, 5(1), 11-22.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Singh, R.P., & Heldman, D.R. (2001). *Microwave Heating. In Introduction to Food Engineering* (3rd ed.). London: Academic Press.
- Songsak, T. (2016). *Extraction of active chemical constituent of herbal medicinal plant using microwave-assisted extraction technique*. Retrieved from http://ccpe.pharmacycouncil.org.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=79(in Thai).
- Suede, A. (2017). Microwave-assisted extraction of active compounds from medicinal plants. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 11(1), 1-14.
- Tavares, W.D.S., Freitas, S.D.S., Graziotti, G.H., Perente, L.M.L., Lião, L.M., & Zanuncio, J.C. (2013). Ar-turmerone from *Curcuma longa* (Zingiberaceae) rhizomes and effects on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Industrial Crops and Products*, 46, 158–164.
- Terigar, B.G., Balasubramanian, S., & 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.
- The American Oil Chemists' Society. (2018). *Unconventional oils*. Retrieved from <http://www.fao.org/fileadmin/templates/library/pdf/Inform.pdf>
- Ungphaiboon, S., Supavita, T., Singchangchai, P., Sungkarak, S., Rattanasuwan, P., & Itharat, A. (2005). Study on antioxidant and antimicrobial activities of turmeric clear liquid soap for wound treatment of HIV patients. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 27(2), 569-578.
- Valizadeh Kiamahalleh, M., Najafpour-Darzi, G., Rahimnejad, M., Moghadamnia, A.A., & Valizadeh Kiamahalleh, M. (2016). High performance curcumin subcritical water extraction from turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Chromatography B*, 1022, 191-198. doi:10.1016/j.jchromb.2016.04.021
- Veggi, P.C, Martinez, J., & Meireles, M.A.A. (2013). Chapter 2: Fundamentals of microwave extraction. In F. Chemat & G. Cravotto (Eds.), *Microwave-assisted extraction for bioactive compounds: Theory and practice* (pp. 15-52). Massachusetts: Springer US.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Zaman, S.U., & Akhtar, N. (2013). Effect of turmeric (*Curcuma longa* Zingiberaceae) extract cream on human skin sebum secretion. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12(5), 665-669. doi:10.4314/tjpr.v12i5.1
- Zamarioli, C.M., Martins, R.M., Carvalho, E. C., & Freitas, L. A. P. (2015). Nanoparticles containing curcuminoids (*Curcuma longa*): development of topical delivery formulation. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(1), 53-60. doi:10.1016/j.bjp.2014.11.010





ภาคผนวก

ขั้นตอนการคัดเลือกตัวอย่างไขมันชั้นในพื้นที่จังหวัดลพบุรีที่ให้สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์สูง
ที่สุดวิเคราะห์ด้วย HPLC และการสกัดผงไขมันชั้นในน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเพื่อ
หาสภาวะที่เหมาะสม และสกัดผงไขมันชั้นในน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ด้วยไมโครเวฟ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

การเตรียมตัวอย่างมันชัน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การเตรียมตัวอย่างเหง้ามันชันก่อนวิเคราะห์

1.1 การคัดเลือกเหง้ามันชัน

ผู้เก็บตัวอย่างเหง้ามันชันที่ปลูกด้วยระบบอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี โดยคัดเลือกเหง้ามันชันที่มีความสมบูรณ์ จึงได้ตัวอย่างมันชันทั้งสิ้น 22 ตัวอย่างดังนี้

- 1) กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เกษตรผสมผสาน บ้านซับลังกา อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี จำนวน 14 ตัวอย่างให้รหัส S1-S14



รูปภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างมันชันอินทรีย์จากอำเภอลำลูกกา

- 2) กลุ่มวิสาหกิจชุมชน รัศมีสมุนไพร อำเภอลำสนธิ จำนวน 4 ตัวอย่าง ให้รหัส L1-L4



รูปภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างขมิ้นชันอินทรีย์จากอำเภอลำสนธิ

- 3) กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ส่งเสริมผู้เพาะเห็ดอินทรีย์บ้านสวนมะเดื่อ อำเภอพัฒนานิคม จำนวน 3 ตัวอย่าง ให้รหัส P1-P3



รูปภาคผนวกที่ 3 ตัวอย่างขมิ้นชันอินทรีย์จากอำเภอพัฒนานิคม

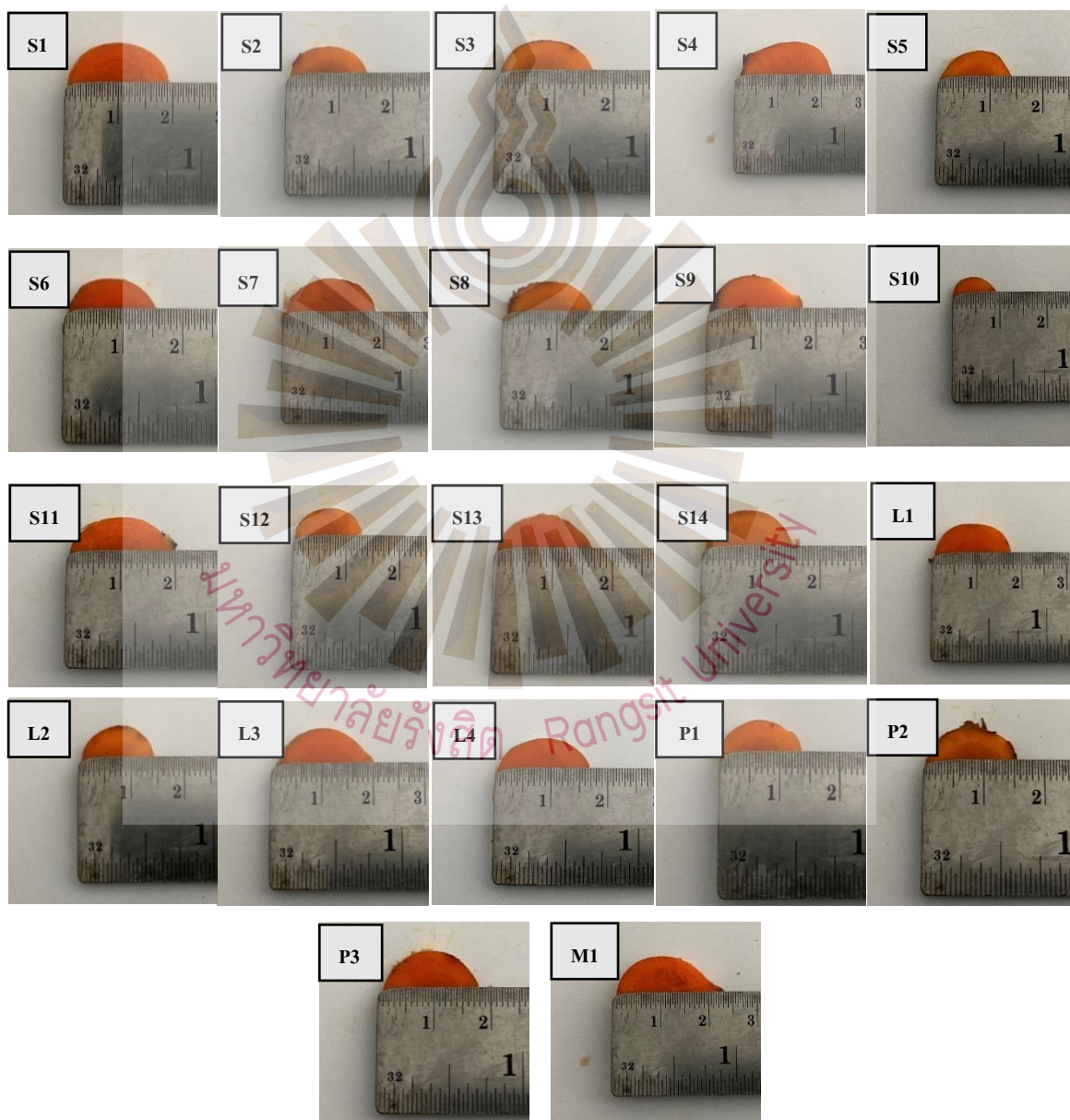
- 4) กลุ่มวิชาชีพเกษตรอินทรีย์ไร่นาธาราประชา อำเภอเมือง จำนวน 1 ตัวอย่าง ให้รหัส M1



รูปภาคผนวกที่ 4 ตัวอย่างขมิ้นชันอินทรีย์จากอำเภอเมือง

1.2 การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางเหง้ามันชัน

นำตัวอย่างเหง้ามันชันมาวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นการเก็บข้อมูลด้านขนาด ลักษณะ และคุณภาพเหง้ามันชันอินทรีย์ของเกษตรกรแต่ละราย เพื่อคัดเลือกแปลงปลูกที่ให้ลักษณะ และความสมบูรณ์ที่ดีของเหง้ามันชัน



รูปภาคผนวกที่ 5 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหง้ามันชันอินทรีย์

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกขมิ้นชันอินทรีย์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี แหล่งปลูก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

รหัส	ชื่อ-นามสกุล สมาชิก ผู้ปลูกขมิ้นชัน	สถานที่ ปลูกขมิ้นชัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)
S1	นายฤกษ์ คงสมใจ	ชัยบาดาล	1.90
S2	นายโมลา คงสมใจ	ชัยบาดาล	1.50
S3	นางอรษา บันเทา	ชัยบาดาล	1.65
S4	นางสมจิตร ตราบุรี	ชัยบาดาล	2.20
S5	นางศุภมาส จันทองแท้สกุล	ชัยบาดาล	1.40
S6	นางพิกุล ปลายวัฒน์	ชัยบาดาล	1.55
S7	นางยุพิน ศิริสัมพันธ์	ชัยบาดาล	1.80
S8	นายอุดร ปทุมธานี	ชัยบาดาล	1.65
S9	นางคำแสน บรรเทา	ชัยบาดาล	1.70
S10	นางประเสริฐ แสงรุจี	ชัยบาดาล	0.90
S11	นางสายใจ ปิ่นแก้ว	ชัยบาดาล	2.00
S12	นางทองย้อย สุริยา	ชัยบาดาล	1.30
S13	นางพิน อินทร์จำ	ชัยบาดาล	1.60
S14	นายชัยอรุณ นิยมสวัสดิ์	ชัยบาดาล	1.50
L1	นายจิตติวัชร วงษ์สุริยะภัทร	ลำสนธิ	1.75
L2	นายอุบล สุริยะภัทร	ลำสนธิ	1.40
L3	นางปริญญา เจริญนทค	ลำสนธิ	2.00
L4	นายสนั่น ประเสริฐสุข	ลำสนธิ	1.65
P1	นางสาววิกานดา พันคำ	พัฒนานิคม	1.35
P2	นางสาวเบญจวรรณ จุลภา	พัฒนานิคม	1.55
P3	นางสาวพรแก้ว จิระเนตร	พัฒนานิคม	1.80
M1	นางพิมพ์ชญา ผาสุย	เมือง	2.30

1.3 การเตรียมตัวอย่างผงไขมันชั้น

(1) การเตรียมตัวอย่างผงไขมันชั้น

นำตัวอย่างเหง้าไขมันชั้นมาล้างทำความสะอาด นำดิน ราก และใบแห้งที่ติดอยู่กับเหง้าไขมันชั้นออกให้หมด เพื่อลดการปนเปื้อน หั่นเหง้าไขมันชั้นเป็นแผ่นแว่น ๆ ขนาดความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จนำไขมันชั้นที่แห้งแล้วไปวัดค่าความชื้น โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 8 ควรมีค่าความชื้นอยู่ที่ประมาณ 8-9 เปอร์เซ็นต์ (ถ้าความชื้นมากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาต่อการทดลองเพราะผงไขมันชั้นจะชื้นและเหนียวซึ่งทำให้อุปกรณ์ในการทดลองเสียหายได้) นำไขมันชั้นแห้งมาบดให้ละเอียดแล้วร่งผ่านตะแกรงขนาด 60-mesh ความละเอียด 250 ไมโครเมตร เก็บผงไขมันชั้นใส่ถุงซัดกันความชื้นและแสงไว้ที่อุณหภูมิห้อง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

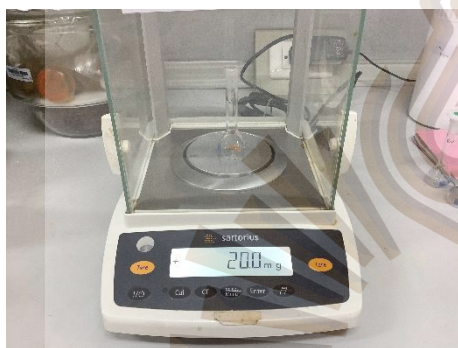


(ด)

รูปภาคผนวกที่ 6 (ก)ล้างทำความสะอาด, (ข)หั่นเป็นแว่น, (ค)อบลมร้อน, (ง)วัดค่าความชื้น, (จ)บดปั่นละเอียด และ(ด)ร่งผ่านตะแกรง

(2) การเตรียมสารตัวอย่างเข้มข้นสำหรับวิเคราะห์

ชั่งผงขมิ้นชันใส่ฟาสแก้วปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อ 10 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ฟาสต่อ 1 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่น่าเชื่อถือ ปรับปริมาตรและละลายด้วยเมทานอลนำไปสกัดด้วยคลื่นความถี่สูงโดยวางลงใน Ultrasonic bath ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อสกัดสารสำคัญออกจากผงขมิ้นชัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็นลง กรองผ่านกระดาษกรองไนลอนด้วยหัวกรอง NY 0.45 ไมโครเมตร ใส่ขวดไวอัลลีชา (Vial) สำหรับ HPLC ปิดฝาให้สนิท



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปภาคผนวกที่ 7 (ก)ชั่งผงขมิ้นชัน, (ข)ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล, (ค)สกัดด้วยคลื่นความถี่สูง และ(ง) กรองตัวอย่างใส่ขวดไวอัลลี

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน และวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ด้วย HPLC

(1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

ชั่งสารละลายมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร จดค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ (บวกลบได้ 10 เปอร์เซนต์)

=> Curcumin = 10 มิลลิกรัม => 10.0 มิลลิกรัม

=> Demethoxycurcumin = 10 มิลลิกรัม => 10.1 มิลลิกรัม

=> Bisdemethoxycurcumin = 10 มิลลิกรัม => 10.4 มิลลิกรัม

ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลนำไปสกัดด้วยคลื่นความถี่สูงโดยวางลงใน Ultrasonic bath เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้สารมาตรฐานละลายเข้ากับเมทานอล และคำนวณความเข้มข้นของสารดังนี้

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$1000 \mu\text{g/ml} \times V_1 = 100 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \times 10 \text{ml}$$

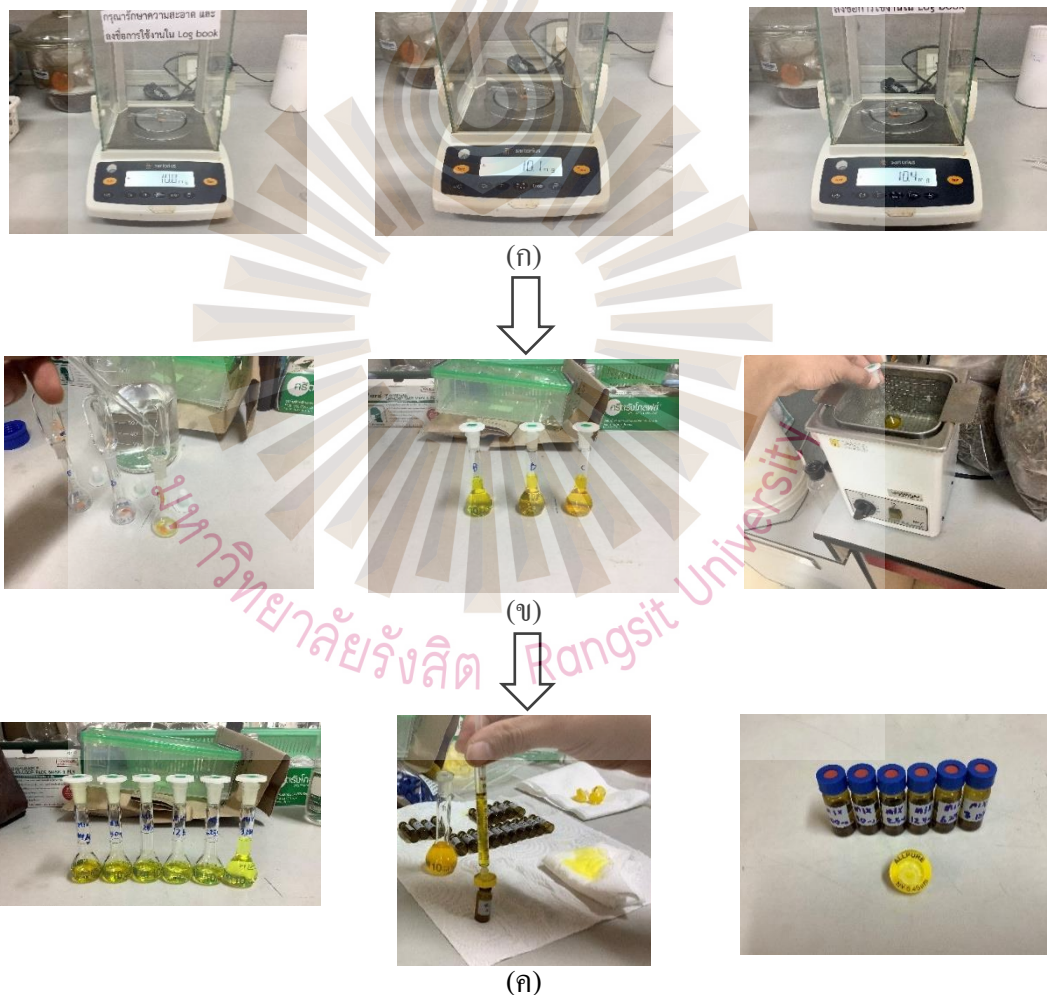
$$V_1 = \frac{1000 \mu\text{g/ml}}{1000}$$

$$V_1 = 1 \text{ml}$$

ความเข้มข้น	CUR	DMC	BDMC
100	1.00	0.99	0.96
50	0.50	0.49	0.48
25	0.25	0.24	0.24
12.5	0.12	0.12	0.12
6.25	0.06	0.06	0.06
3.125	0.03	0.03	0.03

จะได้สารละลายมาตรฐาน 3 ชนิด แต่ละชนิดมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายผสมของสารมาตรฐานทั้งสามชนิด โดยปิเปตสารละลายที่เตรียมได้มาอย่างละ

1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอลผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายของสารมาตรฐานความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาเจือจางแบบ 2 เท่า กล่าวคือ นำสารละลายผสมของสารมาตรฐานปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนครบด้วยเมทานอล และผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จะได้สารละลายของสารมาตรฐานที่จะนำไปสร้างกราฟมาตรฐานจำนวน 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ละความเข้มข้นทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

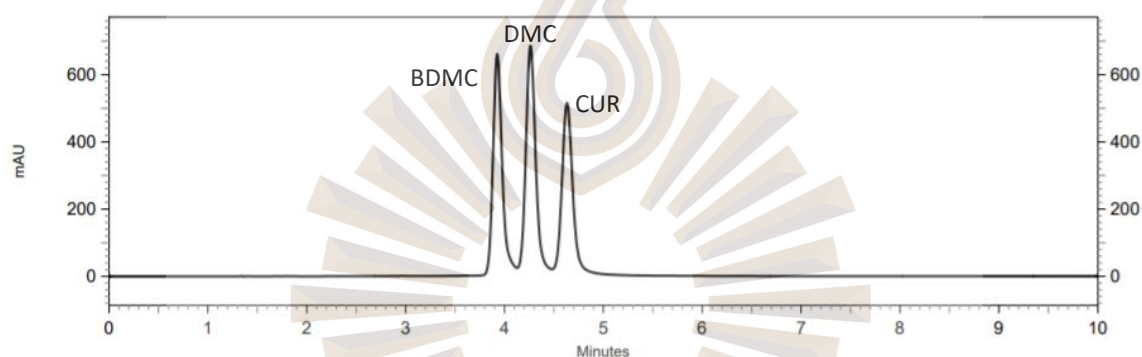


รูปภาคผนวกที่ 8 (ก) ชั่งสารมาตรฐาน, (ข) ปรับปริมาตร และสกัด

และ (ค) เจือจาง และกรองใส่ขวดไวอัล

(2) ขั้นตอนการฉีด HPLC

ตรวจสอบปริมาณ Mobile phase/Solvent ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่คอลัมน์ ให้มีปริมาณเพียงพอต่อการรันตัวอย่าง ติดตั้งคอลัมน์ใส่เครื่อง HPLC นำขวดตัวอย่างใส่เครื่อง HPLC เรียงตามตำแหน่งให้ถูกต้อง ตั้งค่าสถานะการวิเคราะห์ จากนั้นสร้างไฟล์ Sequence เพื่อบันทึกข้อมูลในการรันตัวอย่าง แล้วสั่งฉีดตัวอย่าง เมื่อนิฉเสร็จทำการเก็บข้อมูลดิบเข้าโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบหาค่า mean และ SD ของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์จากค่า standard curve เลือกตัวอย่างที่ให้ค่า Total mean สูงที่สุด



รูปภาคผนวกที่ 9 กราฟโครมาโตแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินจากตัวอย่างขมิ้นชันลพบุรีเมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

code	content%			mean	Sd
S1	1.528	1.541	1.529	1.533	0.007
S2	1.414	1.417	1.419	1.417	0.002
S3	1.269	1.270	1.254	1.264	0.009
S4	1.528	1.489	1.512	1.510	0.019
S5	2.113	2.112	2.090	2.105	0.012
S6	1.104	1.093	1.090	1.096	0.007
S7	0.629	0.629	0.623	0.627	0.003
S8	1.724	1.723	1.725	1.724	0.001
S9	2.024	2.021	2.006	2.017	0.009
S10	1.084	1.070	1.072	1.075	0.008
S11	1.012	1.010	1.010	1.011	0.001
S12	0.667	0.665	0.667	0.666	0.001
S13	2.210	2.189	2.191	2.197	0.011
S14	2.658	2.659	2.632	2.649	0.015
L1	2.379	2.356	2.356	2.364	0.013
L2	0.817	0.823	0.811	0.817	0.006
L3	2.266	2.266	2.294	2.275	0.016
L4	1.402	1.390	1.402	1.398	0.007
P1	2.116	2.116	2.140	2.124	0.014
P2	2.093	2.075	2.071	2.079	0.011
P3	2.580	2.579	2.552	2.571	0.016
M1	2.661	2.660	2.657	2.659	0.002

จากตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงค่าปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินพบว่า ตัวอย่างขมิ้นชัน M1 ให้ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินสูงที่สุดโดยมีค่า mean เท่ากับ 2.659 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างขมิ้นชันที่ให้ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินน้อยที่สุดคือ S7 โดยมีค่า mean เท่ากับ 0.627 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณสารบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมินจากตัวอย่างขมิ้นชันลพบุรีเมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

code	content%			mean	sd
S1	1.702	1.704	1.688	1.698	0.009
S2	1.878	1.882	1.878	1.879	0.002
S3	1.180	1.170	1.167	1.172	0.006
S4	2.024	1.999	1.999	2.007	0.014
S5	2.246	2.246	2.225	2.239	0.011
S6	1.794	1.776	1.782	1.784	0.008
S7	1.328	1.327	1.328	1.328	0.001
S8	1.969	1.966	1.960	1.965	0.004
S9	1.585	1.584	1.571	1.580	0.007
S10	1.617	1.600	1.602	1.606	0.008
S11	1.772	1.769	1.776	1.772	0.003
S12	0.730	0.728	0.729	0.729	0.001
S13	1.769	1.754	1.750	1.758	0.009
S14	1.984	1.986	1.959	1.976	0.015
L1	1.948	1.931	1.930	1.936	0.009
L2	1.723	1.721	1.708	1.717	0.007
L3	1.999	1.999	2.016	2.004	0.009
L4	2.371	2.348	2.373	2.364	0.013
P1	1.566	1.564	1.583	1.571	0.010
P2	1.976	1.952	1.955	1.961	0.012
P3	1.994	1.995	1.966	1.985	0.016
M1	1.837	1.836	1.836	1.837	0.001

จากตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงค่าปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมินพบว่า ตัวอย่างขมิ้นชัน L4 ให้ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมินสูงที่สุดโดยมีค่า mean เท่ากับ 2.364 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างขมิ้นชันที่ให้ปริมาณสารดีเมทอกซีเคอร์คูมินน้อยที่สุดคือ S12 โดยมีค่า mean เท่ากับ 0.729 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณสารเคอร์คูมินจากตัวอย่างขมิ้นชันลพบุรีเมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

code	content%			mean	sd
S1	4.626	4.627	4.588	4.614	0.022
S2	4.854	4.857	4.869	4.860	0.008
S3	3.343	3.307	3.315	3.322	0.019
S4	4.948	4.898	4.906	4.917	0.027
S5	5.003	4.999	4.966	4.989	0.020
S6	4.485	4.443	4.448	4.459	0.023
S7	3.607	3.604	3.579	3.597	0.015
S8	4.906	4.893	4.899	4.899	0.006
S9	4.482	4.490	4.442	4.471	0.025
S10	4.154	4.115	4.120	4.130	0.021
S11	4.513	4.490	4.505	4.502	0.012
S12	2.702	2.698	2.701	2.700	0.002
S13	4.467	4.433	4.448	4.449	0.017
S14	5.334	5.347	5.290	5.324	0.029
L1	4.455	4.412	4.408	4.425	0.025
L2	1.881	1.888	1.844	1.871	0.023
L3	4.833	4.831	4.881	4.848	0.028
L4	3.302	3.285	3.302	3.296	0.009
P1	4.331	4.330	4.371	4.344	0.023
P2	4.743	4.727	4.699	4.723	0.022
P3	5.706	5.710	5.660	5.692	0.027
M1	5.895	5.881	5.891	5.888	0.007

จากตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงค่าปริมาณสารเคอร์คูมินพบว่า ตัวอย่างขมิ้นชัน M1 ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินสูงที่สุดโดยมีค่า mean เท่ากับ 5.888 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างขมิ้นชันที่ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินน้อยที่สุดคือ L2 โดยมีค่า mean เท่ากับ 1.871 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 5 ปริมาณสารเคอร์คูมินโดยรวมจากตัวอย่างขมิ้นชันลพบุรีเมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

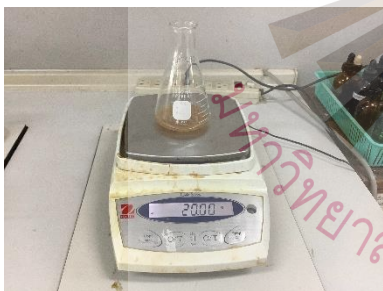
code	content%			mean	sd
S1	7.857	7.873	7.805	7.85	0.04
S2	8.146	8.156	8.166	8.16	0.01
S3	5.793	5.748	5.736	5.76	0.03
S4	8.501	8.385	8.419	8.44	0.06
S5	9.362	9.357	9.283	9.33	0.04
S6	7.384	7.313	7.321	7.34	0.04
S7	5.564	5.561	5.532	5.55	0.02
S8	8.600	8.583	8.585	8.59	0.01
S9	8.091	8.096	8.019	8.07	0.04
S10	6.856	6.786	6.795	6.81	0.04
S11	7.296	7.269	7.292	7.29	0.01
S12	4.098	4.092	4.098	4.10	0.00
S13	8.446	8.378	8.390	8.41	0.04
S14	9.976	9.994	9.881	9.95	0.06
L1	8.782	8.700	8.695	8.73	0.05
L2	4.421	4.433	4.364	4.41	0.04
L3	9.098	9.097	9.191	9.13	0.05
L4	7.076	7.024	7.078	7.06	0.03
P1	8.014	8.012	8.095	8.04	0.05
P2	8.811	8.755	8.726	8.76	0.04
P3	10.280	10.285	10.179	10.25	0.06
M1	10.393	10.378	10.385	10.39	0.01

จากตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงค่าปริมาณสาร Total เกลอ์คูมินอยด์พบว่า ตัวอย่างไขมันชั้น M1 ให้ปริมาณสาร Total เกลอ์คูมินอยด์สูงที่สุดโดยมีค่า mean เท่ากับ 10.39 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างไขมันชั้นที่ ให้ปริมาณสาร Total เกลอ์คูมินอยด์น้อยที่สุดคือ S12 โดยมีค่า mean เท่ากับ 4.10 เปอร์เซ็นต์

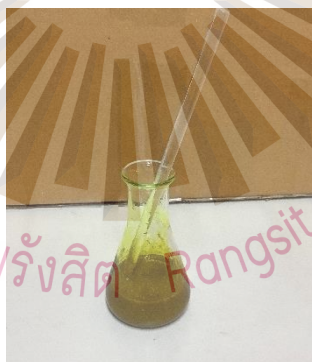
4. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการสกัดสารเกลอ์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเป็นตัวทำละลาย

(1) ขั้นตอนการสกัดไขมันชั้นในน้ำมันมะพร้าว

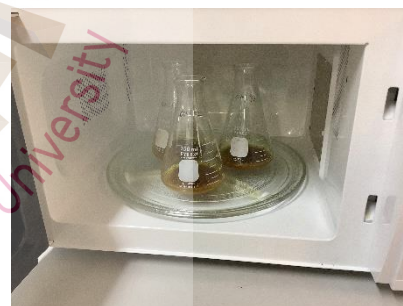
ชั่งไขมันชั้นลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิกรัม ปริมาณ น้ำหนักของไขมันชั้นตามตารางแผนการทดลอง จากนั้นเติมน้ำมันมะพร้าว 20 กรัม คนด้วยแท่งแก้ว ให้ไขมันชั้นกับน้ำมันมะพร้าวเข้ากัน ($n=3$) นำขวดตัวอย่างทั้งสามขวดเข้าเครื่องไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 800 วัตต์ ระยะเวลาและจำนวนรอบตามตารางแผนการทดลอง



(ก)



(ข)

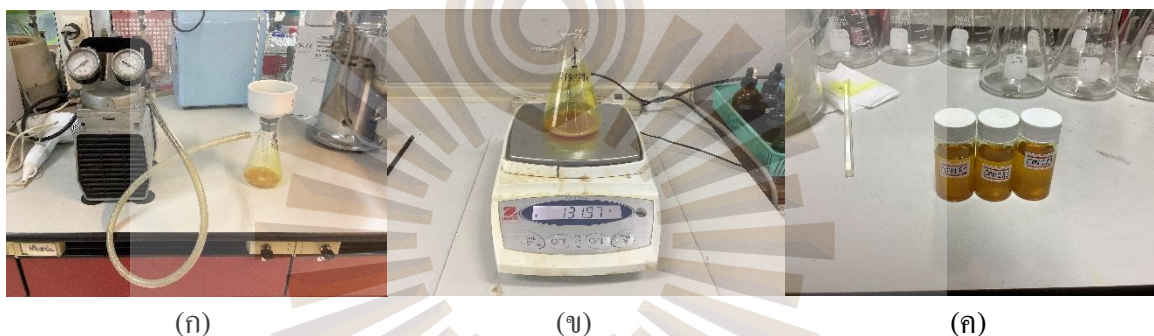


(ค)

รูปภาคผนวกที่ 10 (ก)ชั่งไขมันชั้น และน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น, (ข)คนตัวอย่างด้วยแท่งแก้ว และ(ค)นำเข้าไมโครเวฟ

เมื่อสกัดด้วยระยะเวลาและจำนวนรอบที่กำหนดแล้วนำตัวอย่างออกจาก ไมโครเวฟ กรองด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ (polyester) 2 ชั้น ผ้าโพลีเอสเตอร์เกิดจากกระบวนการทางเคมีของ

ethylene glycol และกรด terephthalic มีคุณสมบัติเหนียว มีความคงขนาดได้ดีไม่ยับง่าย การดูดซับความชื้นค่อนข้างต่ำ อยู่ที่ประมาณ 0.4-0.6 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะมาตรฐาน ทำให้น้ำและน้ำมันไหลผ่านได้ดี จึงมีความเหมาะสมกว่าผ้าชนิดอื่น ๆ สำหรับการกรองน้ำมันพืช โดยใช้วิธีการกรองแบบสุญญากาศเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งชุดหัวกรองทิ้งไว้อีก 1 นาที เพื่อให้สารสกัดตัวอย่างถูกกรองออกมามากที่สุด ใช้เวลาในการกรองและตั้งทิ้งไว้เหมือนกันทุกตัวอย่าง นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนักของสารที่ได้จากการกรอง บันทึกค่าปริมาณผลผลิต หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เก็บสารสกัดตัวอย่างที่ได้เก็บในขวดแก้วปิดฝาให้สนิทและเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันแสง



รูปภาคผนวกที่ 11 (ก)กรองตัวอย่างด้วยวิธีสุญญากาศ, (ข)ชั่งน้ำหนักปริมาณผลผลิต และ(ค)เก็บตัวอย่างใส่ขวด

5. ขั้นตอนการหาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากการสกัดผงมันชันด้วยน้ำมันพืชทั้ง 11 ตัวอย่าง โดยใช้ไมโครเวฟ

(1) การเตรียมตัวทำละลายในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ด้วยไมโครเวฟ

การเตรียมส่วนผสมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันพร้อมใช้ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสูตรเครื่องสำอางต่าง ๆ เริ่มจากการสกัดสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันด้วยไมโครเวฟนั้น จำเป็นต้องใช้ใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลาย เพราะมีจุดเดือดสูงกว่าสารเคมีชนิดอื่น ๆ ใช้เวลาในการสกัดน้อย และเพื่อความปลอดภัยในการดำเนินการ เพราะคลื่นไมโครเวฟมีความร้อนสูงจึงอาจเกิดการไหม้ หรือระเบิดจาก

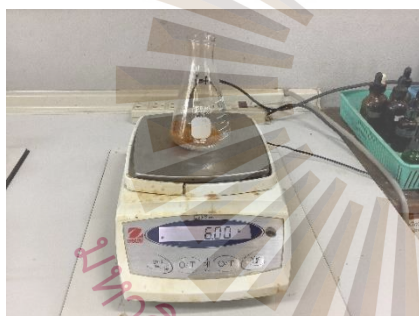
สารเคมีบางชนิดได้ ผู้วิจัยจึงเลือกน้ำมันพืชเป็นตัวทำละลายในการทดลอง 8 ชนิด ประกอบไปด้วย น้ำมันพืช 11 ตัวอย่าง คือ น้ำมันอัลมอนด์, น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น, น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น, น้ำมันมะกอก, น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี, น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น, น้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี, น้ำมันงา, น้ำมันงาสกัดเย็น, น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันดอกทานตะวันเกสรอินทรีย์



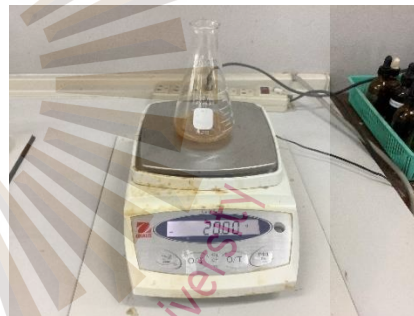
รูปภาคผนวกที่ 12 ตัวอย่างน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลอง (ก)น้ำมันอัลมอนด์, (ข)น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น, (ค)น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น, (ง)น้ำมันมะกอก, (จ)น้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี, (ฉ)น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น, (ช)น้ำมันรำข้าวผ่านกรรมวิธี, (ฌ)น้ำมันงา, (ญ)น้ำมันงาสกัดเย็น, (ณ)น้ำมันดอกทานตะวัน และ(ณ)น้ำมันดอกทานตะวันเกสรอินทรีย์

(2) ขั้นตอนการสกัดผงขมิ้นชันโดยใช้ไมโครเวฟ ด้วยน้ำมันพืช 11 ตัวอย่าง

นำผงขมิ้นชันมาชั่ง 6 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำมันพืช ปริมาณ 20 กรัม ซึ่งน้ำมันทั้งหมดนี้เป็นน้ำมันที่สามารถใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางได้ แต่ละ ตัวอย่างจะสกัดแยกกัน 3 ขวด คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว นำขวดรูปชมพู่ที่มีผงขมิ้นชัน และน้ำมันทั้ง สามขวดเข้าเครื่องไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟอยู่ที่ 800 วัตต์ ระยะเวลา 1.5 นาที จำนวน 3 รอบ (หยุดพัก รอบละ 30 วินาที) เมื่อสกัดด้วยระยะเวลาและจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว นำตัวอย่างออกจากไมโครเวฟ กรองด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ 2 ชั้น โดยใช้วิธีการกรองแบบสุญญากาศ เป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งชุด หัวกรองทิ้งไว้อีก 1 นาที เพื่อให้สารสกัดตัวอย่างถูกกรองออกมามากที่สุด ใช้เวลาในการกรอง และตั้ง ทิ้งไว้เหมือนกันทุกตัวอย่าง นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนักของสารที่ได้จากการกรอง บันทึกค่า ปริมาณผลผลิตหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เก็บสารสกัดตัวอย่างที่ได้เก็บในขวดแก้วปิดฝา ให้สนิทและเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันแสง จากนั้นนำไปวิเคราะห์



(ก)



(ข)



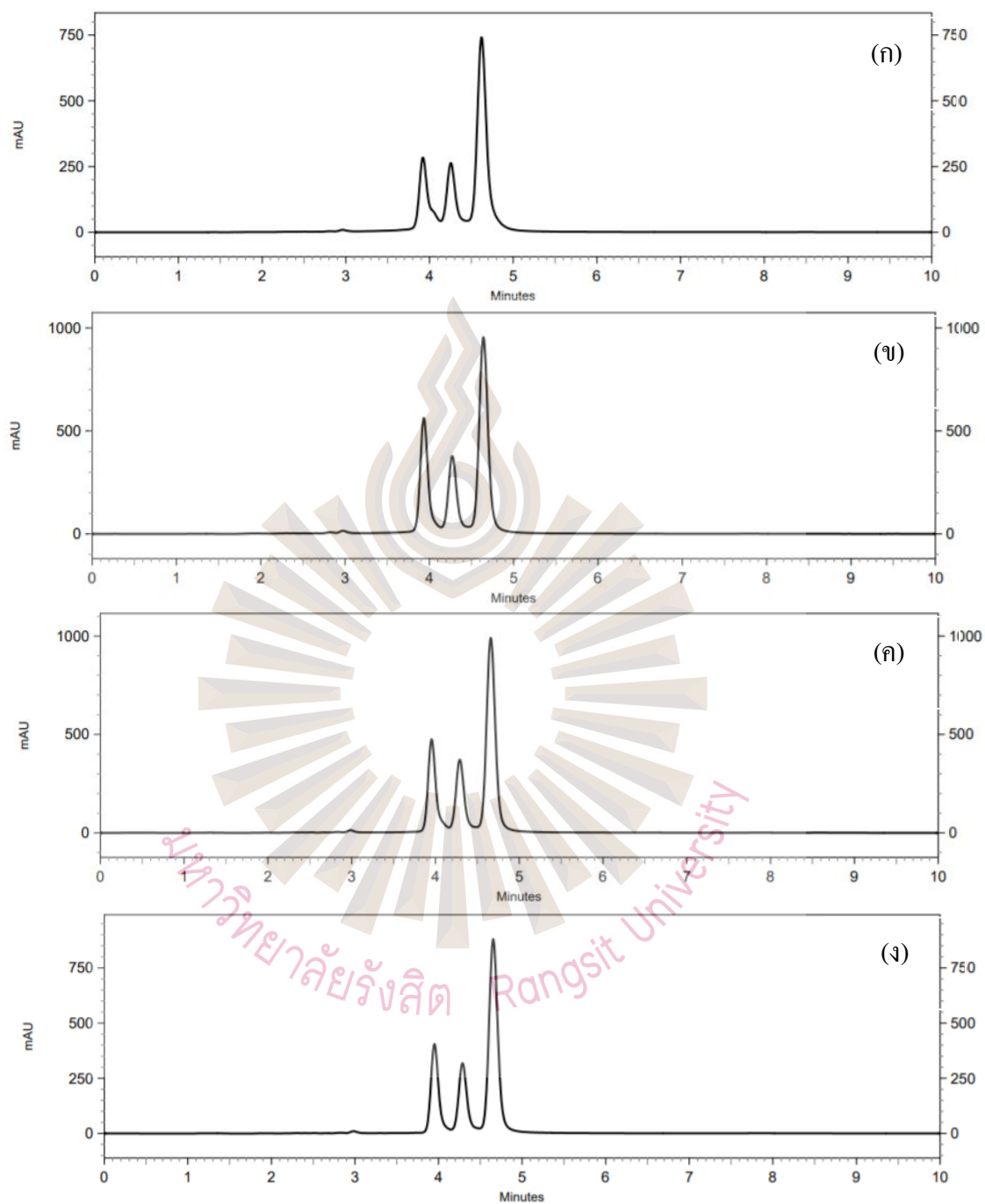
(ค)



(ง)

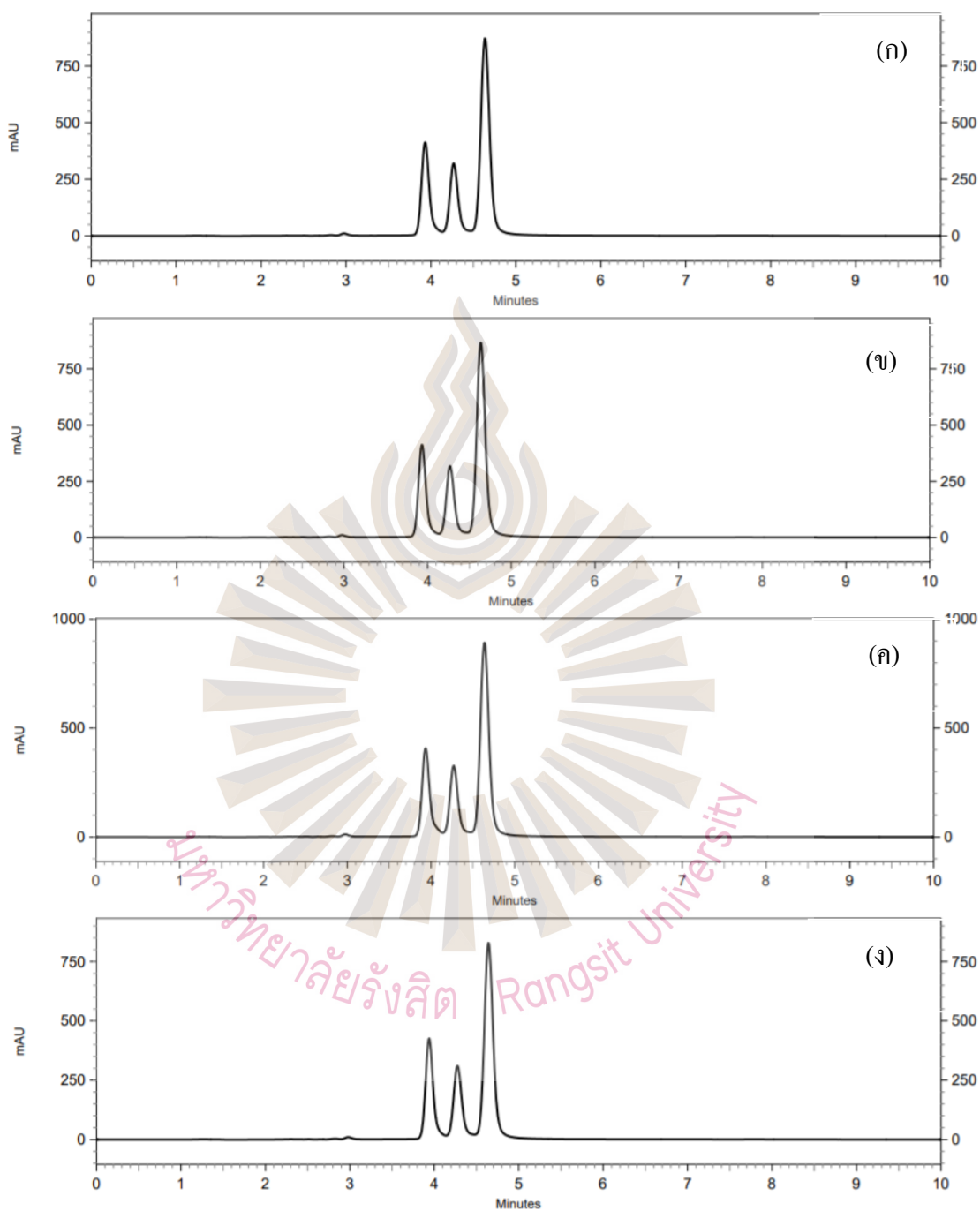
รูปภาพผนวกที่ 13 (ก) ชั่งผงขมิ้นชัน, (ข) ชั่งน้ำมันพืช, (ค) สกัดด้วยไมโครเวฟ

และ (ง) เก็บตัวอย่างใส่ขวด



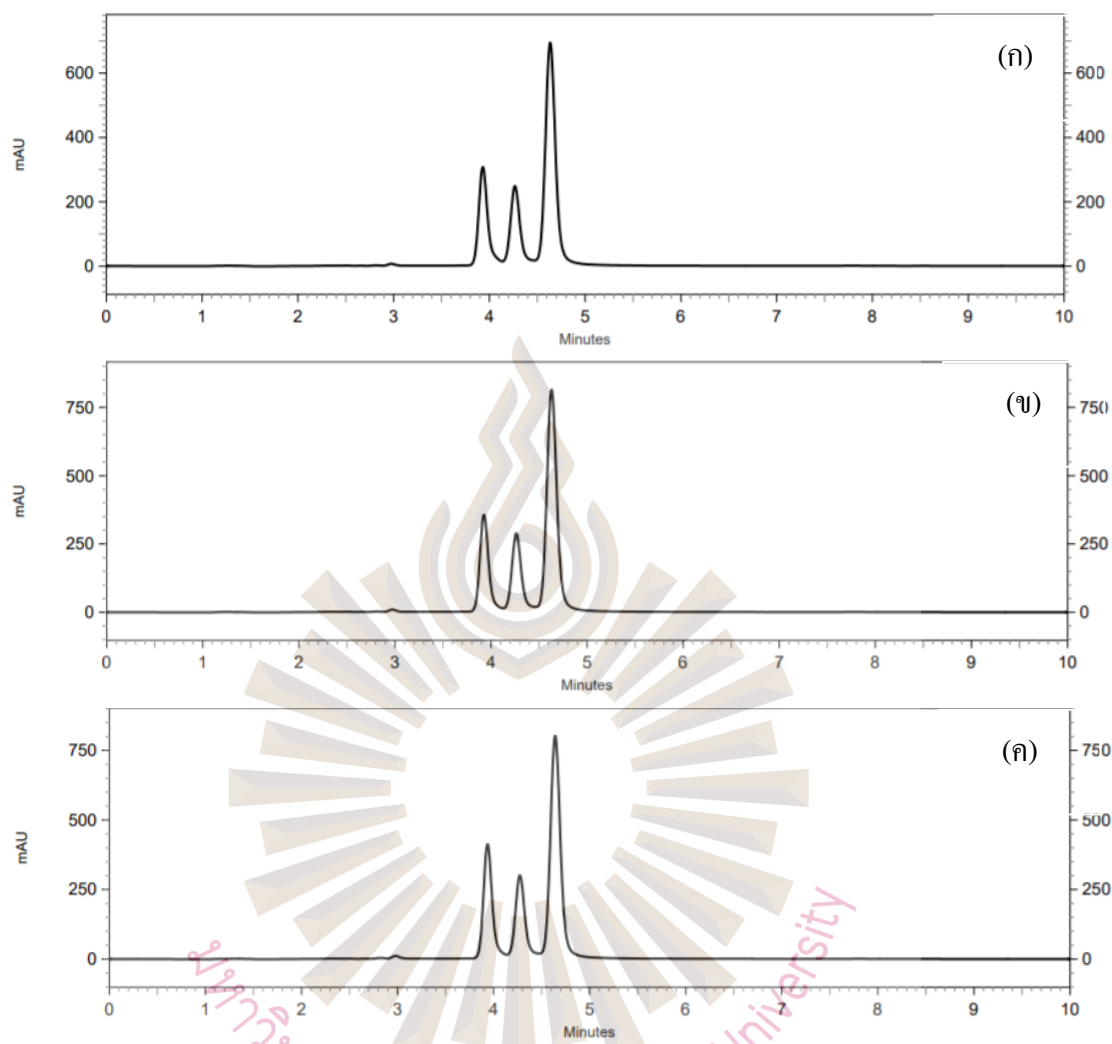
รูปภาคผนวกที่ 14 โครมาโทแกรมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ (ก) น้ำมันอัลมอนด์,

(ข) น้ำมันละหุ่งสกัดเย็น , (ค) น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น และ (ง) น้ำมันมะกอก A



รูปภาคผนวกที่ 15 โครมาโทแกรมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ (ก) น้ำมันมะกอก B,

(ข) น้ำมันถั่วลิสงสกัดเย็น, (ค) น้ำมันรำข้าว และ (ง) น้ำมันงา A



รูปภาคผนวกที่ 16 โครมาโทแกรมของสารสกัดขมิ้นชันในน้ำมันชนิดต่าง (ก) น้ำมันงา B,

(ข) น้ำมันดอกทานตะวัน A และ (ค) น้ำมันดอกทานตะวัน B

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ชูชีวิน กาญจนถาวรวิบูล
วัน เดือน ปีเกิด	30 มิถุนายน 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรม เกษตร, 2561 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ, 2564
ทุนการศึกษา	ทุนต้นกล้าไบโอเทค
ที่อยู่ปัจจุบัน	29 หมู่บ้านภูมิพัฒน์วิลล่า ถนนงามวงศ์วาน 18 ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000 Xhuxhiwin_k@hotmail.com

