

การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ
ต่อเนื่องกัน

Extraction of pectin from pomelo albedo using ultrasonic-microwave



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-FI-M-503-364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Extraction of pectin from pomelo albedo using ultrasonic-microwave



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

KMITL-2020-FI-M-503-364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาว นัชชา กุลทอง
รหัสประจำตัว	60608013
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ ด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน และใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ คือระดับพีเอชระหว่าง 1 ถึง 2 เวลาในการใช้อัลตราโซนิกระหว่าง 5 ถึง 10 นาที ระดับพลังงานไมโครเวฟระหว่าง 350 ถึง 650 วัตต์ และระยะเวลาที่ใช้ไมโครเวฟระหว่าง 1 ถึง 3 นาที เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินสูงสุด จากผลการวิจัยพบว่าสภาวะในการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน คือระดับพีเอชที่ 1.8 เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 15 นาที ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 600 วัตต์และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 3 นาที โดยให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 53.77 ± 0.68 เมื่อเปรียบเทียบผลของการสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันกับวิธีการสกัดด้วยอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟต่อปริมาณผลผลิต คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันให้ปริมาณผลผลิตเพคตินมากที่สุด ตามมาด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟ และวิธีอัลตราโซนิก ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเพคตินที่สกัดได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน วิธีอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟ พบว่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก การเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน และความหนืดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Extraction of pectin from pomelo albedo using ultrasonic-microwave
Student	Miss. Natcha Kulthong
Student ID.	60608013
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2020
Thesis Advisor	Dr.Kittichai Banjong

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the condition of pectin extraction from albedo part of pomelo peel by ultrasonic-microwave assisted extraction (UMAE) for maximum pectin yield with response surface methodology using Box-Benhken design. The effects of pH between 1 and 2, sonication time between 5 and 15 min, microwave power between 350 and 650 W. and irradiation time between 1 and 3 min on the yield of pectin was considered. The result showed that the highest yield of pectin was $53.77 \pm 0.68\%$ and it was achieved at 1.8 pH, 15 min sonication time, 600 W microwave power and 3 min irradiation time. When pectin yield from UMAE, ultrasound assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) was compared, it showed that the yield of pectin from UMAE was higher than the other techniques in the order of $UMAE > MAE > UAE$. In term of chemical and physical properties, the result showed that galacturonic acid, degree of esterification and viscosity of pomelo peel pectin from UMAE, MAE and UAE were significantly different ($p \leq 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในหัวข้อเรื่อง การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือคอยให้คำปรึกษาชี้แนะ คำแนะนำ ให้ข้อมูลและให้ความรู้ความเข้าใจในด้านต่างๆ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยติ และ ดร.ระจิตร สุวพานิช ที่ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำชี้แนะในเรื่องต่างๆ รวมทั้งนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ และช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว บุคคลอันเป็นที่รักและเพื่อนๆ ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือในการดำเนินงาน ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาจากทุกท่านที่กล่าวมา และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นัชชา กุลทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สัมไอ.....	3
2.2 เพคติน.....	4
2.3 ประโยชน์ของเพคติน.....	5
2.4 การสกัดเพคติน.....	6
2.4.1 การใช้กรดในการสกัด.....	6
2.4.2 การสกัดเพคตินแบบดั้งเดิมโดยการใช้ น้ำอุณหภูมิสูง.....	6
2.4.3 การสกัดโดยไมโครเวฟ.....	6
2.4.4 การสกัดโดยอัลตราโซนิก.....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	10
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	10
3.1.1 สารเคมี.....	10
3.1.2 เครื่องมือ.....	10
3.2 วัตถุประสงค์และการเตรียมวัตถุประสงค์.....	11
3.3 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ.....	11
3.3.1 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน.....	11
3.3.2 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิก.....	12
3.3.3 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีไมโครเวฟ.....	12
3.4 ปริมาณผลผลิตเพคติน.....	12
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน.....	13
3.5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี.....	13
3.5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ.....	13
3.6 แผนการทดลองและการวิเคราะห์สถิติ.....	13
3.6.1 การทดลองหาการสกัดเพคตินโดยวิธีการใช้อัลตราโซนิก ร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันในการสกัด.....	13
3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	16
4.1 การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ต่อเนื่องกัน.....	16
4.1.1 ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอโดย ใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน.....	16
4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	16
4.2 การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัด ด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน (UMAE).....	20

4.3	เปรียบเทียบวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ.....	21
4.4	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน.....	22
4.4.1	ระดับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification).....	22
4.4.2	ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid content).....	23
4.5	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคติน.....	24
4.5.1	ความหนืด (viscosity).....	24
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	28
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	28
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	29
บรรณานุกรม	30
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	วิธีการเตรียมวัตถุดิบ.....	34
ภาคผนวก ข	วิธีการสกัดเพคติน.....	36
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์คุณภาพ.....	40
ภาคผนวก ง	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	46
ประวัตินักวิจัย	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	14
ตารางที่ 3.2	แผนการทดลองแบบ Box-Behnken ของวิธีการสกัดเพคตินโดย วิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่อกัน.....	15
ตารางที่ 4.1	แสดงสภาวะผลการทดลองปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้จากการทดลองกับการทำนาย.....	17
ตารางที่ 4.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง Box-Behnken design.....	18
ตารางที่ 4.3	ปริมาณผลผลิตของเพคตินจากการสกัดด้วยวิธี UAE, MAE และ UMAE.....	21
ตารางที่ 4.4	คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า.....	22
ตารางที่ 4.5	ค่าความหนืดของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ.....	25
ตารางที่ 4.6	ค่าความหนืดของเพคตินทางการค้า (CMP).....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ **VI** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของสั้มโอ.....	3
ภาพที่ 2.2 แสดงโมเลกุลของเพคตินในเนื้อเยื่อของผัก ผลไม้.....	4
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเพคติน.....	4
ภาพที่ 4.1 พื้นที่ผิวตอบสนองของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของเพคตินจากเปลือกส่วนในสั้มโอ ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน.....	19
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในสั้มโอ ด้วยวิธีการสกัดอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน.....	26
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในสั้มโอ ด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกในการสกัด.....	26
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในสั้มโอ ด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟในการสกัด.....	27
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินทางการค้า.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **viii**ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ส้มโอเป็นผลไม้ที่ได้รับการบริโภคกันอย่างแพร่หลายและมีความต้องการการบริโภคภายในประเทศ ทำให้เปลือกส้มโอเป็นขยะทางชีวภาพ เพราะมีประมาณ 30% ของน้ำหนักของผลส้มโอ จากการศึกษาพบว่า ในเปลือกของส้มโอมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบไปด้วยวิตามินซีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และโพลีแซคคาไรด์ โดยเปลือกส้มโอในส่วนสีขาวได้พบว่าเป็นแหล่งที่มาของเพคติน ซึ่งเป็นวัตถุที่ที่น่าสนใจในการสกัดเพคติน (Methacanon และคณะ, 2014) ซึ่งเพคตินเป็นสารประกอบ polysaccharide ที่พบตามธรรมชาติ (Chen และคณะ, 2016) มีสะสมอยู่ในผนังเซลล์ประมาณ 40% ของพืชและผลไม้ สามารถสกัดได้จากเปลือกของผักและผลไม้ โดยเพคตินเมื่อรวมตัวกับน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสมจะเกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่ เป็นสารที่ทำให้ข้นหนืด (thickening agent) เป็น stabilizer ป้องกันการตกตะกอน เป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหาร (Wang และคณะ, 2015)

วิธีการสกัดเพคตินแบบดั้งเดิมด้วยการใช้น้ำอุณหภูมิสูง เป็นวิธีที่นำน้ำอุณหภูมิสูงมาใช้ในการต้มสกัดเพคติน การต้มโดยตรงเป็นวิธีดั้งเดิมของการสกัดเพคตินซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพของเพคตินที่ดี เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการสกัดนานเพื่อให้ได้ผลผลิตเพคตินในปริมาณที่สูงขึ้น จึงทำให้มีการนำเทคโนโลยีอื่นเข้ามาใช้ในการสกัดเพคติน เช่น การสกัดเพคตินด้วยอัลตราโซนิกเป็นวิธีการไม่ใช้ความร้อน มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพง โดยจะทำการสร้างคลื่นเสียงความถี่สูงในสารละลายทำให้เกิดการยุบตัวของฟองอากาศ ส่งผลให้ผนังเซลล์ของพืชเกิดความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย จึงได้สารสกัดออกมาในสารละลาย และการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก ใช้เวลาการสกัดไม่นานและไม่ทำลายพันธะเคมีหรือทำให้โมเลกุลเปลี่ยนแปลง โดยพลังงานไมโครเวฟจะทำความร้อนภายในเซลล์เกิดความร้อนและเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้เกิดแรงดันภายในผนังเซลล์ส่งผลให้เซลล์แตก จึงได้สารสกัดออกมาได้มากยิ่งขึ้น (Liew และคณะ, 2016) ทำให้ไมโครเวฟเป็นวิธีที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในการนำมาสกัดเพคติน

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ ด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัด คือ ระดับพีเอช เวลาการใช้อัลตราโซนิก พลังงานไมโครเวฟ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ รวมถึงการใช้วิธีการฟื้นผิวตอบสนอง เพื่อนำเสนอวิธีการช่วยให้การสกัดมีประสิทธิภาพและสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของเพคตินให้ได้สูงสุด และส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกส้มโอด้วยการสกัดเพคตินที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 สกัดเพศดินโดยใช้การทำงานร่วมกันของอัลตราโซนิกกับไมโครเวฟ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology)

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการสกัดของวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื้องานกับวิธีไมโครเวฟ และวิธีอัลตราโซนิก โดยคำนึงถึงปริมาณผลผลิตของเพศดิน และผลต่อองค์ประกอบของเพศดินที่สกัดจากเปลือกส่วนในส้มโอ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การสกัดเพศดินจากเปลือกส่วนในส้มโอ โดยใช้การทำงานร่วมกันของอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ในการสกัด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการสกัด มี 4 ปัจจัย (3 ระดับ) ที่ระดับพีเอช: 1, 1.5 และ 2.0, เวลาการใช้อัลตราโซนิก: 5 นาที, 10 นาที และ 15 นาที, พลังงานไมโครเวฟ: 350 วัตต์, 500 วัตต์ และ 650 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ: 1 นาที, 2 นาที และ 3 นาที

การวางแผนการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ด้วยการออกแบบการทดลอง Box-Benhken ในการทดลองที่มี 4 ปัจจัย 3 ระดับ

ตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรอิสระ ได้แก่
 - X_1 : ระดับพีเอช
 - X_2 : เวลาในการใช้อัลตราโซนิก (นาที)
 - X_3 : พลังงานไมโครเวฟ (วัตต์)
 - X_4 : เวลาในการใช้ไมโครเวฟ (นาที)
- ตัวแปรตาม คือ Y : ปริมาณเพศดินจากเปลือกส่วนในส้มโอ (กรัม)

การวิเคราะห์หาปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อปริมาณผลผลิตของเพศดินแล้วนำไปเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟและการวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของเพศดิน ดังนี้

- ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (DE)
- ปริมาณกรดกาแลกทูโรนิก
- ความหนืดของเพศดิน

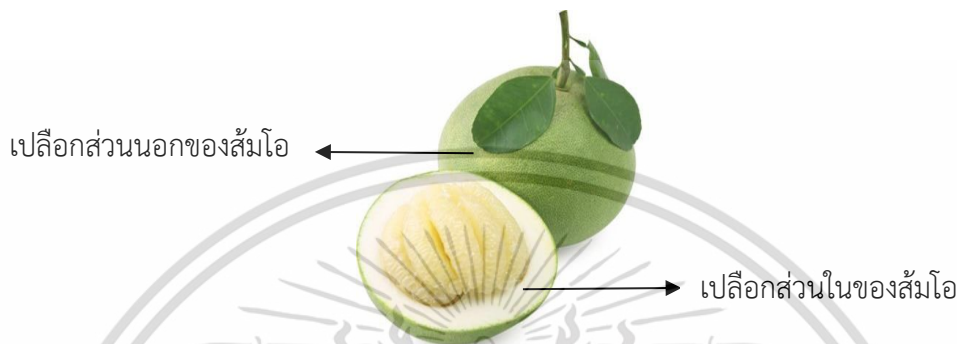
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงวิธีการในการสกัดเพศดินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื้องานเพื่อให้ได้ผลผลิตเพศดินสูงสุด และทราบถึงผลของการสกัดแต่ละวิธีที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่สกัดได้ และยังสามารถนำวิธีการสกัดมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด สามารถนำวัสดุเหลือใช้มาเพิ่มมูลค่าและเกิดประโยชน์มากที่สุด ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของส้มโอ

ที่มา: ปีเตอร์ (2018)

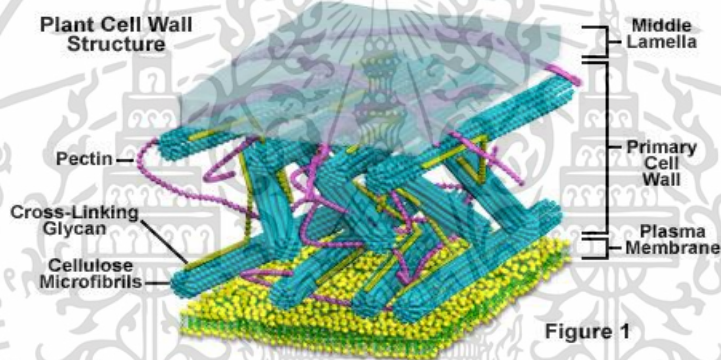
ส้มโอมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Citrus grandis* (L.) Osbeck ผลมีรูปร่างค่อนข้างกลมหรือรูปแป้น บางพันธุ์มีขั้วผลเรียวแหลม ผลมีขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 10-13 ซม. ผลอ่อนมีสีเขียวพอกแก่มีสีเขียวอมเหลือง เปลือกหนาประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร ผิวผลเรียบ ในส่วนของเปลือกสีเขียวมีต่อมน้ำมันจำนวนมาก ข้างในมีเยื่อสีขาวหรือสีชมพูซึ่งมีกากใยมาก ลักษณะหยุ่นนุ่มรสหวานหรือขมเล็กน้อยกินเนื้อผลที่เป็นถุงน้ำ เปลือกผลมีรสขมฝื่อน ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกมีสีเขียวอมเหลืองหรือสีเหลืองทองตามสายพันธุ์ แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นนอกสุด เรียกว่า flavedo มีสีเขียวอมเหลือง มีต่อมน้ำมันจำนวนมาก ชั้นต่อมาเรียกว่า albedo เป็นส่วนที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มสีขาวที่มีความหนา และชั้นที่สามเป็นเนื้อเยื่อของพูที่หุ้มรอบเนื้อผล ส่วนเนื้อผลแบ่งออกเป็นกลีบๆเรียงติดกันเป็นวงกลม เรียกกลีบเนื้อผลว่า juice sac ภายในกลีบจะฉ่ำด้วยน้ำที่ใสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว (พิชเกษตร, 2559) ลักษณะทั่วไปของส้มโอ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของเปลือก (epicarp) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีสารสีคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ มีต่อมน้ำมัน (oil Grand) ในบริเวณส่วนนอกของเปลือก
2. ส่วนของเนื้อเยื่อส่วนกลาง (mesocarp) มีสีขาว ประกอบด้วยเนื้อเยื่ออ่อน (spongy tissue) ของเซลล์เนื้อเยื่อพืชที่มีผนังบาง (parenchyma) ขนาดใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เพคติน และเฮมิเซลลูโลส
3. ส่วนเนื้อชั้นในผลไม้ (endocarp) เป็นส่วนที่รับประทานได้ มีลักษณะเป็นกลีบ (carpels) ซึ่งปกติมีอยู่ประมาณ 9 ถึง 13 กลีบต่อผล

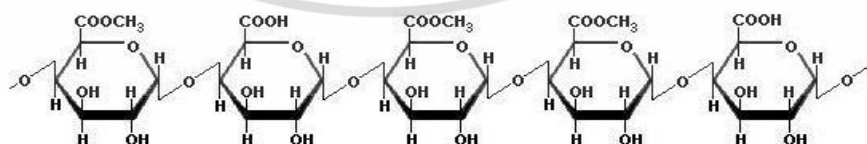
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เพคติน (pectin)

เพคตินเป็นสารจำพวก polysaccharide ประเภทheteropoly-saccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีโครงสร้างหลักที่ประกอบไปด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ประมาณ 65% โดยน้ำหนัก และมีเมทิลการแล็กทูโรเนต และน้ำตาลหลายชนิด เช่น galactose เป็นต้น พบตามธรรมชาติในบริเวณผนังเซลล์ของพืชและรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส (cellulose) ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกันคล้ายเป็นซีเมนต์ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, ไม่ปรากฏปี) นอกจากนี้ยังพบในพืชผลไม้จำพวกตระกูลส้ม เช่น ส้มโอ ส้มเขียวหวาน และในพืชชนิดอื่นๆ เช่น แอปเปิ้ล หัวบีท มะม่วง ฝรั่ง เป็นต้น อุตสาหกรรมการผลิตเพคตินส่วนใหญ่สกัดจากเปลือกด้านใน (albedo) ของผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีปริมาณเพคตินถึง 25% ต่อ น้ำหนักแห้ง เพคตินที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อพืชเหล่านี้มีสมบัติในการเกิดเจลได้เมื่อเติมกรดและน้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.2 แสดงโมเลกุลของเพคตินในเนื้อเยื่อของผัก ผลไม้
ที่มา: พิมพ์เพ็ญและนิธิยา



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเพคติน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญและนิธิยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบเพคตินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ (องอาจ, 2553)

1. เพคตินที่สามารถละลายน้ำได้ จะมีโครงสร้างเป็นกรดกาแลคทูโรนิกที่มีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโครงสร้าง ($-COOCH_3$)

2. เพคตินที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เป็นเพคตินที่มีหมู่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมอยู่ในโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิก เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับกรดจะสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากไฮโดรเจนจากกรดจะเข้าไปแทนที่แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้เกิดเป็นกรดเพคตินิกที่สามารถละลายน้ำได้ กลายเป็นกรดเพคตินิกที่ละลายน้ำได้เรียกเพคตินชนิดนี้ว่า โปรโตเพคติน

3. เพคตินที่มีสูตรโครงสร้างเป็นกรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทอกซิลในโครงสร้าง จะประกอบไปด้วยหน่วยของกรดกาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันอย่างเดี่ยว เพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้ทุกสภาวะ

เพคตินยังสามารถแบ่งได้ตามปริมาณของการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (methoxyl ester) หรือ degree of esterification (DE) ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพคติน การแสดงปริมาณของเอสเทอร์จะอยู่ในรูปแบบของระดับการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ เรียกว่า degree of methoxylation (DM) โดยแบ่งเพคตินได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.) เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ (low methoxyl หรือ LM) $DE < 50\%$ เพคตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะมาช่วยในการขึ้นรูปเจล เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน เป็นต้น

2.) เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง (high methoxyl หรือ HM) $DE > 50\%$ เพคตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลหรือกรดในปริมาณที่เหมาะสม

2.3 ประโยชน์ของเพคติน

เพคตินเป็นสารเติมแต่งจากธรรมชาติที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร และได้รับอนุญาตให้ใช้ทั่วโลก คณะกรรมาธิการ Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้จัดให้เพคตินเป็นวัตถุเติมแต่งอาหารที่ปลอดภัยและไม่จำกัดปริมาณการได้รับของร่างกายต่อวัน ได้มีการนำเพคตินมาใช้เพื่อทำหน้าที่ต่างๆในอาหาร โดยจะถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ช่วยในการก่อตัวเป็นเจล เป็นสารให้ความข้นหนืด และช่วยให้ความคงตัว (Wang และคณะ, 2015) เนื่องจากคุณสมบัติหลากหลายของเพคตินจึงถูกนำมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การใช้ประโยชน์ของเพคตินในผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่ ขนม น้ำผลไม้ และการผสมในผลไม้กวน ลดการสูญเสียในอาหารแช่แข็ง การใช้ในโยเกิร์ตเพื่อป้องกันการลอยตัว หรือการกระจายของชิ้นผลไม้ที่เติมลงไป และประเทศไทยได้นำเข้าเพคตินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาและเทคโนโลยีชีวภาพ นอกจากเพคตินจะใช้ในอุตสาหกรรมโดยตรงแล้ว ยังนำมาเป็น edible fiber ในรูปของอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ช่วยลดคอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด ใช้เป็นเส้นใยอาหารป้องกันโรกระบบทางเดินอาหารและใช้ด้านเภสัชกรรมช่วยเพิ่มการทำงานของยาอีกด้วย (ชวนิษฐ์, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสกัดเพคติน

2.4.1 การใช้กรดในการสกัด

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กรดในการสกัดเพคติน เนื่องจากการใช้สารละลายต่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยา deesterification สูงกว่าการใช้สารละลายกรด การใช้สารละลายต่างทำให้โมเลกุลเพคตินถูกทำลายโดยทำให้สายโมเลกุลสั้นลง ดังนั้นจึงนิยมใช้สารละลายกรดเป็นตัวสกัดเพคติน กรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการสกัดคือ กรดไฮโดรคลอริก กรดซิตริก ที่ช่วงของพีเอช ตั้งแต่ 1.5-3.0 (องอาจ, 2553) การสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟ โดยการใช้กรดช่วยในการสกัด พบว่า การสกัดโดยใช้กรดช่วยเพิ่มผลผลิตของเพคตินในการสกัดได้ (Rodsamran และคณะ, 2019) Chan และ Choo, (2013) สกัดเพคตินจากเปลือกโกโก้ด้วยการใช้กรดต่างชนิดกัน โดยพบว่า การสกัดเพคตินที่ใช้กรดแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อคุณภาพของเพคติน และค่าความเป็นกรดสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของผลผลิตเพคตินเพิ่มขึ้นอีกด้วย

2.4.2 การสกัดเพคตินแบบดั้งเดิมด้วยการใช้น้ำอุณหภูมิสูง

เป็นวิธีที่นำน้ำอุณหภูมิสูงมาใช้ในการต้มสกัดเพคติน และการปรับกรดเพื่อให้ได้ผลผลิตของเพคตินมากยิ่งขึ้น การต้มโดยตรงเป็นวิธีดั้งเดิมของการสกัดเพคตินซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพของเพคตินที่ดี เนื่องจากระยะเวลาที่มากขึ้นจะทำให้เพคตินถูกสกัดออกมาด้วยการให้ความร้อนโดยตรง ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสกัดต้องควบคุมอุณหภูมิ และความดันของระบบให้เพียงพอต่อสภาวะน้ำ และเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการสกัดนานเพื่อให้ได้ผลผลิตเพคตินในปริมาณที่สูงขึ้น Oliveira และคณะ, (2015) ได้ทำการทดลองสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสด้วยวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม ซึ่งใช้เวลาในการสกัดเพคติน 2 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลผลิตเพคตินที่ดี

2.4.3 การสกัดโดยไมโครเวฟ

การสกัดด้วยไมโครเวฟเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม ซึ่งการสกัดด้วยไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการ เช่น เวลาที่ใช้ในการสกัดน้อยกว่า ใช้ตัวทำละลายน้อยกว่า มีอัตราการสกัดที่สูงกว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่า และต้นทุนต่ำ (Maran และคณะ, 2013) ดังนั้นการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่สูง 2450 ล้านรอบ/วินาที จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่มีขั้ว (bipolar molecule) หมุนสั้นไปตามจังหวะความถี่ของคลื่นโมเลกุลของน้ำ ซึ่งมีขั้วจะหมุนขึ้นและลงตามทิศทางของหัวคลื่นสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของน้ำหมุนวนอย่างรวดเร็ว นั้น ก็จะทำให้เกิดการสั่นชนกันเอง และชนกับโมเลกุลอื่นๆ การสั่นอย่างรุนแรงนี้จึงทำให้เกิด “ความร้อน” (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559) โดยหลักการของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟ อาศัยการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟไปยังเซลล์พืช ความร้อนเนื่องจากความถี่จะเข้าไปทำให้โมเลกุลของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้เกิดแรงดันภายในเซลล์ซึ่งส่งผลให้ผนังเซลล์ของพืชเกิดการแตกฉ่ำ และปล่อยสารสำคัญที่มีอยู่ภายในออกมาผสมกับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด (วรางคณา และคณะ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การสกัดโดยอัลตราโซนิค

การสกัดด้วยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมด้วยในการสกัดเป็นวิธีที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตราโซนิค ร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำในการสกัดจากวัตถุดิบ โดยเครื่องมือดังกล่าวจะปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูงออกมาในตัวพา ซึ่งในที่นี้คือตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำ กระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดฟองก๊าซซึ่งเกิดการหดตัวและขยายตัว เมื่อฟองก๊าซเกิดการขยายตัวจะดึงสารที่อยู่ภายในวัสดุออกมาละลายในตัวทำละลาย และในขณะที่ฟองก๊าซแตกออกจะเกิดความดันและความร้อนอย่างมากในบริเวณนั้นซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อของพืชขาด ทำให้สารที่ต้องการสกัดละลายในตัวทำละลายได้ดีขึ้น (ดวงกมล, 2557) ซึ่งมีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิคมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งเพื่อการตรวจวัดคุณภาพ และใช้ในการแปรรูปอาหาร (food processing) เช่น การสกัด การทำให้เกิดอิมัลชัน การทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น รา ยีสต์ และแบคทีเรีย เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ซึ่งอาจใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น การแปรรูปด้วยความร้อน การใช้ความดันสูง นอกจากนี้คลื่นอัลตราโซนิคยังนำมาใช้ในการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ เช่น ผัก ผลไม้ สมุนไพร โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง สิ่งสกปรกจะหลุดออกมาได้ง่ายขึ้นมีการทดลองสกัดเพคตินจากการใช้วิธีอัลตราโซนิค (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, ไม่ปรากฏปี) จากการศึกษาทดลองสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคพบว่า ภายใต้สภาวะการสกัดเพคตินจากวิธีอัลตราโซนิคให้ผลตอบแทนด้านปริมาณของผลผลิตที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการใช้เวลาในการสกัดที่ลดลง (Bagherian และคณะ, 2011)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bagherian และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาผลของพลังงานไมโครเวฟและเวลาในการให้ความร้อนต่อผลผลิตและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากเกรปฟรุ้ต พบว่ามีปริมาณเพคตินสูงที่สุดคือ 27.81% ใช้เวลา 6 นาที และระดับพลังงานที่ 900 วัตต์ พบว่าปริมาณกรดกาแลคเทอโรนิกและระดับของเอสเทอร์รีฟิเคชันได้เพิ่มขึ้นด้วย และยังได้ทำการศึกษาการใช้อัลตราซาวด์ในการสกัดเพคติน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อคุณภาพและปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ 17.92% โดยใช้เวลาอัลตราโซนิคที่ 25 นาที ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิคงที่ 70 °C นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นอัลตราซาวด์กับสารละลายเกรปฟรุ้ตก่อนจะนำไปใช้กับวิธีไมโครเวฟ ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ โดยผลผลิตของการใช้อัลตราซาวด์ก่อนจะนำไปสกัดด้วยไมโครเวฟนั้นให้ผลผลิตที่ 31.88%

Hosseini และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการสกัดเพคตินด้วยไมโครเวฟจากเปลือกส้ม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box–Behnken design โดยนำมาใช้ศึกษาผลของเวลาในการใช้ไมโครเวฟ ระดับพลังงานไมโครเวฟ และค่าพีเอช ต่อผลผลิตเพคตินและระดับของเอสเทอร์รีฟิเคชัน (DE) ของเพคติน ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเพคตินสูงสุด (29.1%) ได้ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.50 พลังงานไมโครเวฟ 700 วัตต์และเวลาการฉายรังสี 3 นาที ค่า DE ของเพคตินอยู่ในช่วง 1.7% ถึง 37.5% ซึ่งบ่งชี้ว่าเพคตินที่ได้รับนั้นมีเมทซิลซินต่ำ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมปริมาณกรดกาแลคเทอโรนิกและกิจกรรมอิมัลซิไฟเออร์คือ $71.0 \pm 0.8\%$ และ 40.7% ตามลำดับ

เอ็กสตรัคชันเพคตินจากผลไม้รสเปรี้ยวโดยใช้การสั่นในเครื่องใช้พลังงานอัลตราโซนิค การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liew และคณะ (2016) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของอัลตราซาวด์ร่วมกับไมโครเวฟในการช่วยสกัด (UMAE) ในส้มโอเปลือกโดยใช้กรดซิตริก ศึกษาผลกระทบของค่าพีเอช เวลาในการใช้อัลตราโซนิก พลังงานไมโครเวฟและเวลาในการใช้ไมโครเวฟ ผลและระดับของ esterification (DE) ของเพคติน ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุดของพีเอช 1.80, เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 27.52 นาที ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ 643.44 วัตต์ ระยะเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 6.40 นาที ปริมาณผลผลิตและระดับการเกิดเอสเทอร์พีเคชั่น (DE) ค่าเพคตินที่ได้มาตามลำดับที่ 38.00% และ 56.88% เพคตินจากไมโครเวฟร่วมกับอัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด (MUAЕ) อัลตราซาวด์ (UAE) และไมโครเวฟ (MAE) ได้รับผลผลิตของเพคตินน้อยกว่าวิธี UMAE ซึ่งวิธี UMAE ได้ผลผลิตสูงกว่าเทคนิคอื่นๆ โดยเรียงลำดับวิธีที่ได้ปริมาณเพคตินได้ดังนี้ UMAE > MUAЕ > MAE > UAE เพคตินที่ได้จากเทคนิคการสกัดร่วมกันได้ผลผลิตสูงกว่าที่ได้รับจากการสกัดด้วยวิธีเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งวิธี UMAE นี้พิสูจน์แล้วได้ผลผลิตสูงสุดของเพคติน คือ 36.33 %

Xu และคณะ (2018) สกัดเพคตินจากเปลือกขนุนโดยเพคตินที่ได้จากเปลือกขนุนจะถูกสกัดโดยใช้กรดอินทรีย์และกรดแร่ธาตุ โดยใช้วิธีการตอบสนองพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ (UMAE) โดยใช้กรดซิตริก โดยเพคตินที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม (CH-P) โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือการใช้อุณหภูมิ 86 °C เวลาในการสกัด 29 นาที และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:48 (w/v) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้ผลผลิตเพคตินที่ 21.5% โดยวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิมในการสกัดให้ผลผลิตเพคตินที่ 17.2% แต่ต้องใช้เวลาในการสกัดถึง 2 ชั่วโมง แต่ในขณะที่การสกัดแบบ UMAE ใช้เวลาเพียง 30 นาทีให้ผลผลิตเพคตินที่ 21.5% โดยกรดซิตริกเป็นตัวทำละลายที่มีข้อดี คือมีความเป็นพิษต่ำและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพวกกรดแร่ธาตุอื่นๆ และวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟนั้นมีข้อดีคือทั้งรวดเร็วและประหยัดพลังงาน อาจเป็นการทดแทนวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิมได้

Gharibzahedi และคณะ (2019) ทำการสกัดเพคตินจากผิวของผลมะเดื่อ โดยศึกษาพารามิเตอร์ 4 ปัจจัยในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นอัลตราซาวด์และไมโครเวฟ ได้แก่ เวลาในการใช้อัลตราซาวด์ (10-30 นาที) พลังงานของไมโครเวฟ (300-600 วัตต์) เวลาในการใช้ไมโครเวฟ (5-15 นาที) และอัตราส่วนของของแข็งและของเหลว (10-30 mL/g) จากการทดลองพบว่า รูปแบบของสมการที่ได้อยู่ในรูปแบบ quadratic model ค่า R-squared อยู่ที่ 0.986 แสดงให้เห็นว่าสมการมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ค่าผลผลิตเพคตินสูงที่สุด (14%) คือเวลาในการใช้อัลตราโซนิกคือ 21.35 นาที พลังงานในการใช้ไมโครเวฟ 580.9 วัตต์ เวลาในการใช้ไมโครเวฟ 11.67 นาที และอัตราส่วนของของแข็งของเหลว 24.66 mL/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yang และคณะ (2019) ได้นำ Box-Behnken design ไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับไมโครเวฟ สำหรับสกัดเพคตินจากมันฝรั่ง โดยใช้วิธีการตอบสนองของพื้นที่ผิวประเมินผลตัวแปร 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิการสกัด ค่าพีเอช และเวลาที่มีผลต่อผลผลิต สภาวะที่ได้จากการสกัดคือ อุณหภูมิ 93 °C, ระดับพีเอช 2.0 และเวลา 50 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด เท่ากับ $22.86 \pm 1.29\%$ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลผลิตที่คาดการณ์ซึ่งบ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือสูงของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น Gal (49.38%) และ GalA (41.78%) เป็นโมโนแซคคาไรด์หลักของเพคตินที่สกัดได้จากมันฝรั่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เพคตินมันฝรั่งที่สกัดได้เป็นเมทิลต่ำ (DM, 32.58%) แต่อะซิติเลตสูง (DA, 17.84%) ซึ่งผลการวิจัยพบว่า UMAE เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดของการสกัดเพคตินมันฝรั่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

- 3.1.1.1 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 3.1.1.2 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.5 โมลาร์
- 3.1.1.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.05 โมลาร์
- 3.1.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 โมลาร์
- 3.1.1.5 กรดกาแลกทูโรนิก ($C_6H_7O_7 \cdot H_2O$)
- 3.1.1.6 คาร์บาซอล ($C_{12}H_9N$)
- 3.1.1.7 ฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$)
- 3.1.1.8 เอทานอล 95% (C_2H_5OH)
- 3.1.1.9 น้ำกลั่น (H_2O)

3.1.2 เครื่องมือ

- 3.1.2.1 เครื่องบดละเอียด Panasonic (MX-AC 400), India
- 3.1.2.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) Memmert (UM 400), Germany
- 3.1.2.3 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง Ohaus (ARC 120), USA
- 3.1.2.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo (MS2045/01), Switzerland
- 3.1.2.5 อ่างอัลตราโซนิก Daihan (WUC-D22H), Korea
- 3.1.2.6 เตาไมโครเวฟ Sumsung (ME 711K), Malaysia
- 3.1.2.7 อุปกรณ์ปรับระดับพีเอช Metter Toledo, Switzerland
- 3.1.2.8 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer Shimadzu (UV-1601), Japan
- 3.1.2.9 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) Eppendorf 5810R Refrigerated, Germany
- 3.1.2.10 เครื่องวัดความหนืด Brookfield (DV-III), USA
- 3.1.2.11 เตาเผา (muffle furnace) Nabertherm (LT 40), Germany
- 3.1.2.12 เตาไฟฟ้า (hot plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.2.14 โถดูดความชื้น (desicator)
- 3.1.2.15 ชุดเครื่องแก้ว (บีกเกอร์, ขวดปรับปริมาตร, ขวดรูปชมพู่)
- 3.1.2.16 ผ้าขาวบาง

3.2 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกส่วนในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง จาก ตลาดสดที่จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้เปลือกส่วนในของส้มโอที่เป็นส่วนบริเวณสีขาวเท่านั้น นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก (ขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร) ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอบแห้ง (tray dry) หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็น จากนั้นบดด้วยเครื่องปั่นละเอียด แล้วนำผงเปลือกส่วนในส้มโอไปบรรจุด้วยระบบสุญญากาศในถุงพลาสติก เก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 25 ± 5 องศาเซลเซียส

3.3 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ

ทดลองเปรียบเทียบการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในของส้มโอโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการสกัดเพคติน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณผลผลิตของเพคตินที่ได้จากการสกัด โดยทดลองเปรียบเทียบวิธีการสกัดเพคตินทั้ง 3 วิธี ได้แก่ 1.) วิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก 2.) วิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ และ 3.) วิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ตามการทดลองดังนี้

3.3.1 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน (ultrasonic-microwave assisted extraction, UMAE)

ผงเปลือกส่วนในส้มโอ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ flask ปรับค่าพีเอช 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ แล้วนำไปสกัดในอ่างอัลตราโซนิกที่ 40 kHz ระยะเวลาในการใช้อัลตราโซนิก 5 นาที, 10 นาที และ 15 นาที และนำส่วนที่ได้จากการสกัดในอัลตราโซนิกไปสกัดในตู้อบไมโครเวฟที่พลังงาน 350 วัตต์, 500 วัตต์ และ 650 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 1 นาที, 2 นาที และ 3 นาที ที่ให้สารละลายเย็นตัว

นำสารตัวอย่างที่ได้จากการสกัดไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) ความเร็วรอบ 9000 rpm เป็นเวลา 20 นาที นำสารตัวอย่างมาแยกส่วนกากออกแล้วนำส่วนเพคตินไปปรับพีเอชที่ 7.0 ± 0.1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ จากนั้นตกตะกอนสารละลายด้วยเอทานอล 95% ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ เพคตินถูกแยกออกจากกันโดยการกรองด้วยผ้าขาวบางและล้างโดยใช้เอทานอล 95% (v/v) และนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำเงื่อนไขการสกัดที่ได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันมาทำการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟเพื่อนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบการทดลอง

3.3.2 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic assisted extraction, UAE)

ชั่งน้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์แล้วปรับพีเอชตามที่ได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ นำตัวอย่างไปสกัดในอ่างอัลตราโซนิกที่ 40 kHz ด้วยระยะเวลาการใช้อัลตราโซนิกตามที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ซึ่งจะไม่ใช่ไมโครเวฟแต่ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ใช้ไมโครเวฟที่ได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนความเร็วรอบ 9000 rpm เป็นเวลา 20 นาที นำสารตัวอย่างมาแยกส่วนกากออกแล้วนำส่วนเพคตินไปปรับพีเอชที่ 7.0 ± 0.1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ตกตะกอนโดยเติมเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:1 เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน แล้วกรองแยกตะกอนด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ล้างตะกอนเพคตินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 หลังจากนั้นอบแห้งตะกอนเพคตินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.3.3 วิธีสกัดเพคตินด้วยวิธีไมโครเวฟ (microwave assisted extraction, MAE)

ชั่งน้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์แล้วปรับพีเอชตามที่ได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตามเงื่อนไขเวลาที่ใช้อัลตราโซนิกที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน เมื่อครบกำหนดเวลานำไปสกัดในตู้อบไมโครเวฟที่พลังงานในการสกัดและเวลาในการสกัดตามที่ได้จากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนความเร็วรอบ 9000 rpm เป็นเวลา 20 นาที นำสารตัวอย่างมาแยกส่วนกากออกแล้วนำส่วนเพคตินไปปรับพีเอชที่ 7.0 ± 0.1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ตกตะกอนโดยเติมเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:1 เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน แล้วกรองแยกตะกอนด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ล้างตะกอนเพคตินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 หลังจากนั้นอบแห้งตะกอนเพคตินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.4 ปริมาณผลผลิตเพคติน

การคำนวณร้อยละปริมาณผลผลิตของเพคติน (yield) ที่ได้จากการสกัด

$$\text{ร้อยละปริมาณผลผลิตเพคติน} = \frac{\text{ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ (กรัม)}} \times 100 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ นำน้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ (กรัม) เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของพอลิเมอร์

3.5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ต่อเนื่องกัน โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification)

3.5.1.2 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid content)

3.5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

3.5.1.1 ความหนืด

นำพอลิเมอร์ที่สกัดออกมาได้นำมาวัดความหนืด โดยทำการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์จากเปลือกส่วนในส้มโอ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 6 และ 9 ทำการละลายพอลิเมอร์ด้วยน้ำกลั่น (วัลภา และกิตติชัย, 2557) นำสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆไปวัดความหนืด ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัวเบอร์ 18 ทำการบันทึกค่าความหนืดหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (centipoise, cPs) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.6 แผนการทดลองและการวิเคราะห์สถิติ

3.6.1 การทดลองหาการสกัดพอลิเมอร์โดยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันในการสกัด

ทำการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแล้วนำไปการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยใช้โปรแกรม Design Expert โดยเลือกระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือค่าพีเอช ในช่วงต่ำเนื่องจากตัวทำละลายที่มีความเป็นกรดสูงมีความสามารถในการละลายพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ กลายเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ซึ่งจะทำให้มีปริมาณของพอลิเมอร์ในการสกัดมากขึ้น ระดับเวลาในการใช้อัลตราโซนิก ทำให้ผลผลิตพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อเวลาในการใช้อัลตราโซนิกเพิ่มขึ้น การลดลงของผลผลิตพอลิเมอร์นี้อาจเกิดจากเวลาที่นานในการสกัดอาจนำไปสู่การสลายตัวของพอลิเมอร์ (Wang และคณะ, 2015) ดังนั้นจึงเลือกช่วงเวลาที่ 5-15 นาที เพื่อไม่ให้เวลาในการใช้อัลตราโซนิกนานจนเกินไป ระดับพลังงานของไมโครเวฟส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ซึ่งระดับพลังงานที่เลือกใช้เป็นช่วงที่ไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัดสามารถทำการทดลองได้ แต่ระดับพลังงานที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเดือดของสารละลาย และรวมถึงระยะเวลาในการใช้ไมโครเวฟเป็นช่วงสั้นๆ เพราะถ้าใช้เวลาอาจเกิดการเดือดของสารละลายทำให้ล้นออกมาจากภาชนะ โดยมีการแสดงระดับปัจจัยในตารางที่ 3.1 เท่านั้น ไม่นิยามให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นจะได้แผนการทดลอง แล้วทำการทดลองหลังนำผลที่ได้จากการทดลองมาบันทึก ข้อมูลจากการสกัดจะวิเคราะห์ข้อมูล แล้วสร้างสมการการทำนายค่าปริมาณของเพคติน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้โปรแกรม Design Expert หลังจากนั้นตรวจสอบสถานะของการสกัด (optimization) และพิสูจน์แบบจำลองจากแผนภาพที่ได้โดยทำการทดลองที่เป็นอิสระ (นอกเหนือจากที่ใช้สร้างแบบจำลอง) ภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัวที่ศึกษาเปรียบเทียบค่าที่สังเกตจากการทำนายเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้แผนการทดลองออกมาเป็นตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken Design ดังตารางที่ 3.2 ได้การทดลองออกมา 29 การทดลอง มีการทำซ้ำที่จุดกลาง 5 ครั้ง

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ตัวแปร	ระดับ		
		-1	0	1
pH	X ₁	1	1.5	2
sonication time	X ₂	5	10	15
microwave power	X ₃	350	500	650
irradiation time	X ₄	1	2	3

3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) การวิเคราะห์ผลทดลองหาสถานะที่เหมาะสมใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง response surface methodology (RSM) ด้วยการออกแบบการทดลอง Box – Behnken design โดยใช้โปรแกรม Design Expert (Version 7.0, Stat-Ease, Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ใช้โปรแกรม SPSS

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบ Box-Behnken ของวิธีการสกัดเพคตินโดยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

Run	pH	sonication time (min.)	power (W)	irradiation time (min.)
1	1	10	500	3
2	1	15	500	2
3	1.5	10	500	2
4	2	15	500	2
5	1.5	10	500	2
6	1.5	10	500	2
7	1	10	500	1
8	2	5	500	2
9	1.5	15	650	2
11	1.5	10	650	3
12	1.5	10	350	1
13	1	10	650	2
14	2	10	500	3
15	1.5	10	500	2
16	1.5	15	500	3
17	1.5	15	500	1
18	1	5	500	2
19	1.5	5	500	3
20	2	10	650	2
21	1.5	5	500	1
22	1.5	10	500	2
23	1.5	10	350	3
24	2	10	500	1
25	1.5	5	350	2
26	1.5	5	650	2
27	1.5	10	650	1
28	2	10	350	2
29	1	10	350	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

4.1.1 ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

จากการประมวลผลโดยโปรแกรม จะได้แผนการทดลองออกมาเป็นตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken design ได้การทดลองออกมา 29 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลาง 5 ครั้ง เมื่อทำการทดลองจะได้ผลการทดลองของปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้จากการทดลองและการทำนาย ดังตารางที่ 4.1

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ทำให้ได้ผลดังตารางที่ 4.2 แบบจำลอง (model) มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความไม่สมมูลของรูปแบบจำลอง (lack of fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) มีค่าเท่ากับ 0.8788 ดังนั้นแบบจำลองมีความแม่นยำในการนำไปทำนายผลการทดลอง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองในรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง (quadratic model) มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เพื่อทำนายผลผลิตของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน โดยแบบจำลองถูกนำมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการสกัดและผลผลิตที่ต้องการแสดงดังสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{Yield (\%)} = & -73.06231 + 56.97900X_1 - 1.53373X_2 + 0.28086X_3 + 2.87633X_4 + 0.026000X_1X_2 + \\ & 0.047567X_1X_3 + 0.78000X_1X_4 - 0.000493333X_1X_4 + 0.39500X_2X_4 + 0.00333333X_3X_4 - \\ & 24.34133X_1^2 + 0.044937X_2^2 - 0.000321793X_3^2 - 2.18654X_4^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ	X_1 คือ ระดับพีเอชในการสกัด
	X_2 คือ เวลาในการใช้อัลตราโซนิก (นาที)
	X_3 คือ ระดับพลังงานของไมโครเวฟ (วัตต์)
	X_4 คือ ระยะเวลาในการใช้ไมโครเวฟ (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสถานะผลการทดลองปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้จากการทดลองกับการทำนาย

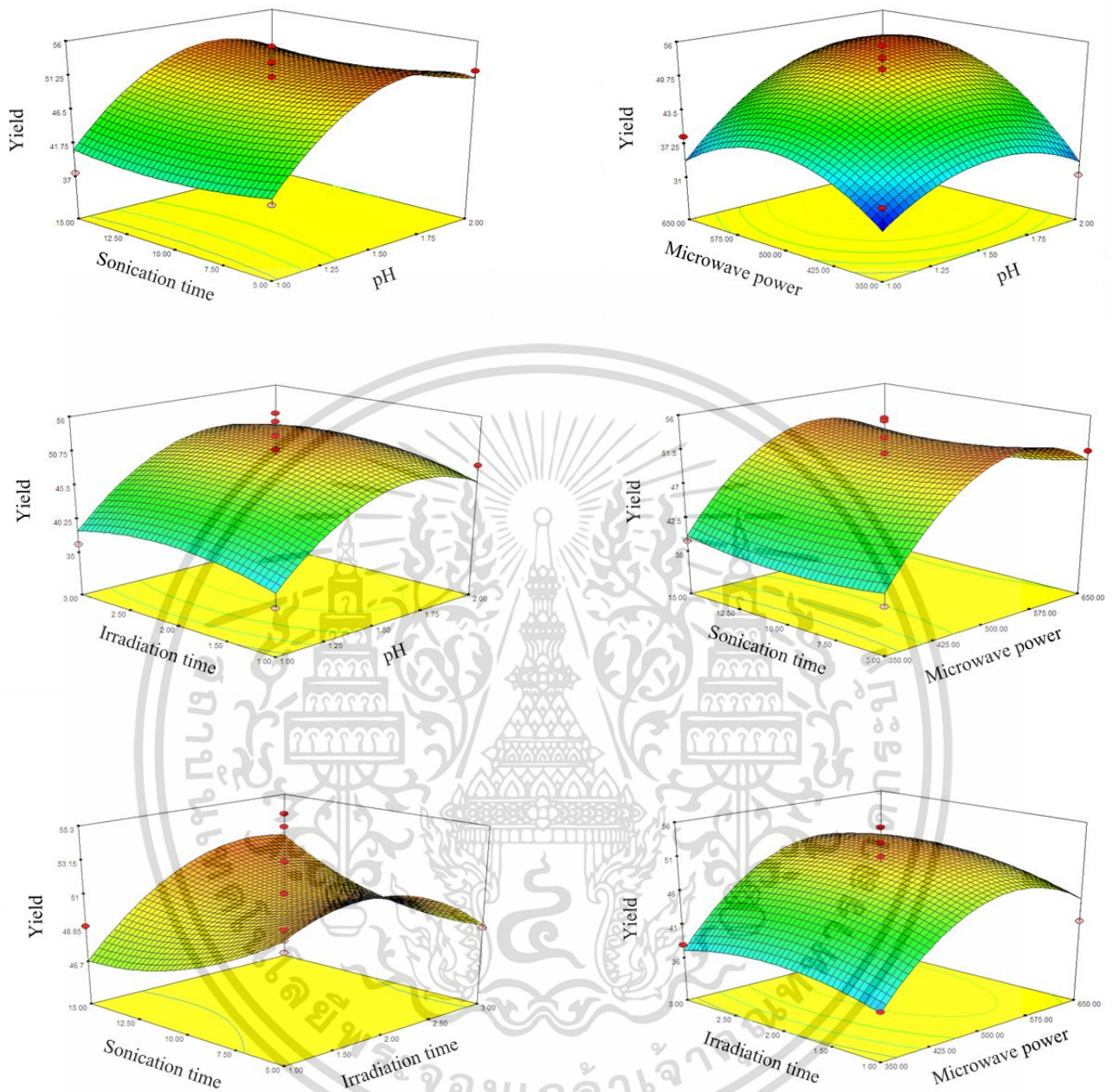
Run	pH	sonication time (min.)	power (W)	irradiation time (min.)	Yield (%)	
					Measured	predicted
1	1	10	500	3	36.27	38.43
2	1	15	500	2	37.47	40.88
3	1.5	10	500	2	47.27	50.95
4	2	15	500	2	48.93	50.57
5	1.5	10	500	2	55.26	50.95
6	1.5	10	500	2	53.10	50.95
7	1	10	500	1	35.20	37.37
8	2	5	500	2	51.93	50.97
9	1.5	15	650	2	51.06	49.02
10	1.5	15	350	2	39.40	40.12
11	1.5	10	650	3	45.20	47.76
12	1.5	10	350	1	36.40	36.28
13	1	10	650	2	38.73	34.10
14	2	10	500	3	51.33	48.76
15	1.5	10	500	2	51.07	50.95
16	1.5	15	500	3	54.00	52.51
17	1.5	15	500	1	49.00	46.73
18	1	5	500	2	40.73	41.54
19	1.5	5	500	3	48.90	49.09
20	2	10	650	2	48.93	50.79
21	1.5	5	500	1	51.80	51.21
22	1.5	10	500	2	48.07	50.95
23	1.5	10	350	3	38.00	37.12
24	2	10	500	1	48.70	46.15
25	1.5	5	350	2	38.26	39.90
26	1.5	5	650	2	51.40	50.29
27	1.5	10	650	1	41.60	44.93
28	2	10	350	2	31.46	34.01
29	1	10	350	2	35.53	31.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง Box-Behnken design

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F	
Model	1196.84	14	85.49	7.25	0.0003	significant
X ₁	274.09	1	274.09	23.24	0.0003	
X ₂	0.83	1	0.83	0.071	0.7944	
X ₃	279.08	1	279.08	23.66	0.0003	
X ₄	10.08	1	10.08	0.85	0.3708	
X ₁ X ₂	0.017	1	0.017	0.001433	0.9703	
X ₁ X ₃	50.91	1	50.91	4.32	0.0566	
X ₁ X ₄	0.61	1	0.61	0.052	0.8236	
X ₂ X ₃	0.55	1	0.55	0.046	0.8325	
X ₂ X ₄	15.60	1	15.60	1.32	0.2694	
X ₃ X ₄	1.00	1	1.00	0.085	0.7752	
X ₁ ²	240.20	1	240.20	20.36	0.0005	
X ₂ ²	8.19	1	8.19	0.69	0.4188	
X ₃ ²	340.04	1	340.04	28.83	<0.0001	
X ₄ ²	31.01	1	31.01	2.63	0.1272	
Lack of Fit			12.01	1.07	0.5193	not significant
R ²	0.8788					
Adj R ²	0.7575					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 พื้นที่ผิวตอบสนองของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน (ก.) พีเอชและเวลาในการใช้อัลตราโซนิก (ข.) พีเอชและระดับพลังงานของไมโครเวฟ (ค.) พีเอชและเวลาในการใช้ไมโครเวฟ (ง.) เวลาในการใช้อัลตราโซนิกและระดับพลังงานของไมโครเวฟ (จ.) เวลาในการใช้อัลตราโซนิกและเวลาในการใช้ไมโครเวฟ และ (ฉ.) ระดับพลังงานของไมโครเวฟและเวลาในการใช้ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการพหุนามกำลังสอง (สมการที่ 4.1) นำมาสร้างเป็นพื้นที่ผิวตอบสนองสามมิติเพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเพคตินจากตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเพคตินจากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน ได้แก่ ระดับพีเอชในการสกัดและระดับพลังงานของไมโครเวฟ และระดับพีเอช-ระดับพลังงานของไมโครเวฟ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเวลาในการใช้อัลตราโซนิกและเวลาในการใช้ไมโครเวฟไม่ส่งผลต่อผลผลิตของเพคติน ($p > 0.05$) จากภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของเพคติน จากที่เห็นในภาพ 4.1 (ก.), (ข.) และ (ค.) ผลผลิตของเพคตินเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 1.77 โครงสร้างของพืชถูกทำให้ร้อนในสารละลายกรด โครงสร้างของเซลล์มีแนวโน้มที่จะสลายตัวและเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะถูกละลายเป็นเพคตินที่สามารถละลายน้ำได้ (Garna และคณะ, 2010) ดังนั้นจึงสอดคล้องกับ การผลิตเพคตินจากมันฝรั่งที่ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอช เพิ่มขึ้นจาก 1.0 เป็น 2.0 (Yang และคณะ, 2019) และเช่นเดียวกับ Maran และคณะ (2013) การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโดยใช้ไมโครเวฟในการสกัด พบว่า ผลผลิตของเพคตินเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง ตัวทำละลายที่มีความเป็นกรดต่ำมีความสามารถในการเพิ่มผลผลิตของเพคตินได้ แต่เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ผลผลิตของเพคตินก็จะลดลง เนื่องจากเพคตินภายในเกิดการรวมตัวกันภายในวัตถุดิบ จึงทำให้เพคตินละลายออกมาได้น้อย และจากภาพที่ 4.1 (ข.), (ง.) และ (จ.) พลังงานไมโครเวฟเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพคติน โดยพบว่าผลผลิตเพคตินเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อระดับพลังงานเท่ากับ 572 วัตต์ อย่างไรก็ตามเมื่อระดับพลังงานสูงเกินไป ผลผลิตรวมของเพคตินจะลดลง อาจเป็นเพราะวัตถุดิบที่แตกต่างกันมีพลังงานในการใช้พลังงานของไมโครเวฟที่เหมาะสมแตกต่างกัน ถ้าให้พลังงานที่สูงเกินไปสำหรับสารละลายอาจรบกวนการทำงานของโมเลกุลอย่างรุนแรงได้ ทำให้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของเพคติน (Yan และคณะ, 2010)

4.2 การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิก ร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน (UMAЕ)

จากสมการพหุนามกำลังสอง และพื้นที่ผิวตอบสนอง การสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตของเพคตินสูงสุดอยู่ที่ ระดับพีเอช 1.77 เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 14.96 นาที ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 572 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 2.6 นาที ได้ปริมาณเพคตินจากการสกัดเปลือกส่วนในส้มโอที่ร้อยละ 55.28 หลังจากนั้นนำสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการทดลองการสกัดจำนวน 3 ครั้งเพื่อทวนสอบสมการที่ได้ โดยทำการปรับค่าเพื่อให้สามารถปรับใช้กับการทดลองได้จริง ที่ระดับพีเอช 1.8 เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 15 นาที ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 600 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 3 นาที ทำให้ได้ค่าผลผลิตจากการทดลองในการสกัดที่ร้อยละ 53.77 ± 0.68 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าความคลาดเคลื่อน 2.7% สามารถนำการสกัดด้วยการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันไปใช้ในการสกัดเพคตินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอ

หลังจากได้การสกัดด้วยการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน นำมาทำการทดลองเปรียบเทียบการสกัดเพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของเพคติน โดยมีวิธีทั้ง 3 วิธี ได้แก่ 1. การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน 2. การสกัดเพคตินโดยใช้อัลตราโซนิก และ 3. การสกัดเพคตินโดยใช้ไมโครเวฟ ดังตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอพบว่า ปริมาณผลผลิตของเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน มีปริมาณสูงที่สุด ลำดับถัดมาคือการใช้ไมโครเวฟในการสกัดและการใช้อัลตราโซนิกเพียงอย่างเดียวเป็นวิธีการสกัดที่ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินน้อยที่สุด ซึ่งLiew และคณะ (2016) ได้สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดแบบเดี่ยวและแบบผสม พบว่าการสกัดแบบผสมทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินมากที่สุด และ Xu และคณะ (2018) ได้ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกขนุน โดยใช้วิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม พบว่าการสกัดแบบใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ทำให้ได้ผลผลิตเพคตินมากกว่า แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีสกัดร่วมกันมีศักยภาพและประสิทธิภาพมากขึ้นที่ทำให้ได้ผลผลิตเพคตินสูงขึ้น โดยมีข้อดีคือใช้เวลาน้อย ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพสูง จากวิธีการสกัด UMAE ที่ให้ผลผลิตดีกว่าอาจเป็นเพราะผลจากคลื่นอัลตราโซนิกทำให้เกิดการแตกตัวของเนื้อเยื่อของพืช ส่งผลให้พืชปล่อยสารประกอบที่ต้องการออกมา ต่อจากนั้นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วของไมโครเวฟจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชแตกได้อย่างสมบูรณ์ และทำให้ได้สารประกอบที่ต้องการ (Liew และคณะ, 2016)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณผลผลิตของเพคตินจากการสกัดด้วยวิธี UAE, MAE และ UMAE

วิธีการสกัด	ปริมาณผลผลิตของเพคติน (%)	เงื่อนไข
UAE	27.31 ± 0.57 ^a	pH=1.77, sonication time=15 min.
MAE	45.85 ± 0.17 ^b	pH=1.77, microwave power=600 W, irradiation time=3 min.
UMAE	53.77 ± 0.68 ^c	pH=1.77, sonication time=15 min, microwave power=600 W, irradiation time=3 min.

หมายเหตุ a,b,c แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

UAE คือ การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก

MAE คือ การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ

UMAE คือ การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน

เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ, วิธีอัลตราโซนิก, วิธีไมโครเวฟ และเพคตินทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า

ชนิดของเพคติน	คุณสมบัติของเพคติน	
	ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (DE%)	ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (GalA%)
UAE	63.47 ± 0.39 ^a	45.12 ± 0.60 ^a
MAE	64.33 ± 0.80 ^a	49.30 ± 0.49 ^b
UMAE	69.10 ± 0.22 ^b	65.18 ± 0.20 ^c
CMP	71.32 ± 0.19 ^c	82.52 ± 0.56 ^d

หมายเหตุ	^{a,b,c} แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
UAE	คือ การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก
MAE	คือ การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ
UMAE	คือ การสกัดโดยใช้วิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน
CMP	คือ เพคตินทางการค้า

4.4.1 ระดับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification)

เพคตินแต่ละชนิดจะมีหมู่ carboxyl ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ (esterified) ด้วยหมู่เมทิลได้ต่างกัน อัตราส่วนของหมู่เมทิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์จะแสดงในรูปของระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันหรือเรียกย่อว่า ค่า DE ซึ่งจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ต่อจำนวนกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด ค่า DE เป็นสมบัติเฉพาะของเพคติน มีผลต่อการเกิดเจลและการละลายน้ำของเพคติน (องอาจ, 2553) ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันใช้ในการจำแนกประเภทของเพคตินตามจุดประสงค์ของผู้ที่ต้องการนำเพคตินไปใช้ ค่า DE ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปหรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ 8.16% ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิด high methoxyl pectin (HM) หากค่า DE ต่ำกว่า 50% หรือมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่า 8.16% จัดเป็นเพคตินชนิด low methoxyl pectin (LM) โดยจากตารางที่ 4.4 เพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอมีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่า 50% และมีปริมาณต่างกันเล็กน้อย (63.47-69.10%) จึงจัดเป็นเพคตินประเภท high methoxyl pectin จะเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้มากกว่าร้อยละ 55 ใช้กับอาหารที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 3.5 (หยาดรุ่ง และคณะ, 2562) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ทำแยม และผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ระดับการเกิดค่าDEของเพคตินจากการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิค และเพคตินที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับเพคตินที่สกัดด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ เพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอและเพคตินทางการค้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเพคตินทางการค้าเป็นเพคตินประเภทเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว (rapid-set pectin) ระดับการเกิดเอสเทอร์พีเคชั่นของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดเป็นเพคตินประเภท high methoxyl pectin สอดคล้องกับงานวิจัยที่สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอของ Liew และคณะ (2019), Bagherian และคณะ (2011) และ Quoc และคณะ, (2015)

4.4.2 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid content)

กรดกาแลคทูโรนิกเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่กำหนดคุณภาพของเพคตินและเป็นโครงสร้างหลักของเพคตินเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -1,4 โดยเพคตินที่สกัดได้จะมีความบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Liang และคณะ, 2012) จากตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพคตินที่สกัดจากวิธีอัลตราโซนิค วิธีไมโครเวฟ วิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน และเพคตินทางการค้า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกอยู่ที่ร้อยละ 45.12, 49.30, 65.18 และ 82.52 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกตั้งแต่ร้อยละ 65 ขึ้นไปสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้เนื่องจากเพคตินมีความบริสุทธิ์ เพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกต่ำกว่าเพคตินทางการค้า เนื่องจากอาจมีองค์ประกอบอื่นในโครงสร้างของเปลือกส้มโอตกตะกอนออกมา เช่น เฮมิเซลลูโลส รวมถึงมีเถ้าปนมาด้วย ทำให้เพคตินเกิดความไม่บริสุทธิ์ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่สกัดได้จากการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน (UMAE) มีค่าใกล้เคียงกับเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มด้วยวิธีไมโครเวฟ (Hosseini และคณะ, 2016) โดยมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกร้อยละ 71 เพคตินที่สกัดจากเปลือกฝรั่งมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกร้อยละ 65 (องอาจ, 2553) และเพคตินที่สกัดจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ (Liew และคณะ, 2016) มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่ร้อยละ 71 เพคตินที่ได้จากการสกัดอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 35

4.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคติน

4.5.1 ความหนืด (viscosity)

เพคตินที่ได้จากการสกัดจากวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน วิธีอัลตราโซนิค และวิธีไมโครเวฟ นำมาวัดความหนืดโดยใช้ความเข้มข้นระดับต่างๆคือ 1, 3, 6 และ 9 % พบว่าค่าความหนืดของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน มีค่าอยู่ที่ 2.14 ± 0.10 , 7.69 ± 0.69 , 10.58 ± 0.15 และ 12.36 ± 0.11 cPs ค่าความหนืดของเพคตินที่ได้จากวิธีอัลตราโซนิค มีค่าอยู่ที่ 1.69 ± 0.32 , 2.91 ± 0.02 , 5.64 ± 0.11 และ 11.84 ± 0.07 cPs ส่วนค่าความหนืดของเพคตินที่ได้จากไมโครเวฟ มีค่าอยู่ที่ 1.80 ± 0.15 , 5.38 ± 0.43 , 8.16 ± 0.03 และ 11.24 ± 0.08 cPs เมื่อนำเพคตินทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกันพบว่า ความหนืดของเพคตินทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.5 จากการทดลองพบว่าเพคตินทั้ง 3 ชนิดมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของเพคตินมีผลต่อความหนืด เพคตินจากกระบวนการสกัดทั้ง 3 กระบวนการนั้นเมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้นจะให้ความหนืดมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hosseini และคณะ (2016) ซึ่งสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเมื่อนำมาวัดค่าความหนืดที่ความเข้มข้น 0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% พบว่า ความหนืดของเพคตินเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้น

ความหนืดของเพคตินขึ้นกับการจับตัวของโมเลกุล และกระบวนการสกัดส่งผลต่อความหนืดของเพคติน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของความหนืดลดลง Wang และคณะ (2014) สกัดเพคตินโดยการใช้ความร้อนสูง พบว่าอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ส่งผลต่อความหนืดของเพคตินทำให้เพคตินมีความหนืดลดลง เมื่อนำเพคตินมาเปรียบเทียบกับทางการค้า ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.6 และ 0.9 % เพื่อทำให้มีค่าความหนืดอยู่ในระดับเดียวกับผลการทดลองของเพคตินที่สกัดได้จึงต้องลดความเข้มข้นของทางการค้า โดยพบว่ามีความหนืดเท่ากับ 1.83 ± 0.03 , 3.83 ± 0.17 , 5.84 ± 0.09 และ 10.38 ± 0.22 cPs ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าเพคตินจากกระบวนการสกัดต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่าประมาณ 10 เท่า ถึงจะได้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า เนื่องจากเพคตินทางการค้ามีปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิกที่มากกว่าจึงทำให้มีความหนืดมากกว่าเพคตินที่ได้จากกระบวนการสกัด

นอกจากนี้พฤติกรรมการไหลของเพคติน สามารถทราบได้จากการพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress จากภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 พบว่าเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอทั้ง 3 วิธีการสกัดมีพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic หรือ shear thinning ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของของเหลวชนิดนี้ไม่เป็นเส้นตรง พฤติกรรมของไหลของเพคตินที่สกัดจากเปลือกส่วนในส้มโอที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 วิธี ได้ผลเช่นเดียวกับ Liew และคณะ (2016) ที่สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ โดยเพคตินมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic รวมไปถึง Lv และคณะ (2013) และ Wang และคณะ (2016) ที่สกัดเพคตินจากกากน้ำตาลและเพคตินจากเปลือกส้มโอตามลำดับ โดยเพคตินที่ได้เป็นประเภท non-Newtonian ชนิด shear thinning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดของเพคตินที่ได้จากเปลือกส่วนในส้มโอ

ความเข้มข้นของ เพคติน (%)	ความหนืด (cPs)		
	UAE	MAE	UMAE
1.0	1.69 ± 0.32 ^a	1.80 ± 0.15 ^a	2.14 ± 0.10 ^b
3.0	2.91 ± 0.02 ^a	5.38 ± 0.43 ^b	7.69 ± 0.69 ^c
6.0	5.64 ± 0.11 ^a	8.16 ± 0.03 ^b	10.58 ± 0.15 ^c
9.0	11.84 ± 0.07 ^a	11.24 ± 0.08 ^b	12.36 ± 0.11 ^c

หมายเหตุ a,b,c คือ แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

UAE คือ การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก

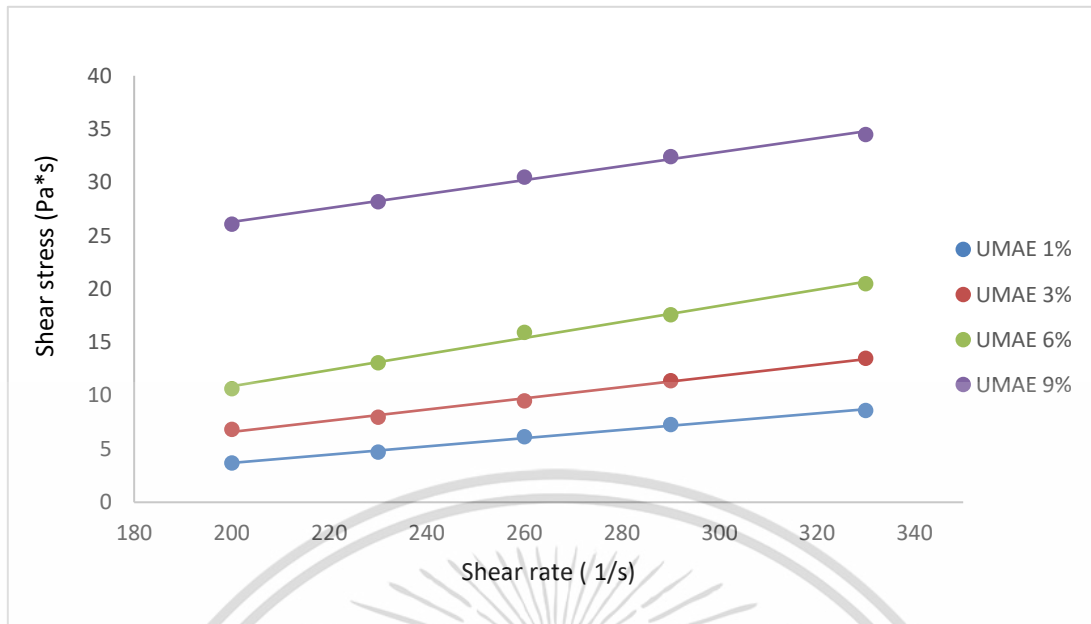
MAE คือ การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ

UMAE คือ การสกัดโดยใช้วิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

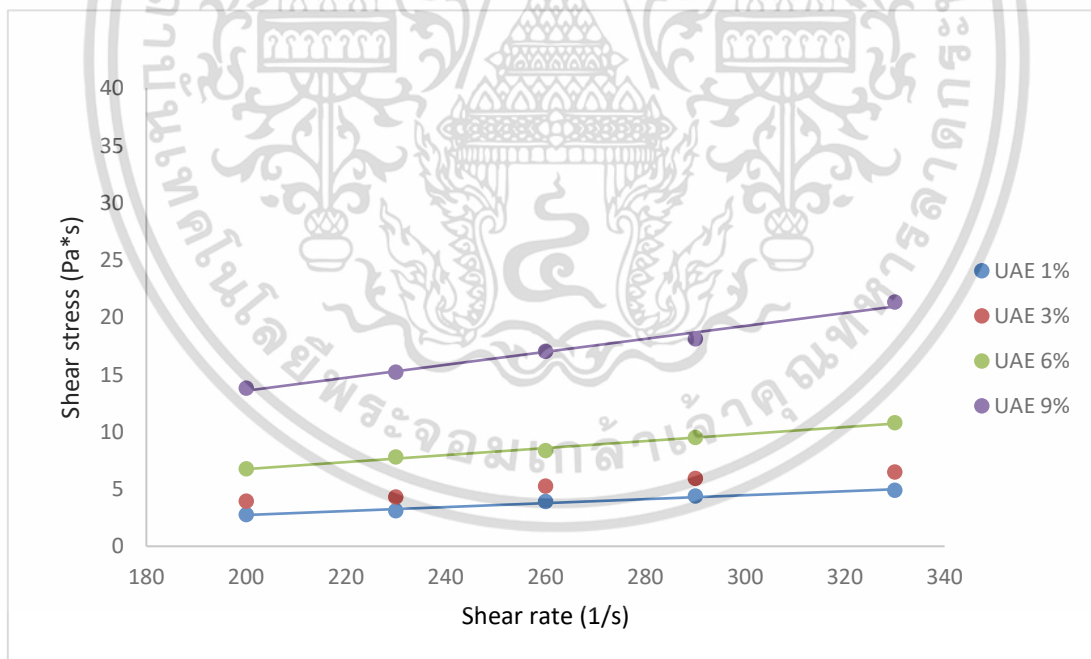
ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของเพคตินทางการค้า (CMP)

ความเข้มข้นของเพคติน (%)	ความหนืด (cPs)
0.1	1.83 ± 0.03
0.3	3.83 ± 0.17
0.6	5.84 ± 0.09
0.9	10.38 ± 0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

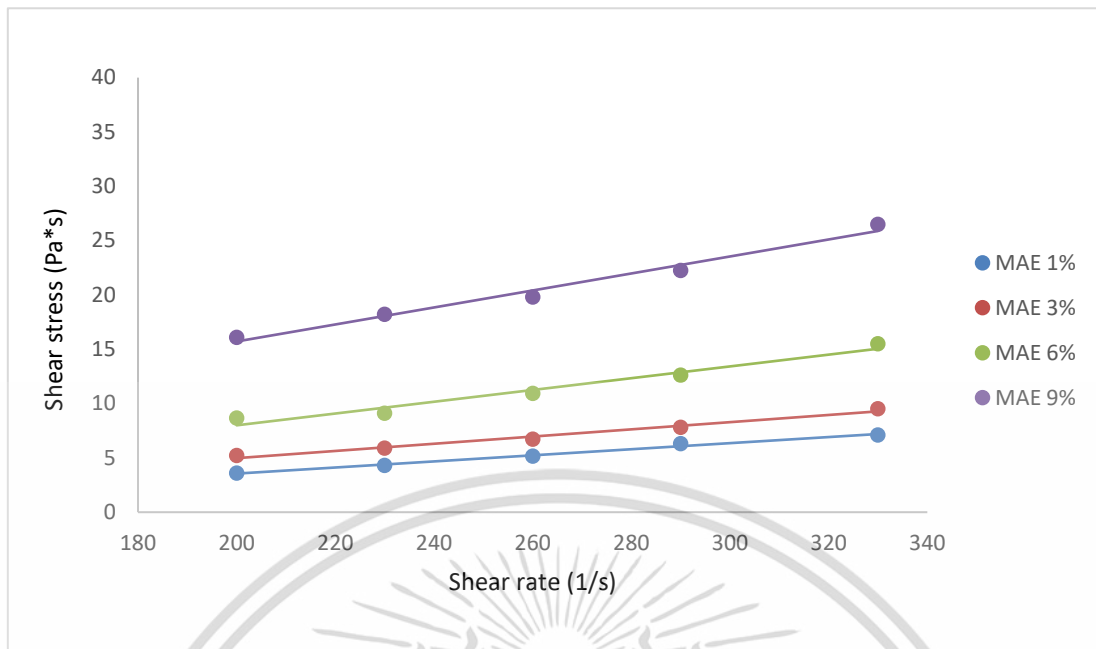


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการสกัดอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน

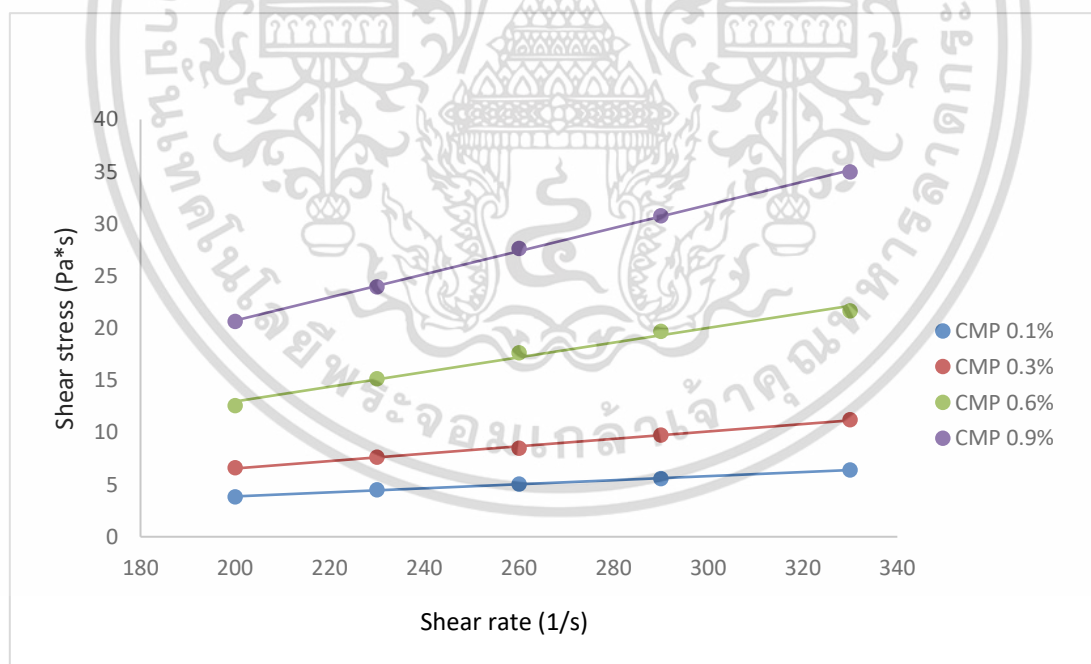


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟในการสกัด



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของเพคตินทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยทดลองสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ต่อเนื่องกัน เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตของเพคตินสูงที่สุด พบว่าวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟที่ระดับพีเอช 1.77 เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 14.96 นาที ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 572 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 2.6 นาที ได้ปริมาณเพคตินจากการสกัดเปลือกส่วนในส้มโอที่ร้อยละ 55.28 หลังจากนั้นนำสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการทดลองการสกัดจำนวน 3 ครั้ง เพื่อทดสอบสมการที่ได้ โดยทำการปรับค่าเพื่อให้สามารถปรับใช้กับการทดลองได้จริง ที่ระดับพีเอช 1.8 เวลาในการใช้อัลตราโซนิก 15 นาที ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 600 วัตต์ และเวลาในการใช้ไมโครเวฟ 3 นาที ทำให้ได้ค่าผลผลิตจากการทดลองในการสกัดที่ร้อยละ 53.77 ± 0.68 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเพคติน คือ ระดับพีเอช และ พลังงานในการใช้ไมโครเวฟ ผลผลิตที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินของการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกัน วิธีอัลตราโซนิก วิธีไมโครเวฟ และเพคตินทางการค้า โดยคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากการสกัด พบว่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก และการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอทั้ง 3 ชนิด พบว่าความหนืดของเพคตินมีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยเพคตินที่สกัดจากวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันมีความหนืดมากกว่า แต่เพคตินจากทั้ง 3 กระบวนการสกัด มีพฤติกรรมการไหลเหมือนกันคือแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic หรือ shear thinning และเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าพบว่าต้องใช้เพคตินจากการสกัดเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า จึงจะให้ความหนืดใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า

การสกัดเพคตินจากวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาสกัดเพคติน โดยมีข้อดีหลากหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพในการสกัดที่สูงขึ้น ระยะเวลาในการสกัดที่สั้นลง และอาจทำให้เพคตินมีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย จากปริมาณผลผลิตของเพคตินที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลตราโซนิกและวิธีไมโครเวฟ แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟต่อเนื่องกันในการสกัดเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเพคตินโดยการทำงานร่วมกันของอัลตราโซนิกและไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้วิธีการสกัดเพคตินในแต่ละวิธีนั้น ผู้ที่สนใจศึกษาจำเป็นต้องพิจารณาในหลากหลายด้าน เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมกับความต้องการ โดยวิธีการสกัดเพคตินด้วยวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ ต่อเนื่องกัน เป็นวิธีการที่ช่วยเสริมการสกัดเพคติน ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยได้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบต่อกระบวนการสกัดเพคตินร่วมกันเทียบกับวิธีการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559). **เตาอบไมโครเวฟ**. เข้าถึงได้จาก <http://www.industry.go.th/industry/index.php/th/knowledge/item/10612-2016-05-23-05-49-52>. 17 มิถุนายน 2563.
- ชวณิชกุล สิริดิตรัตน์. (2548). การผลิตเพคตินจากเปลือกส้มและกากผลส้มเหลือทิ้ง. ในรายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43.469-480.
- ดวงกมล เรือนงาม. (2557). การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ. สารวารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 23(2): 120-139.
- ปีเตอร์. (2018). ส้มโอ. เข้าถึงได้จาก <https://www.thethailandlife.com/taste-bud-tickling-thai-fruits>. 24 กรกฎาคม 2563
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ไม่ปรากฏปีที่ตีพิมพ์. **Pectin / เพกทิน**. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/430/pectin>. 3 เมษายน 2563.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ไม่ปรากฏปีที่ตีพิมพ์. **ของไหลแบบซูโดพลาสติก**. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0456/pseudoplastic-fluid>. 23 มิถุนายน 2563.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ไม่ปรากฏปีที่ตีพิมพ์. **ultrasonic / อัลตราโซนิคส์**. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0535/ultrasonic>. 18 มิถุนายน 2563.
- พีชเกษตร. (2559). **ส้มโอ (Pomelo) สรรพคุณและการปลูกส้มโอ**. เข้าถึงได้จาก <https://puechkaset.com>. 23 เมษายน 2563.
- วัลภา ยาประโคน และ กิตติชัย บรรจง. (2557). คุณลักษณะด้านความหนืดของเพคตินที่สกัดจากเปลือกตาลดิบ. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 52. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 334-339
- วรางคณา สมพงษ์, ภาสกร ชีระศิลป์วิสุกุล และคณิน ศรีสาส์สกุลรัตน์. (2559). การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica L.*) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตอว์เบอร์รี่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24: 288-298.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์, จิรพร สวัสดิการ และรุ่งทิวา สุวรรณรัตน์. (2562). การสกัดและประยุกต์ใช้เพคตินจากเปลือกทุเรียน. วารสารวิจัยรำไพพรรณี. 13(2): 25-37.

องอาจ เต็ดดวง. (2553). การเปรียบเทียบเพคตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพคตินมาตรฐาน. สารนิพนธ์ กศ.ม.(เคมี). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A. and Mohtashamy, M. (2011). **Comparisons between conventional, microwave and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit.** Chemical Engineering and Processing. 50: 1237-1243.

Chan, S. Y., and Choo, W. S. (2013). **Effect of extraction condition on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks.** Food Chemistry. 141: 3752-3758.

Chen, Q., Hu, Z., Yao, F. Y.-D. and Liang, H. (2016). **Study of two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels.** LWT - Food Science and Technology. 66: 538-545.

Garna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K. and Legros, H. (2010). **Effect of extraction conditions on the yield and purity of apple pomace pectin precipitated but not washed by alcohol.** Journal of Food Science. 72(1): 1-9.

Gharibzahedi, S. M. T., Smith, B. and Guo, Y. (2019). **Ultrasound-microwave assisted extraction of pectin from fig (*Ficus carica L.*) skin: Optimization, characterization and bioactivity.** Carbohydrate Polymers. 222: 114992.

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F. and Yarmand, M.S. (2016). **Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties.** Carbohydrate Polymers. 140: 59-65.

Liang, R., Chen, J., Liu, W., Liu, W., Liu, C., Yu, W., Yuan, M. and Zhou, X. (2012). **Extraction, characterization and spontaneous gel-forming property of pectin from creeping fig (*Ficus pumila Linn.*) seeds.** Carbohydrate polymers. 87(1): 76-83.

Liew, S. Q., Ngoh, G. C., Yusoff, R. and Teoh, W. H. (2016). **Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels.** International Journal of Biological Macromolecules. 93: 426-435.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Liew, S. Q., Teoh, W. H., Yusoff, R. and Ngoh, G. C. (2019). **Comparisons of process intensifying methods in the extraction of pectin from pomelo peel.** *chemical Engineering & Processing: Process Intensification*. 143: 107586.
- Lv, C., Wang Y., Wang, L., Li, D. and Adhikari B. (2013). **Optimization of production yield and functional properties of pectin extracted from sugar beet pulp.** *Carbohydrate Polymers*. 95: 233-240.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. and Sridhar, R. (2013). **Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel.** *Carbohydrate Polymers*. 97: 703– 709.
- Methacanon, P., Krongsin, J. and Gamonpilas, C. (2014). **Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties.** *Food Hydrocolloids*. 35:383-391.
- Oliveira, C. F. d., Giordani, D., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F. and Marczak, L. D. F. (2015). **Extraction of pectin from passion fruit peel using moderate electric field and conventional heating extraction methods.** *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 29: 201-208.
- Quoc, L. P. T., Huyen, V. T. N., Hue, L. T. N., Hue, N. T. H., Thuan, N. H. D., Tam, N. T. T., Thuan, N. N. and Duy, T. H. (2015). **Extraction of pectin from pomelo (*Citrus maxima*) peels with the assistance of microwave and tartaric acid.** *International Food Research Journal*. 22(4): 1637-1641.
- Rangana, S. (1997). **Manual of analysis of fruit and vegetable product.** New delhi: McGraw Hill.
- Rodsamran, P. and Sothornvit, R. (2019). **Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method.** *Food Chemistry*. 278: 364–372.
- Wang, X., Chen, Q. and Lü, X. (2014). **Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by sub critical water.** *Food Hydrocolloids*. 38: 129-137.
- Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T. and Liu, D. (2015). **Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method.** *Food Chemistry*. 178: 106–114.

- Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J. and Liu, D. (2016). **Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions.** *Food Hydrocolloids*. 61: 730-739.
- Xu, S.-Y., Liu, J.-P., Huang X., Du, L.-P., Shi, F.-L., Dong R., Huang X.-T., Zheng, K., Liu, Y. and Cheong K.-L. (2018). **Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit peel.** *Food Science and Technology*. 90: 577-582.
- Yan, M.-M., Liu, W., Fu, Y.-J., Zu, Y.-G., Chen, C.-Y. and Luo, M. (2010). **Optimisation of the microwave-assisted extraction process for four main astragalosides in Radix Astragali.** *Food Chemistry*. 119: 1663-1670.9
- Yang, J.-S., Mu, T.-H. and Ma, M.-M. (2019). **Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization.** *Food Chemistry*. 289: 351-359.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดเพคติน

1. การสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ (UMAE)

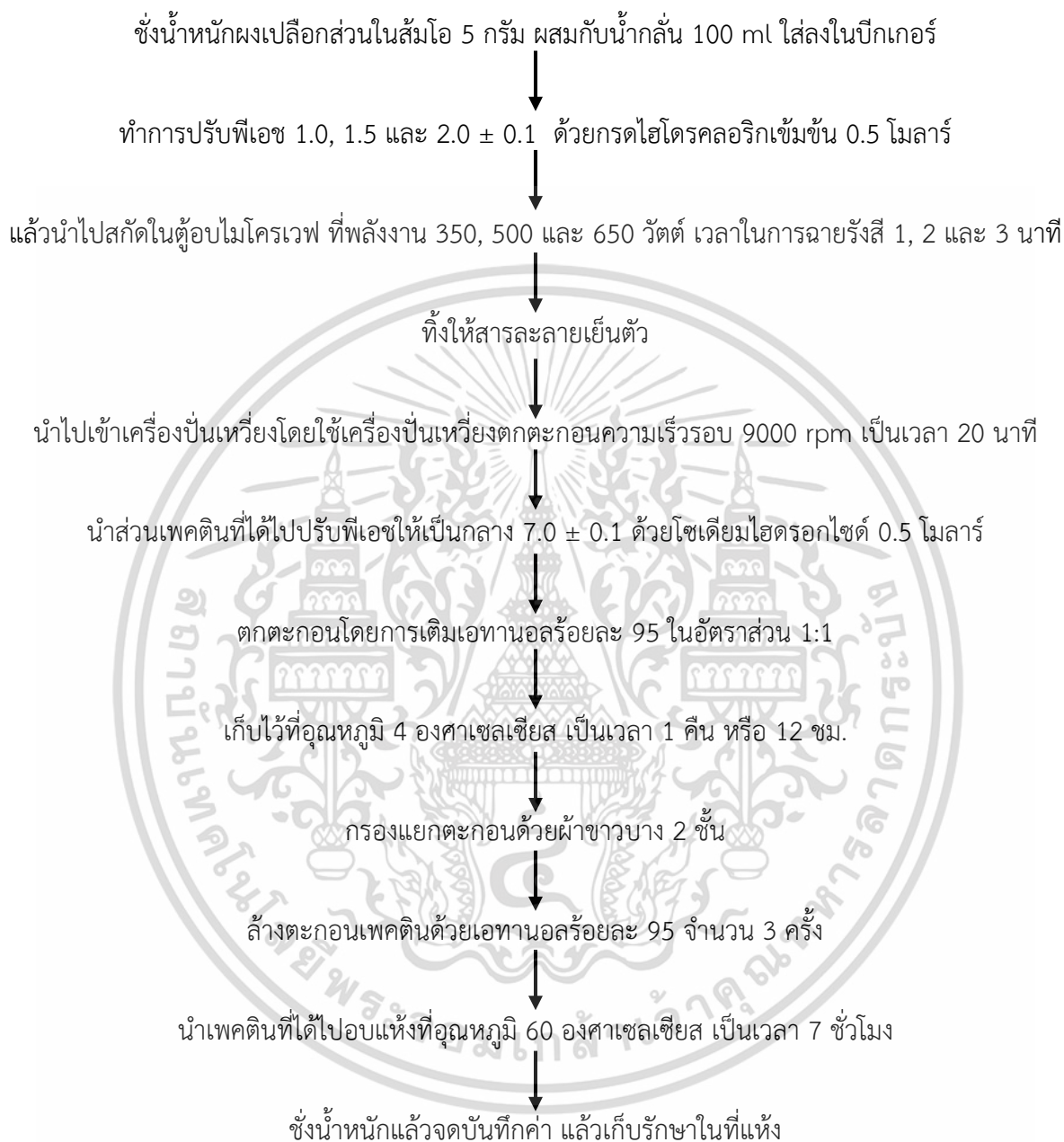


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้อัลตราโซนิก (UAE)



3. การสกัดเพคตินด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟ (MAE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. ปริมาณของผลผลิตเพคติน (Yield%)

$$\text{ปริมาณผลผลิตของผลผลิตเพคตินที่ได้ (Yield\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเพคตินจากเปลือกส่วนในส้มโอที่สกัดได้} = 12.5471$$

$$\text{น้ำหนักผงเปลือกส่วนในส้มโอ} = 15$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณผลผลิตของผลผลิตเพคตินที่ได้ (Yield\%)} &= \frac{12.5471}{15} \times 100 \\ &= 82.65\% \end{aligned}$$

2. การวิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน, DE (Rangana, 1997)

2.1 อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

2.2 สารเคมี

1. เอธิลแอลกอฮอล์
2. น้ำกลั่น
3. ฟีนอล์ฟทาลีน
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 0.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเอธิลแอลกอฮอล์ลงไป 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในขวดรูปชมพู่ 5 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น V_1)
3. เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ ทิ้งไว้ 15 นาที
4. เติมน้ำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูจางหายไป
5. เติมน้ำฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น V_2)

การคำนวณหาร้อยละของ degree of esterification จากสมการ

$$DE (\%) = \frac{\text{ปริมาตร } NaOH (V_2)}{\text{ปริมาตร } NaOH (V_1) + \text{ปริมาตร } NaOH (V_2)} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Rangana, 1997)

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
2. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร, 10 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร, 100 มิลลิลิตร
4. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. หลอดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดกาแลคทูโรนิก
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์
4. สารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1
5. สารละลายกรดซัลฟิวริก

3.3 วิธีการการทำกราฟมาตรฐาน

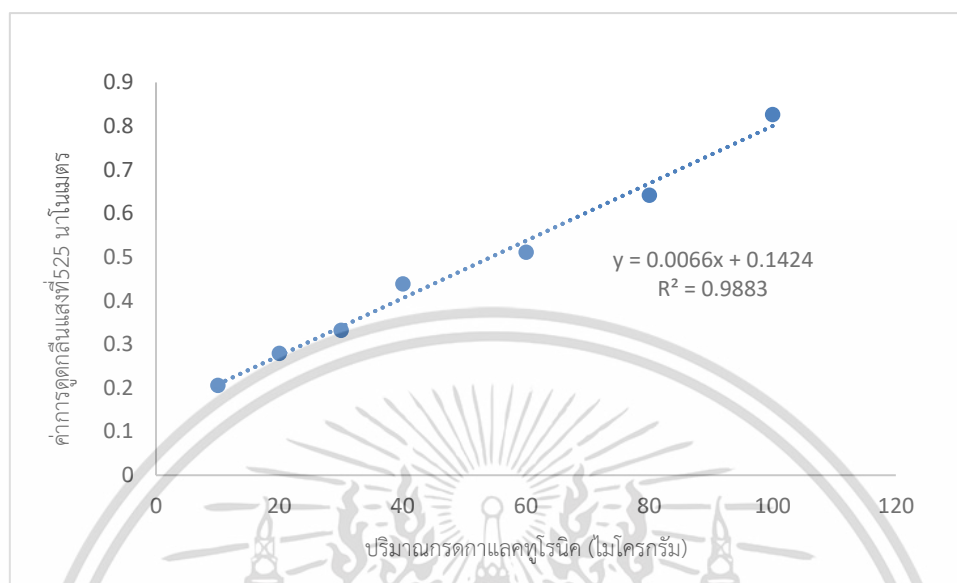
1. ชั่งน้ำหนักกรดกาแลคทูโรนิก 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2 มาปริมาตร 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตรอย่างละ 1 ขวดพร้อมกับปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร
4. ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3 ใส่ลงในหลอดทดลอง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน
6. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 25 นาที
7. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดูดกลืนแสง

3.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักเพคติน 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมกับปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2 ลงในหลอดทดลอง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน
5. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 25 นาที
6. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก

จากกราฟมาตรฐาน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในหน่วยไมโครกรัม



ภาพภาคผนวก ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

การคำนวณ

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน $y = ax + b$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานหลังจากหักลบ Blank

a คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

x คือ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน ทำให้ได้ค่า y นำไปแทนในสมการข้างต้น เพื่อคำนวณหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจำเป็นต้องนำมาคำนวณให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมของตัวอย่างเริ่มต้น

ตัวอย่างการคำนวณ

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายเพคตินในสมการกราฟมาตรฐาน

$$y = 0.0066x + 0.1424$$

หมายเหตุ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 525 นาโนเมตร

x คือ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (ไมโครกรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง คือตัวอย่าง คือ 0.531

$$\text{แทนค่า } y \text{ ด้วย } 0.531 \text{ คือ } 0.531 = 0.0066x + 0.1424$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = (0.531 - 0.1424) / 0.0066$$

$$x = 58.87$$

ดังนั้น เพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 58.87 ไมโครกรัม

ตัวอย่างสารละลายเพคตินที่ใช้ 1.0 มิลลิลิตร (1000 ไมโครลิตร) จึงมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{กรดกาแลคทูโรนิก} &= 53.28 \mu\text{g}/1000 \mu\text{l} \\ &= 0.05887 \mu\text{g}/\mu\text{l} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างความเข้มข้นของสารละลายเพคติน 0.1 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร จึงมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเท่ากับ 0.05328 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร ถ้าความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (เปอร์เซ็นต์)} &= (100 \times 0.05887) / 0.1 \\ &= 58.87 \end{aligned}$$

ดังนั้นเพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 58.87% w/w

4. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield (วัลภา และกิตติชัย, 2557)

4.1 วิเคราะห์

Brookfield viscometer เป็นเครื่องวัดความหนืดโดยตัวเครื่องประกอบด้วย แท่งโลหะทรงกระบอก (spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้หมุนได้โดยต่อกับมอเตอร์ การวัดความหนืดจะวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นค่า Torque และนำมาคำนวณ โดยการคูณด้วยค่าคงที่ ตามที่กำหนดตามกับเครื่อง หรือสามารถอ่านค่า เป็น centipoise ได้โดยตรงจากเครื่อง

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Brookfield viscometer
2. ชุด small sample adapter
3. หัววัดเบอร์ 18

4.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวัด

เตรียมสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 6, และ 9 ละลายผงเพคตินในน้ำกลั่น นำสารละลายเพคตินความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัววัดเบอร์ 31 บันทึกค่าความหนืดหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (centipoise, cPs) บันทึกค่า shear rate และ shear stress แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตู้อบลมร้อน (hot air oven)



ภาพภาคผนวก ง 1 เครื่องมือที่ใช้ในการอบตัวอย่างเพคติน

ชุดเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)



ภาพภาคผนวก ง 2 เครื่องมือที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ตัวอย่างตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)



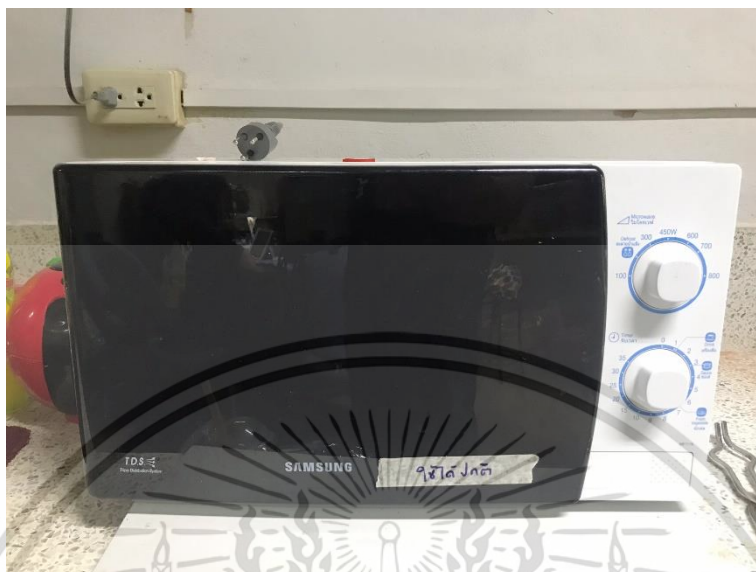
ภาพภาคผนวก ง 3 เครื่องที่ใช้ในการวัดค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย

เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 4 ตำแหน่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาไมโครเวฟ (microwave oven)



ภาพภาคผนวก ง 5 เตาไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัดเพคติน

ชุด small sample adapter ในการวัดความหนืด



ภาพภาคผนวก ง 6 ชุด small sample adapter ที่ใช้ในการวัดความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามแล้วสำหรับใช้ในพิธีการเท่านั้น เมื่อผู้ยื่นใบเสนอราคาขอซื้อสินค้าและบริการใดๆ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ซ้ำหรือแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นางสาว นัชชา กุลทอง
วัน เดือน ปีเกิด	21 สิงหาคม 2537
ที่อยู่	107/7 ถนนขุนช้าง ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสงวนหญิง จังหวัดสุพรรณบุรี ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559 ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรม เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2560
ผลงาน	Kulthong, N. and Banjong, K. (2020). Optimization ultrasonic-microwave assisted extraction of pectin from pomelo peel. In Proceeding of International Conference on Food and Applied Bioeience (FAB2020). Chiang mai: 357-363.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้