

การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน

และหม้อแรงดันไมโครเวฟ

EXTRACTION OF PECTIN FROM SOY HULL USING AUTOCLAVE AND
MICROWAVE PRESSURE COOKER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-336

การสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนิ่งความดัน

และหม้อแรงดันไมโครเวฟ

EXTRACTION OF PECTIN FROM SOY HULL USING AUTOCLAVE AND
MICROWAVE PRESSURE COOKER



ภัทรนันท์ จารุดุล

PATARANAN CHARUDUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนิ่งความดัน

และหม้อแรงดันไมโครเวฟ

EXTRACTION OF PECTIN FROM SOY HULL USING AUTOCLAVE
AND MICROWAVE PRESSURE COOKER



ภัทรนันท์ จารุดุล

PATARANAN CHARUDUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRACTION OF PECTIN FROM SOY HULL USING AUTOCLAVE
AND MICROWAVE PRESSURE COOKER



PATARANAN CHARUDUL

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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-AI-M-053-336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดันและหม้อแรงดันไมโครเวฟ
EXTRACTION OF PECTIN FROM SOY HULL USING AUTOCLAVE AND MICROWAVE PRESSURE COOKER

ชื่อนักศึกษา นางสาวภัทรนันท์ จารุคุณ
รหัสประจำตัว 60608016
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติชัย บรรจง	
รศ.ดร.สนธิสุข วีระชัยชยติ	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 10 กรกฎาคม 2562 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)
คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
วันที่ 18 เดือน กค พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันไมโครเวฟ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวภัทรนันท์ จารุตุล
รหัสประจำตัว	60608016
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันไมโครเวฟ ด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology) และเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัตินิเวศของเพกทินที่สกัดได้ กับเพกทินทางการค้า ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินด้วยหม้อนึ่งความดันคือ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที ระดับพีเอช 2.54 ให้ผลผลิตเพกทินเท่ากับร้อยละ 13.33 และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟคือระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ระยะเวลา 10 นาที ระดับพีเอช 1.89 ให้ผลผลิตเพกทินเท่ากับร้อยละ 9.57 โดยคุณสมบัตินิเวศของเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ พบว่าค่าความชื้น เถ้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก เยื่อใย สี และความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน และระดับเมธอกซิล ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เพกทินที่ได้จากผิวกล้วยเหลืองจากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันไมโครเวฟเป็นเพกทินที่มีเมทอกซิลสูง มีลักษณะเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียน

Thesis	Extraction of pectin from soy hull using autoclave and microwave pressure cooker
Student	Miss.Pataranan Charudul
Student ID.	60608016
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2019
Thesis Advisor	Dr.Kittichai Banjong

ABSTRACT

The aims of this research were to investigate optimum condition of soy hull pectin extraction using autoclave and microwave pressure cooker using response surface methodology and compare yield , chemical and physical property of soy hull pectin with commercial pectin. The result showed that the optimum condition of autoclave was 120 °C, extraction time 20 minutes and pH 2.54 that provide pectin yield at 13.33%. The optimum condition of microwave pressure cooker with microwave power of 800 watts was at 10 minutes and pH 1.89 that provide pectin yield at 9.57%. The chemical and physical properties of soy hull pectin including moisture content, ash content, galacturonic acid, crude fiber, color and viscosity was significantly ($p \leq 0.05$) but degree of esterification and methoxyl content were not significant ($p > 0.05$). Autoclave and microwave pressure cooker soy hull pectin were high methoxyl pectin and non-newtonian fluid.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ความรู้ คำแนะนำ คำชี้แนะ และการแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ระติพร มูลสาร ดร.ระจิตร สุว พานิช และ รศ.ดร.สนธิสุข อีระชัยชยุติ ที่ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้คำชี้แนะในเรื่องต่างๆ และนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ให้คำแนะนำ ในการใช้เครื่องมือ และช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ พี่ๆ ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในการ ดำเนินงาน ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านที่ได้กล่าวมา และขอขอบพระคุณ มาในโอกาสนี้

ภัทรนันท์ จารุตุล

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ผิวถั่วเหลือง.....	4
2.2 เพกทิน (pectin).....	5
2.3 ลักษณะการเกิดเจลของเพกทิน.....	7
2.4 ประโยชน์ของเพกทิน.....	9
2.5 การสกัดเพกทิน.....	9
2.5.1 การใช้กรดในการสกัด.....	9
2.5.2 การใช้น้ำในการสกัด.....	10
2.5.3 การใช้เอนไซม์ในการสกัด.....	10
2.5.4 การสกัดเพกทินโดยการใช้เอนไซม์สูง.....	11
2.5.5 การสกัดโดยไมโครเวฟ.....	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12

วิธีการทดลอง.....	15
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	15
3.1.1 สารเคมี.....	15
3.1.2 เครื่องมือ.....	16
3.2 วัตถุประสงค์และการเตรียมวัตถุดิบ	17
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง	17
3.4 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง.....	18
3.4.1. การสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (Autoclave extraction, AE).....	18
3.4.2. การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (Microwave pressure cooker extraction, MPCE).....	19
3.5 ปริมาณผลผลิตเพกทิน.....	19
3.6 การคำนวณค่าไฟฟ้า และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสกัดเพกทิน.....	20
3.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพกทิน	20
3.7.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี.....	20
3.7.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	21
3.8 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	21
3.8.1 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน	21
3.8.2 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ.....	23
3.8.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	24
ผลการทดลองและวิจารณ์.....	25
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง.....	25
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง	25
4.2 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE).....	25
4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล และประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	25
4.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน	28

4.3 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ	30
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล และประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	30
4.3.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดัน ไมโครเวฟ.....	32
4.4 ปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลือง	33
4.5 พลังงานไฟฟ้าของการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง	34
4.6 คุณสมบัติทางเคมีของเพกทิน	34
4.6.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)	35
4.6.2 ปริมาณเถ้า (Ash content).....	36
4.6.3 ระดับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification)	36
4.6.4 ปริมาณเมธอกซิล (Methoxyl content).....	37
4.6.5 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid content).....	37
4.6.6 ปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber).....	38
4.6.7 ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude Protein).....	38
4.7 คุณสมบัติทางกายภาพของเพกทิน.....	39
4.7.1 สีของเพกทิน.....	39
4.7.2 ความหนืด (Viscosity).....	40
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
บรรณานุกรม.....	48
วิธีการเตรียมวัตถุดิบ	54
วิธีการสกัด	56
การวิเคราะห์คุณภาพ	60
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	70
ประวัตินักวิจัย.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ปัจจัยและระดับในการทดลองการสกัดเพกทินด้วยหม้อนึ่งความดัน	22
ตารางที่ 3.2	การทดลองที่ได้จากแผนการทดลอง box behnken design	22
ตารางที่ 3.3	ปัจจัยและระดับในการทดลองการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ	23
ตารางที่ 3.4	การทดลองที่ได้จากแผนการทดลอง central composite design	23
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	26
ตารางที่ 4.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง Box Behnken Design.....	26
ตารางที่ 4.4	การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ.....	30
ตารางที่ 4.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง Central Composite Design	30
ตารางที่ 4.6	ปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากการสกัดโดยวิธี AE และ MPCE	33
ตารางที่ 4.7	ค่าไฟฟ้า และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง	34
ตารางที่ 4.8	คุณสมบัติทางเคมีของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า	35
ตารางที่ 4.9	สีของผงเพกทินที่ได้จากผิวถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า	40
ตารางที่ 4.10	ค่าความหนืดของเพกทินจากผิวถั่วเหลือง	42
ตารางที่ 4.11	ค่าความหนืดของเพกทินทางการค้า (CMP).....	42
ตารางที่ 4.12	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองหม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินทางการค้า (CMP).....	43
ตารางที่ 4.13	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า.....	43

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1	ผิวถั่วเหลืองพันธุ์ (เชียงใหม่ 60).....	4
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง.....	5
ภาพที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมธอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน	7
ภาพที่ 2.4	ลักษณะ junction zone ของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง.....	8
ภาพที่ 2.5	กลไกการเกิดเจลระหว่างเพกทินหมู่เมธอกซิลต่ำกับแคลเซียมไอออน.....	9
ภาพที่ 2.6	องค์ประกอบของเตาไมโครเวฟ	11
ภาพที่ 4.1	พื้นที่ผิวตอบสนองของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดัน (ก.) อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด (ข.) อุณหภูมิและระดับพีเอช และ(ค.) ระยะเวลาและระดับพีเอช	28
ภาพที่ 4.2	พื้นที่ผิวตอบสนองของระหว่างระยะเวลาและระดับพีเอช ที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ	32
ภาพที่ 4.3	สีของผงเพกทิน (ก.) เพกทินด้วยหม้อหนึ่งความดัน (ข.) เพกทินจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ และ (ค.) เพกทินทางการค้า (CMP).....	39
ภาพที่ 4.4	ความเข้มข้นและความหนืดของเพกทินจากผิวถั่วเหลือง และเพกทินทางการค้า.....	44
ภาพที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากการสกัดด้วยหม้อหนึ่งความดัน	44
ภาพที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ.....	45
ภาพที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกทินทางการค้า.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำมัน นมถั่วเหลือง อาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในกระบวนการแปรรูปถั่วเหลืองเนื้อถั่วเหลืองจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ถั่วเหลืองถือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ปริมาณถั่วเหลืองคิดเป็น 8% จากองค์ประกอบทั้งหมด เมื่อศึกษาองค์ประกอบของถั่วเหลืองมีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีปริมาณเพกทินมากถึง 30% (Snyder และคณะ, 1987) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเพกทินภายในองค์ประกอบพบว่า ปริมาณเพกทินจากถั่วเหลืองมีปริมาณมากกว่าเพกทินที่ได้มาจากผิวส้มโอและกากแอปเปิลที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในโรงงานผลิตเพกทินที่มีปริมาณอยู่ที่ 25% และ 12% (May, 1990, Walter, 1991) ถั่วเหลืองจึงเหมาะที่จะเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการสกัดเพกทิน

เพกทินเป็นเส้นใยอาหารชนิดหนึ่งที่สามารถละลายน้ำได้ พบในผนังเซลล์พืช มีหน้าที่ช่วยพยุงโครงสร้างของพืชและผลไม้ ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เปลือกของผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ส้ม แอปเปิล เป็นแหล่งในการผลิตเพกทิน (Mesbahi และคณะ, 2005) ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตเพกทิน จึงมีการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยมีราคาสูงถึง 1200 บาท/กิโลกรัม (Baker street, 2562) เพื่อนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด อิมัลซิไฟเออร์ สารให้ความคงตัว และช่วยเพิ่มรสสัมผัสให้กับอาหาร รวมไปถึงเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตแยม เยลลี่ และผลิตภัณฑ์ขนม (Kratchanova และคณะ, 2004) ในอุตสาหกรรมยาและเวชสำอาง เพกทินมีส่วนช่วยในการลดปริมาณคอเรสเตอรอลในเส้นเลือด ลดอัตราการเกิดโรคหัวใจ และโรคนิ่วในถุงน้ำดี (Hosseini และคณะ, 2016)

การสกัดเพกทินนิยมใช้กรดอินทรีย์ และอุณหภูมิความร้อนในช่วงระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัดเพื่อให้ได้ผลผลิตเพกทินที่สูงขึ้น เนื่องจากการใช้ระยะเวลา และ มีต้นทุนในการผลิตสูงปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยีเกี่ยวกับไมโครเวฟ อัลตราโซนิก น้ำอุณหภูมิสูง เข้ามาช่วยในการสกัด เพื่อลดระยะเวลา และต้นทุนในการสกัด โดยไมโครเวฟเป็นวิธีการที่น่าสนใจนำมาใช้ในการสกัด เนื่องจากสามารถทำความร้อนได้ไวกว่าการใช้อ่างน้ำร้อน หรือการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ไมโครเวฟอาศัยหลักการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในวัตถุดิบ ทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลทำให้

เกิดความร้อนภายในระยะเวลาอันสั้น และช่วยเพิ่มรูพรุนให้กับวัตถุดิบ ทำให้ตัวทำละลายเข้าทำปฏิกิริยาได้เพิ่มมากขึ้น สารละลายเพกตินจึงออกมาได้มากขึ้น (Kratchanova และคณะ, 2004) ทำให้ไมโครเวฟเป็นวิธีที่น่าสนใจ และมีประสิทธิภาพในการนำมาสกัดเพกติน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อนึ่งความดันและหม้อแรงดันไมโครเวฟ เพื่อนำเสนอวิธีการเพื่อช่วยลดระยะเวลา และต้นทุนในกระบวนการสกัดเพกติน ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผิวถั่วเหลืองโดยการสกัดสารสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)

1.2.2 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิต คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) กับเพกตินทางการค้าที่เป็นเพกตินประเภทเดียวกัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกตินจากผิวถั่วเหลือง และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) สำหรับการใช้หม้อนึ่งความดัน ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเพกติน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และระดับพีเอชที่ใช้ในการสกัด แผนการทดลองที่ใช้ในการสกัดคือ box behnen design ในการทดลองที่มี 3 ปัจจัย 3 ระดับ ส่วนหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ใช้ระดับพลังงานที่ใช้อยู่ที่ 800 วัตต์ ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเพกติน ได้แก่ ระยะเวลา และระดับพีเอชที่ใช้ในการสกัด แผนการทดลองที่ใช้ในการทดลองคือ central composite design ในการทดลองที่มี 2 ปัจจัย 5 ระดับ ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมจากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ทำการเปรียบเทียบปริมาณ และคุณสมบัติของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองทั้งคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ โดยเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าที่เป็นเพกตินประเภทเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)

1.4.2 ทราบผลของวิธีการสกัดที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเพกทินทางด้านเคมีและกายภาพที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผิวถั่วเหลือง

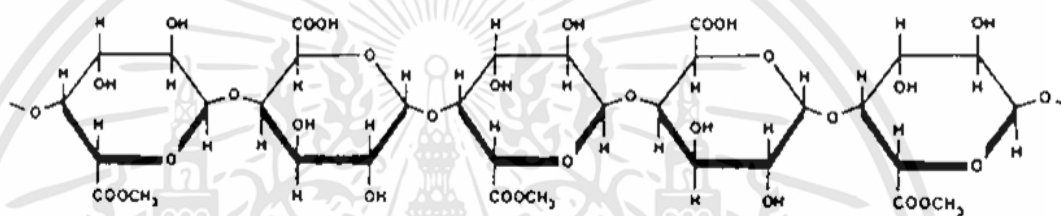


ภาพที่ 2.1 ผิวถั่วเหลืองพันธุ์ (เชียงใหม่ 60)

ผิวถั่วเหลืองเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้มาจากกระบวนการแปรรูปถั่วเหลือง เช่น กระบวนการผลิตน้ำมัน การผลิตนมถั่วเหลือง เต้าหู้ชนิดต่างๆ และวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารสัตว์ ผิวถั่วเหลืองคิดเป็น 6-8% จากองค์ประกอบทั้งหมดของถั่วเหลือง (Porfiri และ Wagner, 2018) มีโครงสร้างที่แข็งแรงของเส้นใยอาหารอย่างเซลลูโลส 20% เฮมิเซลลูโลส 20% และเพกทิน 30% (Snyder และ Kwon, 1987) โดยเส้นใยอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร และสามารถเป็นพรีไบโอติกให้แก่ร่างกาย องค์ประกอบด้านอาหารของผิวถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน 9.9% ไขมัน 1.0% และแร่ธาตุต่างๆ 4.4% (Wolf และคณะ, 2002) ผิวถั่วเหลืองเป็นแหล่งคุณค่าทางอาหารที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ประเทศไทยมีการปลูกถั่วเหลืองเพื่อใช้ในการแปรรูปจำนวนมาก ผิวถั่วเหลืองจึงมีปริมาณมากเช่นกัน การนำผิวถั่วเหลืองมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทินจะช่วยลดปริมาณการกำจัดผิวถั่วเหลือง และลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเพกทินอีกด้วย

2.2 เพกทิน (pectin)

เพกทินเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน โดยมีโครงสร้างหลักด้วยโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิก เชื่อมต่อกันตั้งแต่ 200-1000 โมเลกุลด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่ง α -1,4 ที่โมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกประมาณร้อยละ 5-10 มีน้ำตาลประจุกลางเกาะอยู่ เช่น แรมโนส อะราบิโนส กาแลคโทส และอื่นๆ (Rolin และ De Vries, 1990) สารประกอบเพกทินพบได้ในผนังเซลล์ของพืช ช่วยในการพองโครงสร้างของพืช และผลไม้ให้มีความเต่งตึง ปริมาณเพกทินจะลดลงตามระยะเวลาการสุกของ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเพกทินที่มีหมู่เมทิลสูง

ที่มา: De Vries (1986)

สารประกอบเพกทินที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (นิธิยา, 2557)

1. โปรโตเพกทิน (Protopectin) เป็นสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ พบมากในผักและผลไม้ดิบ มีปริมาณหมู่เมทิลสูงอยู่ในโครงสร้าง 9-12% ระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ โปรโตเพกทินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ หรือต่าง ทำให้โครงสร้างของโปรโตเพกทินเปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่ละลายน้ำได้

2. กรดเพกติก (Pectinic acid) เป็นสารประกอบเพกทินที่สามารถละลายน้ำ ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิก ที่ยังมีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลือบางส่วน ปริมาณของหมู่เมทิลเอสเทอร์มีผลต่อการเกิดเจล

3. กรดเพกติก (Pectic acid) เป็นสารประกอบเพกทินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุล สารประกอบเพกทินประเภทนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้

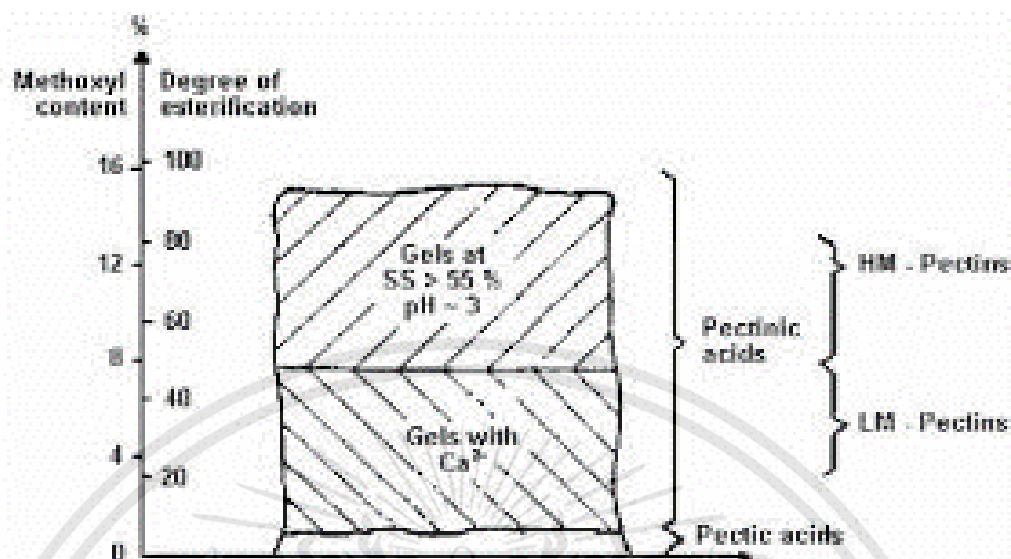
เพกตินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามระดับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification) คือ อัตราส่วนของการเกิดเมธิลเอสเทอร์ต่อปริมาณกรดกลูโคนิกทั้งหมด โดยหมู่คาร์บอกซิลอิสระ(-COOH) ในโมเลกุลของกรดกลูโคนิกทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ ทำให้หมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของกรดกลูโคนิกกลายเป็นเมธิลเอสเทอร์ ทั้งนี้ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถนำไปเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณหมู่เมธิลเอสเทอร์ในโครงสร้างของเพกติน ดังนี้

1. เพกตินที่มีหมู่เมธิลสูง (High-methoxyl pectin) มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าร้อยละ 50 มีหมู่เมธิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไป สามารถเกิดเจลได้โดยอาศัย น้ำตาล 65-70% และการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.8-3.2 น้ำตาลใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิต แยม เยลลี่ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำตาล ปริมาณของเมธิลเอสเทอร์ที่สูงขึ้นจะมีสภาวะ และระยะเวลาในการเกิดเจลที่แตกต่างกัน

1.1 Rapid-set pectin เป็นเพกตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่า ร้อยละ 70 จะเกิดเจลกับน้ำตาล และกรดในช่วงพีเอช 3.0-3.4 ความแข็งแรงของ เจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพกติน ไม่เกี่ยวกับปริมาณของเมธิลเอสเทอร์

1.2 Slow-set pectin เป็นเพกตินที่มีระดับเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 เกิดเจลโดยอาศัยน้ำตาล และกรดในช่วงพีเอช 2.8-3.2 และอุณหภูมิที่ต่ำกว่าแบบ Rapid-set pectin

2. เพกตินที่มีหมู่เมธิลต่ำ (Low-methoxyl pectin) มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันต่ำกว่าร้อยละ 50 มีหมู่เมธิลต่ำกว่าร้อยละ 8.16 นำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ การเกิดเจลของเพกตินประเภทนี้อาศัยแคลเซียมไอออน มีลักษณะโครงสร้าง เจล โดยความแข็งแรงของเจลจะเกิดตามปริมาณของเมธิลเอสเทอร์ ไม่เกี่ยวข้องกัน้ำหนักโมเลกุล



ภาพที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมธอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน

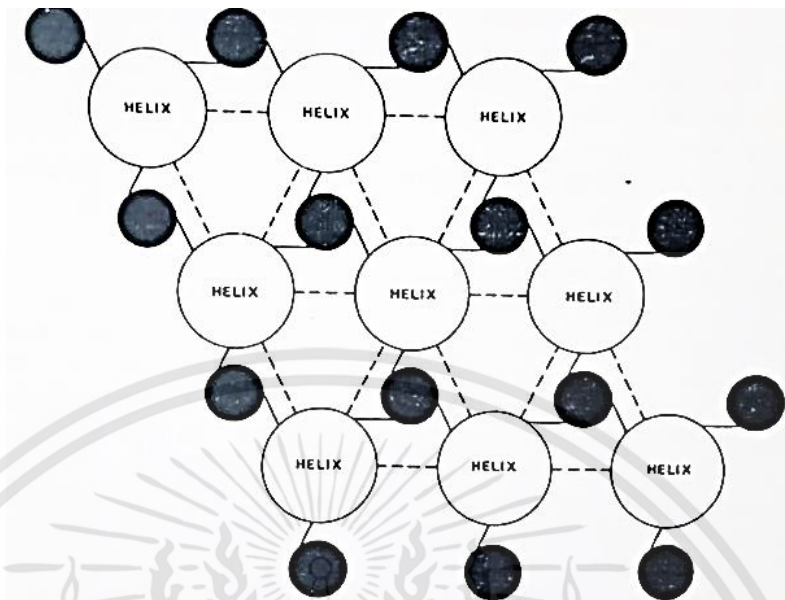
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (ไม่ปรากฏปี)

2.3 ลักษณะการเกิดเจลของเพกทิน

นิธิยา (2557) การเกิดเจลของเพกทินประเภทที่มีหมู่เมธอกซิลสูง และเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ มีลักษณะการเกิดเจลที่แตกต่างกันดังนี้

1. การเกิดเจลของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง (Gelation of high-methoxyl pectin)

การเกิดเจลของเพกทินประเภทนี้อาศัยน้ำตาลที่ปริมาณร้อยละ 65-75 และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.8-3.2 โดยน้ำตาลจะช่วยลดการละลายของเพกทินให้น้อยลง ทำให้เกิดเป็น Junction zone ดังภาพที่ 6.4 ส่วนของกรดจะให้ประจุ H⁺ ช่วยลดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลทำให้มีจำนวนประจุลบลดลง และลดการดึงดูดกันระหว่างโมเลกุลของเพกทิน และโมเลกุลของน้ำ นอกจากนี้ยังทำให้ความสามารถในการกระจายตัวในระบบคอลลอยด์ของเพกทินลดลงด้วย เพกทินชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็น thermoreversible gel เมื่อให้ความร้อนเจลจะมีลักษณะเหลว และมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายเพกทินเย็นตัวลง

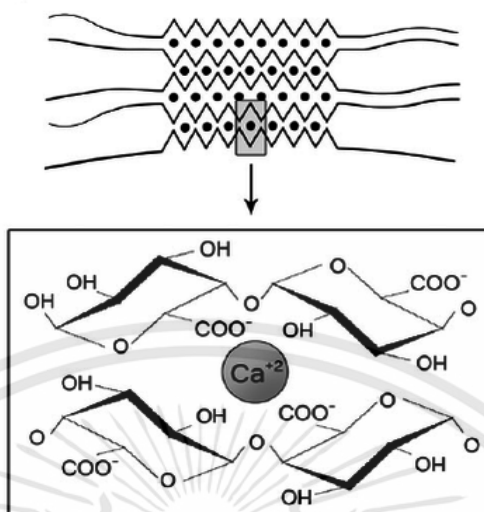


ภาพที่ 2.4 ลักษณะ junction zone ของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง

ที่มา: Walkinshaw และ Arnott (1981b)

2. การเกิดเจลของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ (gelation of low-methoxyl pectin)

การเกิดเจลของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ อาศัยปริมาณของเมธิลเอสเทอร์กับปริมาณของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) โครงสร้างของเจลจะแตกต่างจากเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง โดยแคลเซียมไอออนจะเข้าไปจับกับหมู่คาร์บอกซิลิก ระหว่างโครงสร้างของเพกทินสายหนึ่งกับโครงสร้างเพกทินอีกสายหนึ่ง ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า egg box model โครงสร้างของเพกทินชนิดนี้ทำให้เกิดเจลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มกว่าเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดเจลระหว่างเพกทินหมู่เมทอกซิลต่ำกับแคลเซียมไอออน
ที่มา : Emrah และคณะ (2014)

2.4 ประโยชน์ของเพกทิน

เพกทินใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อช่วยให้ความคงตัว เป็นสารให้ความข้นหนืด อิมัลซิไฟเออร์ และเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ เช่น แยม เยลลี่ น้ำสลัด น้ำผลไม้ (Liu และคณะ, 2006) นอกเหนือจากนี้ในอุตสาหกรรมการแพทย์ เพกทินนำมาผลิตเป็นอาหารเสริม ช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลในเส้นเลือด ลดระดับน้ำตาล กำจัดธาตุโลหะหนักในร่างกาย รักษาระดับความดันโลหิต กระตุ้นการทำงานของลำไส้ และเป็นอาหารเสริมช่วยในการลดน้ำหนัก (Schols and Voragen, 1996, Jitpukdeebodindra และ Jangwang, 2009),

2.5 การสกัดเพกทิน

2.5.1 การใช้กรดในการสกัด

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้วิธีนี้ในการสกัดเพกทิน ที่ช่วงของพีเอชตั้งแต่ 1.5-3.0 ร่วมกับการให้ความร้อน วิธีนี้ทำให้เพกทินส่วนที่ไม่สามารถละลายในน้ำถูกสกัดออกมาได้ ผลผลิตเพกทินในกระบวนการได้เพิ่มมากขึ้น มีการใช้กรดหลายชนิดในการสกัดเพกทิน เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก

กรดซัลฟิวริก ความแข็งแรงของพันธะไอออนิก ช่วยให้การการสกัดได้ผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น Kalapathy และ Proctor (2001) สกัดเพกทินจากผิวกล้วยเปลือกโดยการใช้อกรดไนตริกในการสกัด และ Chan และ Choo (2013) การสกัดเพกทินจากเปลือกโกโก้โดยการใช้อกรดต่างชนิดในการสกัดพบว่า การสกัดเพกทินโดยการใช้อกรดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคุณภาพของเพกทิน ค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของผลผลิตเพกทินเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึง Swamy และคณะ (2017) สกัดเพกทินจากผิวกล้วยโดยการใช้อกรดไฮโดรคลอริกเพื่อหาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการสกัดพบว่า ระดับพีเอชที่ทำให้ได้ปริมาณเพกทินจากผิวกล้วยอยู่ที่ระดับ pH 3 ซึ่งเป็นระดับพีเอชที่แตกต่างจากการสกัดเพกทินจากเปลือกโกโก้ที่ใช้ระดับพีเอช 2.5 ความเป็นกรดจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสกัดเพกทิน เนื่องจากแต่ละวัตถุดิบมีค่าความเป็นกรดในการสกัดที่แตกต่างกัน

2.5.2 การใช้น้ำในการสกัด

การใช้น้ำในการสกัดเป็นวิธีแรกเริ่มในการสกัดเพกทิน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ใช้กรดอินทรีย์ในการสกัด ใช้เป็นการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยให้น้ำละลายเพกทินออกมาจากวัตถุดิบได้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก Santos และคณะ (2013) สกัดเพกทินจากผิวของต้นป่านศรนารายณ์โดยการสกัดโดยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส ที่เวลาแตกต่างกัน พบว่าการสกัดเพกทินนี้ได้ผลผลิตเพกทินมากที่สุดจากการสกัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุด การสกัดเพกทินได้ผลผลิตต่ำกว่าการสกัดเพกทินโดยการใช้อกรดอินทรีย์เข้ามาช่วยในการสกัดการใช้น้ำในการสกัดจึงไม่เป็นที่นิยมในการนำมาสกัดเพกทินจากวัตถุดิบต่างๆ

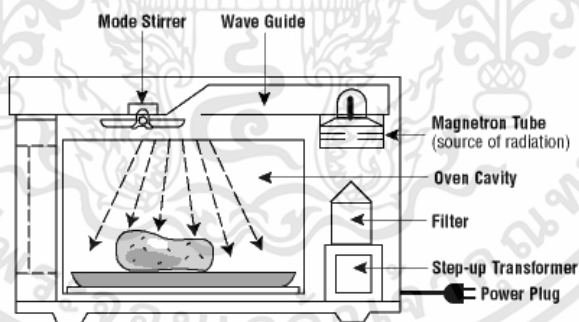
2.5.3 การใช้เอนไซม์ในการสกัด

การสกัดเพกทินโดยใช้เอนไซม์เป็นวิธีการสกัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้สารที่มาจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก การสกัดด้วยเอนไซม์นิยมใช้เอนไซม์ชนิดที่ใช้ในการย่อยสลาย hemicellulase และ cellulase เนื่องจากเพกทินจะอยู่แทรกในช่องว่างระหว่างเซลล์พืชของผนังเซลล์ (Wikiera และคณะ, 2015) ข้อจำกัดของการสกัดด้วยเอนไซม์มีค่อนข้างมาก เพราะเอนไซม์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการค่อนข้างสูง จึงไม่นิยมใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรมผนังเซลล์ของพืช

2.5.4 การสกัดเพกทินโดยการใช้ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟสูงมาใช้ในการสกัดเพกทิน เนื่องจากการสกัดเพกทินโดยทั่วไปอาศัยน้ำร้อนที่อุณหภูมิไม่เกินจุดเดือดของน้ำ และการปรับกรดในการสกัดเพื่อให้ได้เพกทินปริมาณมาก Wang และคณะ (2014) สกัดเพกทินจากผิวส้มและกากแอปเปิล จากการทดลองทำให้เห็นว่าการสกัดโดยการใช้ไมโครเวฟสูงสามารถทำลายโครงสร้างผนังเซลล์พืช ทำให้เพกทินสามารถละลายออกสู่ภายนอกได้ และ Liu และคณะ (2016) สกัดพอลิแซคคาไรด์จากผิวถั่วเหลืองโดยการใช้สภาวะน้ำกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส พบว่าระดับอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นส่งผลต่อการสลายตัวของโครงสร้าง cellulose ทำให้เพกทินละลายออกจากโครงสร้างของผิวถั่วเหลืองได้เพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของการสกัดโดยการใช้ไมโครเวฟและความร้อนสูงคือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสกัดต้องควบคุมอุณหภูมิ และความดันของระบบให้เพียงพอต่อสภาวะน้ำ การสกัดโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง เนื่องจากผิวถั่วเหลืองมีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรง เพกทินละลายออกจากโครงสร้างได้น้อย อุณหภูมิที่สูงในการใช้สภาวะน้ำกึ่งวิกฤตจะช่วยให้การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองได้เพิ่มขึ้น

2.5.5 การสกัดโดยไมโครเวฟ



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของเตาไมโครเวฟ

ที่มา: CCOHS (2018)

ชวน (2545) กล่าวว่าไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2450 ล้านรอบ/วินาที ภายในเตาไมโครเวฟ มี magnetron เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ หลักการทำงานของไมโครเวฟเริ่มตั้งแต่การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะกระจายไปทั่วทุกทิศทางโดยรอบของตู้ และแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นไมโครเวฟกระทบโมเลกุลน้ำ

ในอาหาร จะทำให้โมเลกุลภายในของอาหารเกิดการกระทบ และเสียดสีจนเกิดความร้อน ทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว

ข้อดีของการใช้ไมโครเวฟ คือ

1. ประหยัดเวลาในการทำงาน โดยพลังงานไมโครเวฟสามารถย่นระยะเวลาในการทำงานจากปกติที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นใช้เวลาเป็นชั่วโมง การใช้ไมโครเวฟลดระยะเวลาลงเป็นหลักนาที
2. ประหยัดพลังงาน เนื่องจากเครื่องไมโครเวฟมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปสู่คลื่นไมโครเวฟสูงถึงร้อยละ 50-60 ในขณะที่เตาอบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนได้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น (ศูนย์อนุรักษ์พลังงาน, 2545)
3. ใช้ในการทำงานได้หลากหลายตามความต้องการ สามารถประกอบอาหารได้ทั้งการอุ่น ตุ่น ต้ม ทอด หรือนำไปประยุกต์ในการประกอบเป็นเตาเผาที่ให้ความร้อนสูงได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรรย์ญา และกิตติชัย (2560) ศึกษาการสกัดเพกทินจากลูกตาลสุกโดยไม่ปรับพีเอช ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนน้ำ ระดับพีเอช และอุณหภูมิในการสกัด จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนน้ำให้ผลผลิตเพกทินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และระดับอุณหภูมิ-ระดับพีเอชที่ทำให้ได้ผลผลิตเพกทินสูงสุดคือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยไม่ปรับพีเอชเนื่องจากลูกตาลสุกโปรโตเพกทินได้ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์กลายเป็นกรดเพกทินิกทำให้การสกัดเพกทินจากลูกตาลไม่จำเป็นต้องใช้ระดับพีเอชต่ำในการสกัด คุณสมบัติทางเคมีของเพกทินจากลูกตาลเป็นเพกทินชนิด low-methoxyl pectin สามารถขึ้นรูปเจลได้โดยอาศัยแคลเซียมไอออน

Moonsor และ Proctor (2001) สกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองโดยการใช้อ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที ใช้ปริมาณกรดที่ความเข้มข้น 0.05 N ของกรดไฮโดรคลอริก ที่ปริมาณ 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ลิตร (อัตราส่วนแตกต่างกัน) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองในระดับอุตสาหกรรม เปรียบเทียบความสามารถในการละลาย และพฤติกรรมของไหลของเพกทินจากผิวกล้วยเหลือง จากการทดลองพบว่าที่ใช้ปริมาณกรด 8.0 ลิตร ได้ปริมาณเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองอยู่ที่ 16.31% เป็นปริมาณที่มากที่สุด และคุณภาพทางเคมี (ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพกทินจากผิวกล้วยเหลืองที่ได้เป็นเพกทินประเภท low-methoxyl pectin และพฤติกรรมของไหลของเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองทุกสภาวะการสกัดมีลักษณะเป็นแบบ non-newtonian ประเภท shear thinning

Kalapathy และ Proctor (2001) สกัดเพกตินจากผิวกล้วยโดยการใช้อัลตราซาวด์ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที โดยใช้กรดที่มีความเข้มข้น 0.5, 0.1, 0.2 และ 0.3 และตกตะกอนด้วย 2-propanol ที่ระดับพีเอช 2.0 และ 3.5 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเพกติน จากการทดลองพบว่า ปริมาณของเพกตินลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น และมีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แร่ธาตุละลายออกมาจากวัตถุดิบได้เพิ่มมากขึ้น การตกตะกอนเพกตินที่ระดับพีเอช 2.0 และ 3.5 มีปริมาณเพกตินที่แตกต่างกัน โดยปริมาณเพกตินที่ระดับพีเอช 2.0 มีปริมาณต่ำกว่าเพกตินที่ตกตะกอนจากระดับพีเอช 3.5 ระดับการตกตะกอนของเพกตินจากผิวกล้วยโดยการใช้อัลตราซาวด์ ควรตกตะกอนตั้งแต่พีเอช 3.5 ขึ้นไป ทำให้ได้เพกตินปริมาณสูง การสกัดโดยใช้ความเข้มข้นกรด และระดับพีเอชในการตกตะกอนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพกตินจากผิวกล้วยซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 54-60 เพกตินจากผิวกล้วยจึงเป็นเพกตินชนิด high-methoxyl pectin แบบระดับการเกิดเจลช้า

Liu และคณะ (2016) สกัดพอลิแซคคาไรด์จากผิวกล้วยโดยการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาปัจจัยในการสกัดที่ส่งผลต่อปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และองค์ประกอบทางเคมีของพอลิแซคคาไรด์ น้ำตาลในโครงสร้าง พบว่าระดับอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นส่งผลต่อการสลายตัวของโครงสร้าง cellulose ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และทำให้เพกตินละลายออกมา นอกจากนี้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผิวกล้วยถูกสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็ก ตั้งแต่อุณหภูมิที่ 110-130 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 9.2-8.1 ที่อุณหภูมิ 140-150 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีนลดลงอยู่ที่ร้อยละ 8.6-8.3 และเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นอีก จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าโปรตีนมีการเรียงตัวใหม่ได้มากกว่าโมเลกุลของน้ำตาล ดังนั้นปัจจัยในการสกัด(อุณหภูมิ ระยะเวลา) ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากผิวกล้วย

Maran และคณะ (2013) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกตินจากเปลือกส้ม โดยการใช้แผนการทดลอง Box Behnken Design ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดคือ ระดับพลังงาน (160-480วัตต์), ระยะเวลาในการสกัด (60-180 วินาที), ระดับพีเอช (1.00-2.00), และอัตราส่วนในการสกัด (1:10-1:30 กรัม/ปริมาตร) จากการทดลองพบว่าระดับพลังงาน ระยะเวลาในการสกัด ระดับพีเอช และอัตราส่วนในการสกัดส่งผลต่อผลผลิตเพกตินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระดับพลังงานของไมโครเวฟที่สูงขึ้นส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของโมเลกุล ทำให้เพกตินละลายออกจากวัตถุดิบได้เพิ่มมากขึ้น, ระยะเวลาในการสกัดส่งผลต่ออุณหภูมิในระบบการสกัด อุณหภูมิในระบบเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตเพกตินที่ได้เพิ่มขึ้น ระดับพีเอชมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้ง เนื่องจากระดับพีเอชสูง (มีความเป็นกรดต่ำ) เพกตินละลายออกมาได้น้อย และหากระดับพีเอชต่ำ (ความเป็นกรดสูง) ส่งผลให้เพกตินเกิดการรวมตัวกันภายในโครงสร้าง ละไม่

สามารถละลายออกมาจากวัตถุดิบ และอัตราส่วนวัตถุดิบ/น้ำ (กรัม/ปริมาตร) อัตราส่วนของน้ำที่ต่ำเกินไป ทำให้เกิดการถ่ายพลังงานความร้อนได้ไม่ดีพออัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้น เพกทินจึงละลายออกมาได้น้อยกว่า หากใช้อัตราส่วนน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เพกทินละลายออกมา เป็นสารละลายที่เจือจาง ปริมาณผลผลิตที่ได้จึงลดลง จากการทดลองนี้พบว่ารูปแบบของสมการที่ได้อยู่ในรูปแบบ quadratic model ค่า R squared อยู่ที่ 0.989 และค่า Adj-R squared 0.978 ทั้ง 2 ค่ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทำนายสถานะที่เหมาะสมได้ โดยสถานะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ระดับพลังงาน 422 วัตต์ ระยะเวลาในการสกัด 169 วินาที ระดับพีเอช 1.4 ที่อัตราส่วน 1:16.9 (กรัม/ปริมาตร) ได้ปริมาณผลผลิตเพกทินสูงสุดอยู่ที่ 19.24%

Wang และคณะ (2014) สกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ และกากแอปเปิลโดยการใช้ความร้อนสูง (110-180 °C) เพื่อศึกษาปริมาณผลผลิต และผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติเพกทิน จากการศึกษาพบว่าปริมาณสูงสุดของผลผลิตเพกทินจากเปลือกส้มโอ และกากแอปเปิลอยู่ที่ร้อยละ 21.95 และ 16.68 จากการสกัดพบว่าในระหว่างการสกัดมีโปรตีน ซึ่งตกตะกอนลงมาพร้อมกับเพกทิน ทำให้ความบริสุทธิ์ของเพกทินลดลง และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกทินที่ได้จากเปลือกส้มโอ และเพกทินจากกากแอปเปิล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกส่งผลต่อความหนืดของเพกทิน เพกทินที่สกัดที่อุณหภูมิตั้งแต่ ในทางตรงกันข้ามการสกัดโดยการใช้ความร้อนสูงส่งผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของ -COOH เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยพบว่าเพกทินจากเปลือกส้มโอ และเพกทินจากกากแอปเปิลเป็นเพกทินประเภท high methoxyl pectin มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันตั้งแต้อยู่ที่ร้อยละ 50 ขึ้นไป

Muhammad และคณะ (2014) สกัดเพกทินจากเปลือกแก้วมังกรซึ่งเป็นเพกทินประเภท high methoxyl pectin เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของเพกทิน โดยสกัดเพกทินจากเปลือกแก้วมังกรแห้ง และเปลือกแก้วมังกรสด ที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 นาที พีเอช 2.03 โดยผลผลิตเพกทินจากเปลือกแก้วมังกรแบบแห้งและแบบสดไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้ผลผลิตอยู่ที่ร้อยละ 15 ค่าคุณภาพทางเคมีของเพกทินจากเปลือกแก้วมังกรมีค่าความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เยื่อใยอยู่ที่ร้อยละ 7.81, 4.73, 0.04, 1.15 และ 62.76 ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ระหว่างร้อยละ 53 - 68 และปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิกอยู่ที่ร้อยละ 39.11 ผลการทดลองค่าทางกายภาพของเพกทินจากเปลือกแก้วมังกรพบว่ามีลักษณะเป็นของไหลประเภท non newtonian ประเภท shear thinning เมื่อให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้นของไหลจะมีความหนืดลดลง

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

- 3.1.1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.1.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.1.3 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 3.1.1.4 กลีโอสคาร์บาซอล ($C_{12}H_9N$)
- 3.1.1.5 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalien, $C_{20}H_{14}O_4$)
- 3.1.1.6 แอลกอฮอล์ 95% (95% ethanol, C_2H_5OH)
- 3.1.1.7 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- 3.1.1.8 กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)
- 3.1.1.9 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, Cu_2SO_4)
- 3.1.1.10 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate, K_2SO_4)
- 3.1.1.11 เมทิลเรด (Methyl red indicator, $C_{15}H_{15}N_3O_2$)
- 3.1.1.12 เมทิลีนบลู (Methylene blue indicator, $C_{16}H_{18}ClN_3S$)
- 3.1.1.13 โบโรโครีซอลกรีน (Bromocresol green indicator, $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)
- 3.1.1.14 เฮกเซน (Hexane, C_6H_{14})
- 3.1.1.15 อะซีโตน (Acetone, C_3H_6O)
- 3.1.1.16 สารป้องกันการเกิดโฟม (Antifoaming agent)

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 เตาไมโครเวฟ (Microwave oven)	Samsung, (ME711K), Japan
3.1.2.2 หม้อแรงดันสูง (Autoclave)	Tomy, (SS-245), Japan
3.1.2.3 ชุดปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	Hettich, (REF 1401), Germany
3.1.2.4 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator)	Daihan, (WEV-1001V), China
3.1.2.5 ชุดอุปกรณ์ปรับระดับพีเอช	Mettler Toledo, Switzerland
3.1.2.6 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Memmert, (UM 400), Germany
3.1.2.7 ตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer)	Progress, Thailand
3.1.2.8 เครื่องวัดสี	Minolta, (CR400), Japan
3.1.2.9 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	Shimadzu (UV-1601), Japan
3.1.2.10 หม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ	Prestige, Microwave pressure cooker, India
3.1.2.11 เตาเผาถ้ำ	Nabertherm, (LT 40), Germany
3.1.2.12 เครื่องวัดความหนืด	Bookfield (DV-III), USA
3.1.2.13 เครื่องบดละเอียดทางการเกษตร	
3.1.2.14 ชุดเครื่องแก้ว (บีกเกอร์, ขวดปรับปริมาตร, ขวดรูปชมพู่, ปิเปตแก้ว)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.2.15 ชุดวิเคราะห์โปรตีน
- 3.1.2.16 ชุดวิเคราะห์ไขมัน
- 3.1.2.17 ชุดวิเคราะห์เยื่อใยหยาบ
- 3.1.2.18 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Santorius (Entris224i- 1S),
Germany
- 3.1.2.19 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง Ohaus (ARC 120), USA
- 3.1.2.20 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบกระดุม (Thermo data logger)

3.2 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

ผิวถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากโรงงานแปรรูปถั่วเหลือง จังหวัดสมุทรสาคร นำมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม โดยการล้างด้วยน้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง และนำผิวถั่วเหลืองที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งผิวถั่วเหลืองมีน้ำหนักคงที่ นำผิวถั่วเหลืองไปลดขนาดโดยเครื่องบดละเอียดทางการเกษตร บรรจุผิวถั่วเหลืองไว้ในถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 25 ± 5 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำออกมาทำการทดลอง ผิวถั่วเหลืองที่ผ่านการเตรียมมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 9.58 ปริมาณความชื้นถูกนำไปคำนวณน้ำหนักฐานแห้งของวัตถุดิบในการสกัด

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง

ผิวถั่วเหลืองจากข้อ 3.2 นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC (2000) โดยทำการวิเคราะห์ ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีนหยาบ เยื่อใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.4 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

การทดลองสกัดเพกทิน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตเพกทินจากการสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน (Autoclave extraction, AE) และหม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ (Microwave pressure cooker extraction, MPCE) ตามการทดลองดังต่อไปนี้

3.4.1. การสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน (Autoclave extraction, AE)

การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนิ่งความดัน ดัดแปลงอุณหภูมิ อัตราส่วน และการตกตะกอน จากวิธีการของ Wang และคณะ (2014) ทำการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ และกากแอปเปิลโดยการใช้ น้ำอุณหภูมิสูง ซึ่งน้ำหนักผิวถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จำนวน 10 ± 0.2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำปราศจากไอออน จากนั้นจึงปรับสารละลายให้ได้พีเอช 1.5, 2.5 และ 3.5 ด้วยกรด HCl 0.5 โมลาร์ ให้ได้อัตราส่วน 1:15 (กรัม/มิลลิลิตร) นำบีกเกอร์ตัวอย่างห่อด้วยกระดาษฟอยล์ และนำไปใส่ตู้ร้อนเพื่อเข้าสู่หม้อนิ่งความดัน อุณหภูมิอยู่ที่ 110, 115 และ 120 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดที่ 10, 15 และ 20 นาที รองนกว่าการสกัดในหม้อนิ่งความดันจะยุติ อุณหภูมิและความดันของเครื่องลดลงมาที่ 60 องศาเซลเซียส จึงนำบีกเกอร์ตัวอย่างออกจากหม้อนิ่งความดัน หลังจากนั้นทำการแยกกากโดยใช้ผ้าขาวบาง นำสารละลายเพกทินที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 15 นาที ปรับพีเอชสารละลายเพกทินให้อยู่ที่พีเอช 2.5 โดยการใช้กรด HCl 0.5 โมลาร์ และ NaOH 0.5 โมลาร์ นำสารละลายส่วนใสมาทำการระเหยน้ำออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนกว่าสารละลายจะมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตกตะกอนเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วย 95% เอทานอล ในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาตร/ปริมาตร) ตกตะกอนทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำสารละลายเพกทินมาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 20 นาที ส่วนของตะกอนที่ได้คือเพกทินจากผิวถั่วเหลือง ล้างเพกทินที่ได้ด้วย 95% เอทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง นำเพกทินที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชม. หรือจนกระทั่งน้ำหนักของเพกทินคงที่ เพกทินที่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกปริมาณ เพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 3.1

3.4.2. การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (Microwave pressure cooker extraction, MPCE)

สกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ ดัดแปลงจากวิธีของ Maran และคณะ (2013) สกัดเพกทินจากเปลือกส้มโดยการใช้น้ำไมโครเวฟที่ระดับพีเอช 1.5-2.5 และ Motashamy และ Ashtiani (2016) สกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองโดยการใช้น้ำไมโครเวฟที่ระดับพีเอช 1.5 และ 2.0 ซึ่งทั้งสองวิธีไม่มีการใช้หม้อแรงดันไมโครเวฟ โดยชั่งน้ำหนักผิวถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จำนวน 10 ± 0.2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำปราศจากไอออน จากนั้นจึงปรับสารละลายให้ได้พีเอช 1.5, 2.5 และ 3.5 ด้วยกรด HCl 0.5 โมลาร์ ให้ได้อัตราส่วน 1:30 (กรัม/มิลลิลิตร) นำซามแก้วใส่ลงในหม้อแรงดันสูงนำไปใส่น้ำไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ให้อุณหภูมิในการสกัด 114 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 15 และ 20 นาที หลังจากนั้นทำการแยกกากโดยใช้ผ้าขาวบาง นำสารละลายเพกทินที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 15 นาที ปรับพีเอชสารละลายเพกทินให้อยู่ที่พีเอช 2.5 โดยการใช้กรด HCl 0.5 โมลาร์ และ NaOH 0.5 โมลาร์ นำสารละลายส่วนใสมาทำการระเหยน้ำออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนกว่าสารละลายจะมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตกตะกอนเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วย 95% เอทานอล ในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาตร/ปริมาตร) ตกตะกอนทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำสารละลายเพกทินมาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 20 นาที ส่วนของตะกอนที่ได้คือเพกทินจากผิวถั่วเหลือง ล้างเพกทินที่ได้ด้วย 95% เอทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง นำเพกทินที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชม. หรือจนกระทั่งน้ำหนักของเพกทินคงที่ เพกทินที่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก และจัดบันทึกปริมาณผลผลิต เพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 3.1

3.5 ปริมาณผลผลิตเพกทิน

ผลผลิตเพกทินที่ได้จากการสกัดในข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2 นำมาคำนวณตามสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณผลผลิต(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเพกทินถั่วเหลือง}}{\text{น้ำหนักผิวถั่วเหลือง}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.6 การคำนวณค่าไฟฟ้า และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสกัดเพกทิน

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) โดยดูจากกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ ระยะเวลา เพื่อคำนวณหน่วยไฟฟ้า ตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 และคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดเพกทินดังสมการที่ 3.4

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

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

$$\text{CO}_2 \text{ emission (Kg CO}_2\text{)} = \text{จำนวนหน่วย (kWh)} \times 0.6933 \text{ KgCO}_2\text{/kWh} \quad (3.4)$$

หมายเหตุ 0.6933 kgCO₂/kWh คือ ค่า Emission factor ของการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2562)

3.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพกทิน

3.7.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพกทินที่ได้จากการการสกัดจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) เปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดังนี้

3.7.1.1. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธี AOAC (2000)

3.7.1.2. เถ้า (ash content) ตามวิธี AOAC (2000)

3.7.1.3. ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification) ตามวิธีของ Ranganna (1997)

3.7.1.4. ปริมาณเมธอกซิล (methoxyl content) ตามตารางในภาคผนวก ค 1

3.7.1.5. ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid content) ตามวิธีของ Ranganna (1997)

3.7.1.6. การวิเคราะห์โปรตีนหยาบ (crude protein) ตามวิธี AOAC (2000)

3.7.1.7. การวิเคราะห์เยื่อใยหยาบ (crude fiber) ตามวิธี AOAC (2000)

3.7.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

3.7.2.1. การวัดค่าสี

วัดค่าสีจากผงเพกทินที่ได้จากการสกัด และเพกทินทางการค้า โดยใช้เครื่อง Minolta (CR-400) วัดค่าโดยใช้โหมด CIE รายงานผลในรูป L*, Hue และ Chroma

3.7.2.2. ความหนืด

นำเพกทินที่สกัดได้มาวัดความหนืด โดยเตรียมสารละลายเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4.5, 6 และ 9 เพกทินทางการค้าที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9, 1.0 และ 1.5 ละลายผงเพกทินในน้ำปราศจากไอออน (DI water) ดัดแปลงจาก วัลภา และกิตติชัย (2557) โดยใช้เครื่องกวนสาร นำสารละลายเพกทินความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัววัดเบอร์ 18 บันทึกค่าความหนืดหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (Centipoise, cPs) แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ครั้ง เพื่อนำมาเฉลี่ยค่าความหนืด

3.8 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

โปรแกรม Design expert นำมาใช้ในการสร้างแผนการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล สร้างพื้นที่ผิวตอบสนอง และสร้างสมการในการทำนายการสกัด ตามการทดลองดังต่อไปนี้

3.8.1 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนิ่งความดัน

แผนการทดลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองสำหรับการสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน (AE) ใช้แผนการทดลอง box behnken design (BBD) กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการสกัดคือ ระดับอุณหภูมิ ระยะเวลา และระดับพีเอช รวมทั้งหมด 3 ปัจจัย 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 3.1 ออกแบบการทดลองทั้งหมด 17 การทดลอง โดยมีการทดลองที่แตกต่างกัน 12 การทดลอง และมีจุดกึ่งกลางทั้งหมด 5 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกนำมาสร้างพื้นที่ผิวตอบสนอง และสมการในการทำนายสถานะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนิ่งความดัน

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับในการทดลองการสกัดเพกทินด้วยหม้อนึ่งความดัน

ปัจจัยที่ใช้ในการสกัด	หน่วย	ระดับการทดลอง		
		-1	0	1
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	110	115	120
ระยะเวลา	นาที	10	15	20
ระดับพีเอช		1.5	2.5	3.5

ตารางที่ 3.2 การทดลองที่ได้จากแผนการทดลอง box behnken design

การทดลอง	X ₁ : อุณหภูมิ (°C)	X ₂ : เวลา (นาที)	X ₃ : ระดับพีเอช
1	115	15	2.5
2	115	15	2.5
3	115	15	2.5
4	120	20	2.5
5	115	15	2.5
6	110	15	3.5
7	115	20	3.5
8	115	15	2.5
9	115	10	1.5
10	115	10	3.5
11	120	15	1.5
12	120	15	3.5
13	110	20	2.5
14	120	10	2.5
15	110	15	1.5
16	110	10	2.5
17	115	20	1.5

3.8.2 การสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

แผนการทดลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองสำหรับการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ใช้แผนการทดลอง central composite design (CCD) กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการสกัดคือ ระยะเวลา และระดับพีเอช รวมทั้งหมด 2 ปัจจัย 5 ระดับ แสดงดังตารางที่ 3.3 ออกแบบการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง โดยมีการทดลองที่แตกต่างกัน 5 การทดลอง และมีจุดกึ่งกลางทั้งหมด 5 การทดลอง และการทดลอง $\pm\alpha$ ทั้งหมด 4 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกนำมาสร้างพื้นที่ผิวตอบสนอง และสมการในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยและระดับในการทดลองการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	หน่วย	ระดับการทดลอง				
		$+\alpha$	1	0	-1	$-\alpha$
ระยะเวลาในการสกัด	นาที	8	10	15	20	22
ระดับพีเอช		1.1	1.5	2.5	3.5	4

ตารางที่ 3.4 การทดลองที่ได้จากแผนการทดลอง central composite design

การทดลอง	X_1 : ระยะเวลา(นาที)	X_2 : ระดับพีเอช
1	10	1.5
2	10	3.5
3	15	2.5
4	15	2.5
5	15	2.5

6	22	2.5
7	15	2.5
8	15	2.5
9	20	3.5
10	15	1.1
11	15	4
12	20	1.5
13	8	2.5

3.8.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกทินที่ได้จากการสกัดจากหม่อนนิ่งความดัน (AE) การสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ One way ANOVA และ paired samples T-test (สำหรับความหนืดเพกทิน) โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลือง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%w/b)
ความชื้น	9.58 ± 0.03
เถ้า	2.75 ± 0.03
โปรตีนหยาบ	13.38 ± 0.46
ไขมัน	2.98 ± 0.40
เยื่อใยหยาบ	37.92 ± 0.51
คาร์โบไฮเดรต	33.39 ± 0.63

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

องค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่นำมาใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของผิวถั่วเหลืองที่ได้ใกล้เคียงกับค่าการทดลองของ Liu และคณะ (2016) ได้ผลการทดลองดังนี้ ความชื้นร้อยละ 6.8, ค่าเถ้าร้อยละ 1.17, ค่าเยื่อใยร้อยละ 35.5, โปรตีนหยาบร้อยละ 12 และการทดลองของ Porfiri และ Wagner (2018) ได้ค่าองค์ประกอบทางเคมีอยู่ที่ เถ้าร้อยละ 4.4, โปรตีนร้อยละ 9.9, ไขมันร้อยละ 1 เยื่อใยร้อยละ 42 โดยค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองจะนำไปใช้คำนวณน้ำหนักแห้งในการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองในหัวข้อที่ 4.2 ต่อไป

4.2 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE)

4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล และประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลอง (ANOVA) โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง linear model, Interactive model (2FI) และ Quadratic model พบว่าแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์สำหรับการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) เหมาะสมกับรูปแบบ Quadratic model (สมการพหุนามกำลังสอง) โดยดูจากค่า R-squared มีค่าสูงกว่าของแบบจำลองอื่น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ชนิดแบบจำลอง	STD. dev	R-Squared
Linear	2.5307	0.2421
Interactive	2.6691	0.3515
Quadratic	0.8523	0.9537

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง Box Behnken Design

ตัวแปร	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	p-value Prob > F
แบบจำลอง	104.76	9	11.64	16.02	0.0007**
X ₁ -อุณหภูมิ	9.95	1	9.95	13.69	0.0077**
X ₂ -ระยะเวลาในการสกัด	3.13	1	3.13	4.30	0.0768
X ₃ -ระดับพีเอช	13.52	1	13.52	18.61	0.0035**
X ₁ X ₂	5.88	1	5.88	8.09	0.0249*
X ₁ X ₃	5.09	1	5.09	7.00	0.0331*
X ₂ X ₃	1.05	1	1.05	1.45	0.2682
X ₁ ²	1.81	1	1.81	2.49	0.1584
X ₂ ²	0.03	1	0.03	0.04	0.8450
X ₃ ²	62.92	1	62.92	86.61	< 0.0001**
Lack of Fit	2.30	3	0.77	1.10	0.4458
R squared			0.9537		

Adj R-squared	0.8942
Std. Dev.	0.8523
C.V. %	9.7344
Adeq precision	15.9780

หมายเหตุ: * คือ $p \leq 0.05$, ** คือ $p \leq 0.01$

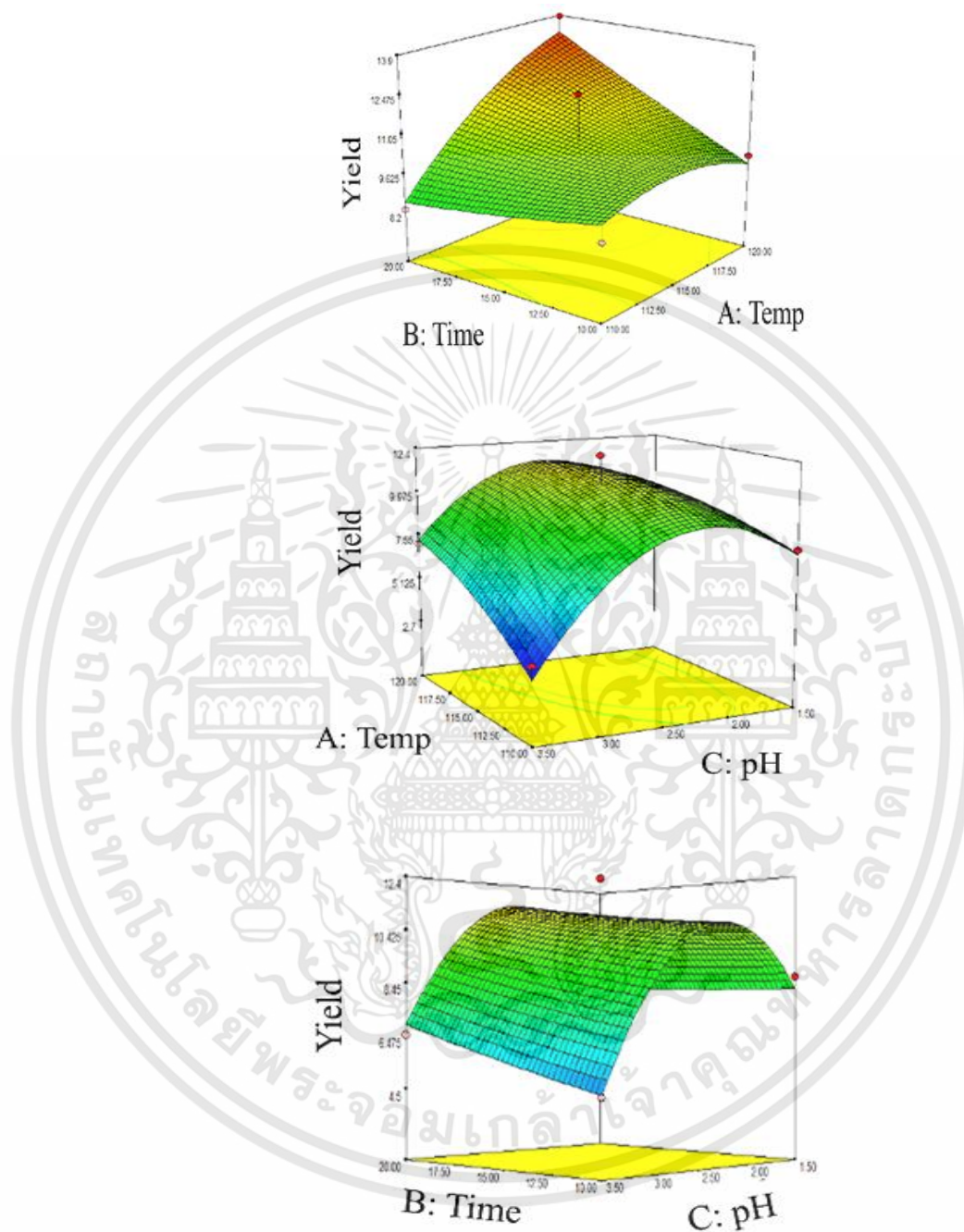
เมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย (ANOVA) แสดงผลดังตารางที่ 4.3 แบบจำลอง (Model) มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความไม่สมมูลของรูปแบบจำลอง (Lack of fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) มีค่าเท่ากับ 0.9537 แสดงให้เห็นว่ามีค่าผิดพลาดในการทำนายเพียง 4.63% ค่า Adj R-squared มีค่าเท่ากับ 0.8942 แบบจำลองมีความแม่นยำในการนำไปทำนายผลการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation, C.V.) ใช้เพื่อยืนยันความแม่นยำของแบบจำลอง โดยสัมประสิทธิ์ความแปรผันของแบบจำลองอยู่ที่ 9.73% และค่า Adequate precision มีค่าเท่ากับ 15.9780 เป็นค่าที่ใช้บอกความแม่นยำโดยดูจากอัตราส่วนของ signal-to noise ถ้าอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเป็นที่ยอมรับ (Maran และ Prakash, 2015) และสามารถใช้ในการทำนายได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองในรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic model) มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อทำนายผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) โดยแบบจำลองนี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการสกัดและผลผลิตที่ต้องการแสดงดังสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตเพกทิน (\%)} = & -231.383 + 4.96465X_1 - 5.80985X_2 - 9.44125X_3 + 0.0485X_1X_2 + 0.2255X_1X_3 \\ & + 0.1025X_2X_3 - 0.02623X_1^2 + 0.00337X_2^2 - 3.86575X_3^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ	X_1	คือ ระดับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
	X_2	คือ ระยะเวลาในการสกัด (นาที)
	X_3	คือ ระดับพีเอชในการสกัด

4.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน



ภาพที่ 4.1 พื้นที่ผิวตอบสนองของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อนึ่งความดัน
 (ก.) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการสกัด (นาที) (ข.) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ
 ระดับพีเอช และ (ค.) ระยะเวลา (นาที) และระดับพีเอช

จากสมการพหุนามกำลังสอง (สมการที่ 4.1) นำมาสร้างเป็นพื้นที่ผิวตอบสนองสามมิติเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากการสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) ได้แก่ อุณหภูมิในการสกัด ระดับพีเอช อุณหภูมิ-เวลาในการสกัด และอุณหภูมิ-ระดับพีเอช มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนระยะเวลาในการสกัดไม่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทิน ($p > 0.05$) จากภาพที่ 4.1 (ก.) จากอุณหภูมิ 110 ไปถึง 120 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของอุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตเพกทินเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวทำละลายต่อวัตถุดิบได้มากขึ้น (Zhongdong และคณะ, 2006, Pasandide และคณะ, 2017) สอดคล้องกับ Wang และคณะ (2014) สกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอและกากแอปเปิลโดยใช้น้ำอุณหภูมิสูง พบว่าปริมาณเพกทินจากกากแอปเปิลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 130 องศาเซลเซียสไป 150 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (Wai และคณะ, 2010) และจากภาพที่ 4.1 (ข.) ระดับพีเอชในการสกัดมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้ง ค่าพีเอชที่ต่ำแสดงถึงความเข้มข้นสูง ที่ระดับพีเอช 2.5 สกัดเพกทินได้มากที่สุด และลดลงเมื่อระดับพีเอชอยู่ที่ 3.5 เนื่องจากพีเอชที่สูงขึ้นทำให้เพกทินไฮโดรไลซิสออกมาจากวัตถุดิบได้น้อยลง และที่ระดับพีเอชต่ำกว่า 2.5 ปริมาณเพกทินลดลง เนื่องจากการใช้ระดับพีเอชต่ำในการสกัด ส่งผลให้เพกทินภายในวัตถุดิบเกิดการรวมตัวกันภายในวัตถุดิบ จึงละลายออกมาได้น้อยลง (Faravash และ Ashtiani, 2008, Maran และคณะ, 2014)

จากสมการพหุนามกำลังสอง และพื้นที่ผิวตอบสนอง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) เพื่อให้ได้ปริมาณเพกทินสูงสุดอยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที และระดับพีเอช 2.54 ได้ปริมาณเพกทินจากผิวกล้วยเหลืองอยู่ที่ร้อยละ 13.23 สภาวะดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการทดลองสกัดจำนวน 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผลผลิตเพกทิน ได้ค่าเพกทินจากการทดลองที่ร้อยละ 13.33 ± 0.10 ค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE) อยู่ที่ 0.14 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำสภาวะที่เหมาะสมจากการสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) ไปใช้ในการสกัดเพกทินได้

4.3 การสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล และประเมินรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลอง (ANOVA) โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Linear model, Interactive model(2FI) และ Quadratic model พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) เหมาะสมกับรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic model) โดยดูจากค่า R-squared มีค่าสูงกว่าของแบบจำลองอื่น ดังตารางที่ 4.4 นอกจากนี้สมการพหุนามกำลังสองยังสามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินได้มากกว่าสมการรูปแบบอื่น

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

ชนิดแบบจำลอง	STD. dev	R-Squared
Linear	1.60	0.3754
Interactive	1.59	0.4495
Quadratic	0.40	0.9733

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลอง central composite design

ตัวแปร	Sum of Square	df	Mean square	F value	probe p-value
แบบจำลอง	40.00	5	8.00	51.11	< 0.0001**
X ₁ -ระยะเวลา	1.17	1	1.17	7.49	0.0290*
X ₂ -ระดับพีเอช	11.81	1	11.81	75.41	< 0.0001**
X ₁ X ₂	3.05	1	3.05	19.45	0.0031*
X ₁ ²	0.25	1	0.25	1.62	0.2434

X_2^2	21.51	1	21.51	137.42	< 0.0001
Residual	1.10	7	0.16		
Lack of Fit	0.59	3	0.20	1.56	0.3311
R-Squared			0.9733		
Adj R-Squared			0.9543		
Std. Dev.			0.3957		
C.V. %			5.1898		
Adeq Precision			22.9943		

หมายเหตุ: * คือ $p \leq 0.05$, ** คือ $p \leq 0.01$

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย (ANOVA) แสดงผลดังตารางที่ 4.5 แบบจำลอง (Model) มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความไม่สมมูลของรูปแบบจำลอง (Lack of fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) มีค่าเท่ากับ 0.9733 แสดงให้เห็นว่ามีค่าผิดพลาดในการทำนายเพียง 2.67% ค่า Adj R-squared มีค่าเท่ากับ 0.9543 แบบจำลองมีความแม่นยำในการนำไปทำนายผลการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation, C.V.) ใช้เพื่อยืนยันความแม่นยำของแบบจำลอง โดยสัมประสิทธิ์ความแปรผันของแบบจำลองอยู่ที่ 5.19% และค่า Adequate precision มีค่าเท่ากับ 22.994 เป็นค่าที่ใช้บอกความแม่นยำโดยดูจากอัตราส่วนของ signal-to noise ถ้าอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเป็นที่ยอมรับ (Maran และคณะ, 2015) และสามารถใช้ในการทำนายได้

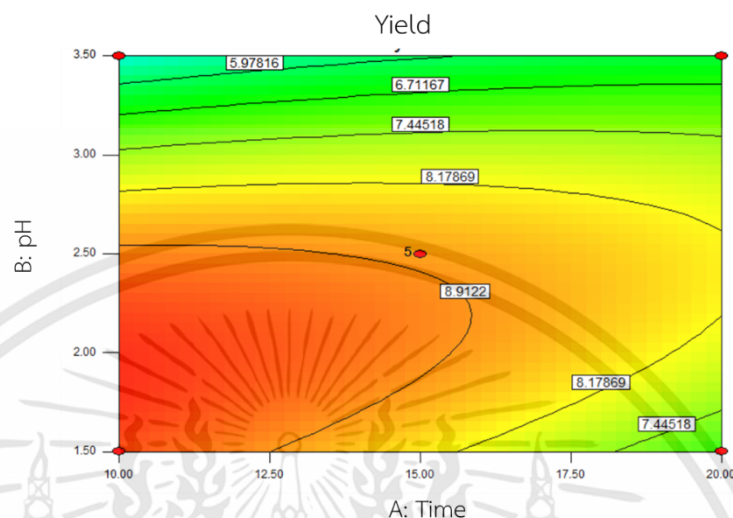
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองในรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic model) มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อทำนายผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และแบบจำลองนี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการสกัดและผลผลิตที่ต้องการแสดงดังสมการที่ 4.2

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตเพกทิน (\%)} = & 7.21324 - 0.2800X_1 + 4.62881X_2 + 0.17450X_1X_2 - 0.00777X_1^2 \\ & - 1.68972X_2^2 \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

เมื่อ X_1 คือ ระยะเวลาในการสกัด (นาที)

X_2 คือ ระดับพีเอชในการสกัด

4.3.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ



ภาพที่ 4.2 พื้นที่ผิวดอกของระหว่างระยะเวลา (นาที) และระดับพีเอช ที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

จากสมการพหุนามกำลังสอง (สมการที่ 4.2) นำมาสร้างเป็นพื้นที่ผิวดอกสามมิติเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทิน จากตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทินจากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ระยะเวลาในการสกัด และระดับพีเอช มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากภาพที่ 4.2 ผลผลิตเพกทินมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสกัดโดยใช้พลังงานไมโครเวฟที่สูง และระยะเวลาในการสกัดนานส่งผลให้โมเลกุลของเพกทินลดลง ทำให้ปริมาณการสกัดเพกทินที่ได้ลดลง ผลผลิตเพกทินจึงได้น้อยลง (Zheng และคณะ, 2011) สอดคล้องกับ Maran และ Prakash (2015) สกัดเพกทินจากกามะละกอบพบว่าที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ได้ปริมาณเพกทินจากมะละกอน้อยลง ระดับพีเอชเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตเพกทิน แนวโน้มของระดับพีเอชลดลงเมื่อระดับพีเอชเพิ่มขึ้น (ความเป็นกรดต่ำ) เนื่องจากการใช้กรดในการสกัด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสของเพกทินส่วนที่ไม่ละลาย ให้ละลายออกมาจากวัตถุดิบ และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน (Maran และคณะ, 2014, Maran และ Prakash, 2015) ระดับพีเอชสูงที่มีความเป็นกรดต่ำเพกทินจึงละลายออกมาได้น้อยลง

จากสมการพหุนามกำลังสอง และพื้นที่ผิวตอบสนอง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจาก ผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) เพื่อให้ได้ปริมาณเพกทินสูงสุดอยู่ที่ ระยะเวลา 10 นาที และระดับพีเอช 1.89 ได้ปริมาณเพกทินจากผิวถั่วเหลืองอยู่ที่ร้อยละ 9.65 มีค่าการยอมรับ (Desirability) อยู่ที่ 0.975 สภาวะดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการทดลองสกัดจำนวน 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผลผลิตเพกทิน เมื่อทำการทดลองพบว่า เพกทินที่ได้มีผลผลิตอยู่ที่ร้อยละ 9.57 ± 0.76 ค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE) อยู่ที่ 0.62 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำสภาวะที่เหมาะสมจากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ไปใช้ในการสกัดได้

4.4 ปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองโดยวิธีการสกัดโดยใช้หม้อหนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) พบว่าปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อหนึ่งความดัน (AE) มีปริมาณสูงกว่าหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ใช้เวลาเพียง 10 นาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิการสกัดที่ 114 องศาเซลเซียส ซึ่งเร็วกว่าการสกัดจากหม้อหนึ่งความดัน (AE) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลา 30 นาที ในการให้ความร้อนจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่อุณหภูมิในช่วง 110-120 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองทั้งสองวิธีนี้ใช้เวลาน้อยกว่าการสกัดแบบดั้งเดิม Gnanasambandam และ Proctor (1999) สกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองโดยการใช้รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 40 นาที ได้ปริมาณผลผลิตที่ร้อยละ 15 และ Kalapathy และ Proctor (2001) สกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองโดยการใช้รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 45 นาที ได้ปริมาณผลผลิตอยู่ที่ร้อยละ 18-26 ดังนั้นการสกัดด้วยหม้อหนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) สามารถช่วยลดเวลา และต้นทุนในการสกัดให้ได้ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นได้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณผลผลิตเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากการสกัดโดยวิธี AE และ MPCE

วิธีการสกัด	ปริมาณผลผลิต (%)
AE	$13.33 \pm 0.10^*$
MPCE	$9.57 \pm 0.76^*$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- * คือ มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- AE คือ การสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน
- MPCE คือ การสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

4.5 พลังงานไฟฟ้าของการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า ค่ารวมไฟฟ้า และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากวิธีการสกัดเพกทินจากหม้อนิ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) พบว่าค่าไฟฟ้า และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีค่าน้อยกว่าการสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน (AE) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าไฟฟ้า และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

วิธีการสกัด	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)	จำนวนยูนิต	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ปริมาณ CO ₂ (KgCO ₂)
AE	1540	2.31	2.31	1.6015
MPCE	1150	0.19	0.77	0.1329

หมายเหตุ AE คือ การสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน

MPCE คือ การสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

4.6 คุณสมบัติทางเคมีของเพกทิน

เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนิ่งความดัน (AE) เพกทินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางเคมีของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า

คุณสมบัติของเพกทิน	ชนิดของเพกทิน		
	AE	MPCE	CMP
%ความชื้น	11.11±0.22 ^c	9.29 ± 0.12 ^a	10.29 ± 0.00 ^b
%เถ้า	4.84 ±0.02 ^c	3.39 ± 0.01 ^b	2.27±0.14 ^a
ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน	54.62±0.66 ^a	55.13±0.91 ^a	71.07±0.69 ^b
ปริมาณเมธอกซิล	8.90 ±0.10 ^a	8.98±0.15 ^a	11.56±0.13 ^b
ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก	57.40±0.04 ^a	69.10±1.68 ^b	83.53±1.51 ^c
%เยื่อใย	0.34±0.05 ^a	0.78±0.22 ^b	0.15±0.02 ^a
%โปรตีนหยาบ	21.65±2.53 ^b	21.64±1.75 ^b	3.20±0.13 ^a

หมายเหตุ a,b,c แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

AE คือ การสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน

MPCE คือ การสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ

CMP คือ เพกทินทางการค้าประเภทเดียวกับเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

4.6.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นของเพกทินที่ได้จากการสกัดจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.8 ค่าความชื้นของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) และจากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 11.11 และ 9.29 w/b ใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า ค่าความชื้นของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองใกล้เคียงกับเพกทินจากเปลือกขนุน (ร้อยละ 9.98) เพกทินจากใบเครือหมาน้อย (ร้อยละ 9.40-10.05) (Koh และคณะ, 2014, Yuliarti และคณะ, 2017) ค่าความชื้นของเพกทินที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีช่วงเวลาในการอบคนละรอบกัน ทำให้ปริมาณความชื้นของเพกทินแตกต่างกันเนื่องจากการเก็บรักษา ทั้งนี้อายุการเก็บรักษาของเพกทินทางการค้ามีระยะเวลาที่นานกว่าจึงเกิดการเสื่อมคุณภาพลง

ได้ เนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการเสื่อมคุณภาพของเพกตินเนื่องจากการสลายโดยเอนไซม์เพกติเนส (Ismail และคณะ, 2012) ทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และ joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA) กำหนดค่าความชื้นของเพกตินที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่ำกว่าร้อยละ 12 (JECFA, 2009)

4.6.2 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้าของเพกตินที่ได้จากการสกัดจากหม่อนหนึ่งความดัน (AE) เพกตินที่ได้จากหม่อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกตินที่การค้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.8 เพกตินที่ได้จากการสกัดด้วยหม่อนหนึ่งความดัน (AE) และหม่อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีปริมาณเถ้าอยู่ที่ร้อยละ 3.39 และ 4.84 w/b มีค่าสูงกว่าปริมาณเถ้าของเพกตินทางการค้ำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 2.27 w/b เมื่อความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในผิวถั่วเหลืองละลายออกมาได้เพิ่มขึ้น และตกตะกอนร่วมกับเพกตินในขั้นตอนการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (Kalapathy และ Proctor, 2001) ปริมาณค่าเถ้าของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองอยู่ในมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดปริมาณเถ้าของเพกตินต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้เพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับเพกตินที่ได้จากเปลือกส้มโอ และกากแอปเปิ้ลที่ได้จากการสกัดโดยการใช้ น้ำอูณหภูมิต่ำ (110-180 องศาเซลเซียส) (Wang และคณะ, 2014)

4.6.3 ระดับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification)

ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันคือ อัตราส่วนของการเกิดเมธิลเอสเทอร์ต่อปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด โดยหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (-COOH) ในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ทำให้หมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกกลายเป็นเมธิลเอสเทอร์ ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันใช้ในการจำแนกประเภทของเพกตินตามจุดประสงค์ของผู้ต้องการนำเพกตินไปใช้ จากตารางที่ 4.8 เพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม่อนหนึ่งความดัน (AE) และเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่สกัดด้วยหม่อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เพกตินจากผิวถั่วเหลืองเป็นเพกตินประเภท high methoxyl pectin มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าร้อยละ 50 สามารถขึ้นเจลได้โดยอาศัยน้ำตาลปริมาณร้อยละ 65-75 และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.8-3.2 เหมาะสำหรับการนำไปใช้ทำแยม และผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง (นิธิยา, 2557) เพกตินจากผิวถั่วเหลือง และเพกตินทางการค้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เพกตินจากผิว

ถั่วเหลืองเป็นเพกทินประเภทเดียวกันกับเพกทินทางการค้า แตกต่างกันในระดับการเกิดเจล โดยเพกทินทางการค้าเป็นเพกทินประเภทเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว (rapid-set pectin) และเพกทินจากผิวถั่วเหลืองเป็นเพกทินประเภทเกิดเจลได้ช้า (slow-set pectin) ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดเป็นเพกทินประเภท high-methoxyl pectin สอดคล้องกับงานวิจัยเพกทินจากผิวถั่วเหลืองอื่นๆ (Kalapathy และ Proctor, 2001, Porfiri และ Wagner, 2018 และ Mohtashamy และ Ashtiani, 2010)

4.6.4 ปริมาณเมธอกซิล (Methoxyl content)

ปริมาณเมธอกซิลใช้ในการจำแนกประเภทของเพกทิน ซึ่งสัมพันธ์กับระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าร้อยละ 50 จะมีปริมาณเมธอกซิลอยู่ที่ร้อยละ 8.16 เป็นเพกทินประเภท high-methoxyl pectin จากตาราง 4.8 เพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีปริมาณเมธอกซิลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีปริมาณเมธอกซิลอยู่ที่ร้อยละ 8.90 และ 8.98 และเพกทินจากผิวถั่วเหลืองมีปริมาณเมธอกซิลแตกต่างจากเพกทินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เพกทินทางการค้ามีปริมาณเมธอกซิลที่ร้อยละ 11.56 อย่างไรก็ตามเพกทินทั้ง 3 ชนิด เป็นเพกทินที่มีเมธอกซิลสูง

4.6.5 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid content)

กรดกาแลคทูโรนิกเป็นโครงสร้างหลักของเพกทิน เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง α -1,4 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกใช้บอกปริมาณเพกทินที่มีอยู่ในโครงสร้าง และความบริสุทธิ์ของเพกทิน (Liang และคณะ, 2012) จากตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) เพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณกาแลคทูโรนิกอยู่ที่ร้อยละ 57.40, 69.10 และ 83.53 ตามลำดับ เพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกต่ำกว่าเพกทินทางการค้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกตั้งแต่ร้อยละ 65 เพกทินมีความบริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ ปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิก ของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าเพกทินทางการค้า เนื่องจากผิวถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน และเยื่อใยสูง ทำให้ในกระบวนการสกัดโดยการใช้ น้ำที่มีอุณหภูมิสูง องค์ประกอบอื่นในโครงสร้างของผิวถั่วเหลือง

เช่น โปรตีน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ถูกย่อยกลายเป็นโมเลกุลเล็ก และตกตะกอนลงมาพร้อมกับเพกทินในขั้นตอนการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (Wang และคณะ, 2014) ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีค่าใกล้เคียงกับเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่สกัดด้วยวิธีดั้งเดิม มีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 54.98-72 (Gnanasambandam และ Proctor, 1999 และ Kalaphathy และ Proctor, 2001) เพกทินที่ได้จากการสกัดอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 35

4.6.6 ปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber)

ปริมาณเยื่อใยหยาบนำมาวิเคราะห์เพื่อดูความบริสุทธิ์ของเพกทิน จากตารางที่ 4.8 เพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดโดยด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) เพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเยื่อใยหยาบอยู่ที่ร้อยละ 0.34 0.78 และ 0.15 โดยเพกทินที่ได้จากการสกัดจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีปริมาณสูงกว่าเพกทินที่ได้จากการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินทางการค้า ทั้งนี้ปริมาณเยื่อใยหยาบภายในองค์ประกอบของเพกทินมีปริมาณต่ำ แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการสกัดเพกทินโดยการใช้ น้ำอุณหภูมิสูง ทำลายโครงสร้างของผิวถั่วเหลือง ทำให้โมเลกุลของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสถูกย่อยสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็ก และตกตะกอนลงมาพร้อมกับเพกทินในขั้นตอนการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (Yuliansyah และคณะ, 2010, Liu และคณะ, 2016)

4.6.7 ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude Protein)

ปริมาณโปรตีนของเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยด้วยการใช้หม้อนึ่งความดัน (AE) เพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบของเพกทินที่สกัดได้จากผิวถั่วเหลือง ได้มาจากองค์ประกอบภายในของผิวถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 13.38 สูงกว่าวัตถุดิบอื่นที่นิยมนำมาใช้ในการสกัดเพกทิน อาทิเช่น เปลือกส้มโอ และกากแอปเปิล มีปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบอยู่ที่ร้อยละ 3.25 และ 3.8 (Wu และคณะ, 2019, Wang และคณะ, 2019) ทำให้มีปริมาณโปรตีนอยู่ในองค์ประกอบเพกทินเพียงเล็กน้อย และในกระบวนการสกัดเพกทินทางการค้ามีการกำจัดโปรตีนออกจากวัตถุดิบในการสกัดเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ให้เพกทิน นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในเพกทิน

จากผิวถั่วเหลืองมีปริมาณสูง เนื่องจากกระบวนการสกัดเพกทินใช้น้ำอุณหภูมิสูง ทำให้โมเลกุลของโปรตีนย่อยสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็ก สามารถเชื่อมต่อกับเพกทิน หรืออยู่อย่างอิสระในสารละลาย (Carna และคณะ, 2007, Wang และคณะ, 2014) ปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบเพกทินที่ได้จากการสกัดโดยการใช้น้ำอุณหภูมิสูง มีปริมาณต่ำกว่าเพกทินที่สกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า Porfiri และ Wagner (2018) สกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลือง พบว่าเพกทินมีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 41 จากการสกัดพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีส่วนช่วยให้ปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบเพกทินลดลง (Wang และคณะ, 2014)

4.7 คุณสมบัติทางกายภาพของเพกทิน

4.7.1 สีของเพกทิน



ภาพที่ 4.3 สีของผงเพกทิน (ก.) เพกทินจากการใช้หม้อนึ่งความดัน (ข.) เพกทินจากการใช้หม้อแรงดันไมโครเวฟ และ (ค.) เพกทินทางการค้า (CMP)

จากตารางที่ 4.9 เพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE) เพกทินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า Hue แสดงค่าของตัวอย่างตามค่าองศาตั้งนี้ 0° โชนสีแดง 90° โชนสีเหลือง 180° โชนสีเขียว และ 270° โชนสีน้ำเงิน เมื่อค่าของ Hue ตกอยู่ที่องศาตามโชนสีก็จะทำให้ทราบถึงสีของตัวอย่างที่ทำการวัด จากการทดลองเพกทินจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีค่า L^* อยู่ที่ 53.82, 55.26 เพกทินทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และเพกทินทางการค้ามีค่าอยู่ที่ 85.66 เพกทินทางการค้ามีความสว่างมากกว่าเพกทินที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน (AE) และเพกทินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีค่า hue อยู่ที่ 61.81 และ 63.49 มีค่าใกล้เคียงกัน สีของเพกทินจะเป็นสีโทนส้มน้ำตาล เพกทินทางการค้ามีค่าอยู่ที่ 79.78 พบว่าเพกทินทางการค้ามีสีโทนเหลือง ค่า chroma

บอกค่าความเข้มของสี จากการทดลองพบว่าความเข้มของสีของเพกตินจากหม่อนนิ่งความดัน (AE) เพกตินจากหม่อนแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกตินทางการค้ามีค่าอยู่ที่ 19.96, 16.72 และ 14.46 โดยเพกตินจากหม่อนนิ่งความดัน สีมืดเข้มของสีมากที่สุด ทั้งนี้สีของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดมีโทนสีส้มน้ำตาลใกล้เคียงกับเพกตินที่ได้จากเปลือกขนุน (Koh และคณะ, 2014)

ตารางที่ 4.9 สีของผงเพกตินที่ได้จากผิวถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้า

ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L*	C*	H*	a*	b*
AE	53.82 ± 0.31 ^a	19.96 ± 0.08 ^c	61.81 ± 0.32 ^a	9.43 ± 0.06 ^c	17.60 ± 0.12 ^b
MPCE	55.26 ± 0.28 ^b	16.72 ± 0.70 ^b	63.49 ± 0.27 ^b	7.46 ± 0.26 ^b	14.97 ± 0.65 ^a
CMP	85.66 ± 0.69 ^c	14.46 ± 0.59 ^a	79.78 ± 0.32 ^c	2.56 ± 0.03 ^a	14.23 ± 0.59 ^a

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

AE คือ เพกตินจากหม่อนนิ่งความดัน

MPCE คือ เพกตินจากหม่อนแรงดันไมโครเวฟ

CMP คือ เพกตินทางการค้าประเภทเดียวกับเพกตินจากผิวถั่วเหลือง

4.7.2 ความหนืด (Viscosity)

ค่าความหนืดของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากหม่อนนิ่งความดัน (AE) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.5, 6 และ 9 มีค่าอยู่ที่ 1.14 ± 3.66 , 4.33 ± 2.02 และ 6.19 ± 2.49 cPs ความหนืดของเพกตินที่ได้ด้วยหม่อนแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) อยู่ที่ 1.41 ± 3.05 , 3.75 ± 1.75 และ 7.89 ± 3.22 cPs เพกตินจากผิวถั่วเหลืองทั้งสองชนิดมีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้น จากการทดลองพบว่าเพกตินที่ได้จากการสกัดจากหม่อนนิ่งความดัน (AE) และการสกัดด้วยหม่อนแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 4.5 และตั้งแต่ความเข้มข้นร้อยละ 6.0 ถึง 9.0 ค่าความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความหนืดของเพกตินขึ้นกับการจับตัวของโมเลกุลของเพกติน และกระบวนการสกัดส่งผลต่อความหนืดของเพกติน เมื่อ

อุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความหนืดของเพกตินลดลง Wang และคณะ, (2014) สกัดเพกตินโดยการใช้ น้ำที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 110 -180 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ความหนืดของเพกตินลดลง นอกจากนี้ความหนืดของเพกตินยังเกี่ยวข้องกับปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิก ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเพกติน จากตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีค่าน้อยกว่าเพกตินทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อนำเพกตินจากผิวถั่วเหลืองทั้งสองชนิด มาเปรียบเทียบความหนืดกับเพกตินทางการค้าที่ระดับความหนืดใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.4 พบว่าที่ระดับความหนืดของเพกตินทางการค้า 5 cPs ใช้ปริมาณเพกตินทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และที่ค่าความหนืดที่เท่ากัน เพกตินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ต้องใช้เพกตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 9 และ 7 ตามลำดับ เพกตินทางการค้าให้ความหนืดสูงกว่าเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธี จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน (AE) คิดเป็น 8.44 เท่า ของเพกตินทางการค้า กล่าวได้คือต้องใช้ความเข้มข้นของเพกตินจากหม้อนึ่งความดัน 8.44% เพื่อให้ได้ความหนืดเทียบเท่ากับเพกตินทางการค้า 1% เช่นเดียวกับเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) คิดเป็น 7.33 เท่า กล่าวได้คือต้องใช้ความเข้มข้นของเพกตินจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ 7.33% เพื่อให้ได้ความหนืดเทียบเท่ากับเพกตินทางการค้า 1% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) พบว่าเพกตินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ใช้ปริมาณน้อยกว่าเพกตินที่ได้จากหม้อนึ่งความดัน เพกตินจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ให้ความหนืดได้ดีกว่าจากหม้อนึ่งความดัน

นอกจากนี้พฤติกรรมของไหลของเพกติน สามารถทราบได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear rate และ Shear stress จากการทดลองพบว่าเพกตินจากผิวถั่วเหลืองทั้งสองวิธีการสกัด และเพกตินทางการค้ามีลักษณะเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน ชนิด Pseudoplastic หรือ Shear thinning กล่าวคือเมื่อให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้นของไหลจะมีความหนืดลดลง ความเป็น Pseudoplastic เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเพกติน (Muhammad และคณะ, 2014) พฤติกรรมของไหลขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด โดยเพกตินที่สกัดจากหม้อนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ใช้อุณหภูมิในการสกัดในช่วง 110-120 องศาเซลเซียส การจัดเรียงตัวของสารละลายลดลง ให้ความหนืดลดลงด้วย (Gan และคณะ, 2010, Zhang และคณะ, 2013) พฤติกรรมของไหลของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากทั้งสองวิธีการสกัด ได้ผลลักษณะเดียวกันกับ Moonsor และ Proctor (2001) สกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลือง โดยเพกตินที่ได้มีลักษณะเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน ชนิด Shear thinning รวมไปถึงเพกตินจากแก้วมังกร และเพกตินหัวบีทเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน ชนิด Shear thinning เช่นกัน (Muhammad และคณะ, 2014, Chen และคณะ, 2015)

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืดของเพกทินจากผิวถั่วเหลือง

ความเข้มข้นเพกทิน (%)	ความหนืด (cPs)	
	AE	MCPE
4.5 ^{ns}	1.14 ±1.66	1.41 ±1.87
6.0*	4.33 ±1.02	3.75 ±1.45
9.0*	5.19 ±1.33	7.89 ±1.29

หมายเหตุ ^{ns} คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* คือ มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

AE คือ หม้อนิ่งความดัน

MCPE คือ หม้อแรงดันไมโครเวฟ

ตารางที่ 4.11 ค่าความหนืดของเพกทินทางการค้า (CMP)

ความเข้มข้นเพกทิน (%)	ความหนืด (cPs)
0.3	0.37 ±0.75
0.6	1.69 ±0.54
0.9	4.08 ±0.66
1	5.07 ±0.73
1.5	7.72 ±0.87

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองหมักหนึ่งความดัน (AE) และเพกตินทางการค้า (CMP)

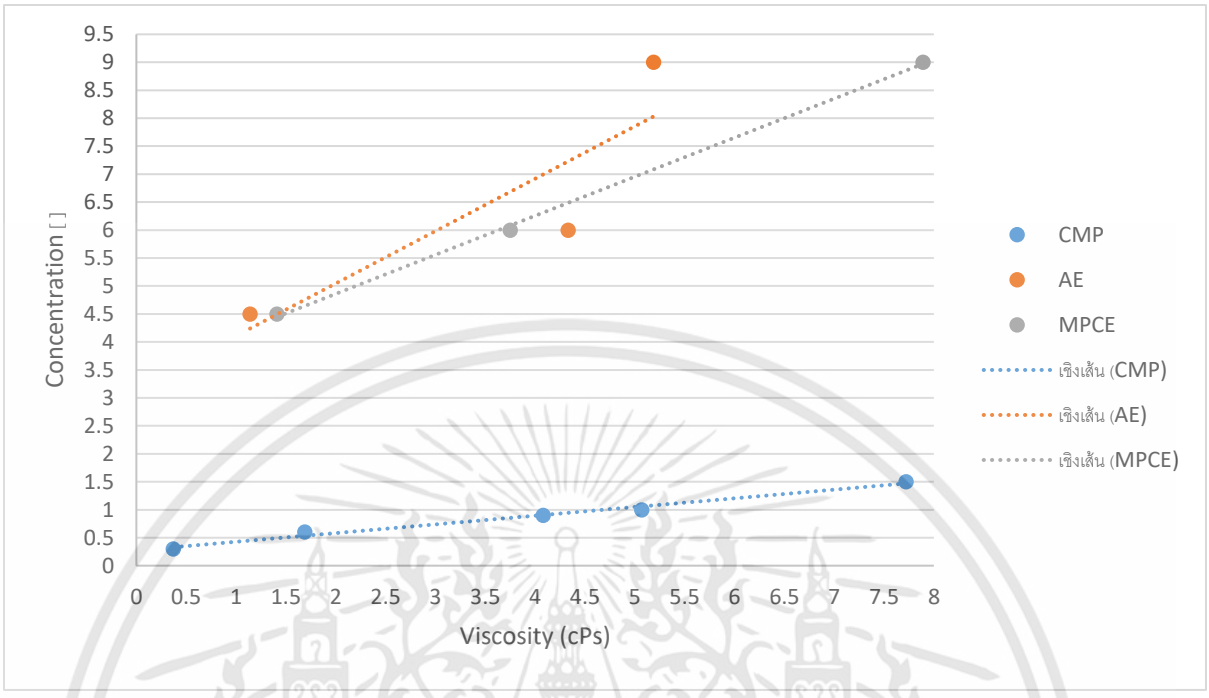
ความหนืด (cPs)	[AE]	[CMP]	จำนวนเท่า
2	4.5	0.5	9
5	9	1	9
8	11	1.5	7.33
ค่าเฉลี่ยปริมาณเพกติน			8.44

หมายเหตุ [AE] คือ ความเข้มข้นเพกตินจากหมักหนึ่งความดัน
[CMP] คือ ความเข้มข้นของเพกตินทางการค้า

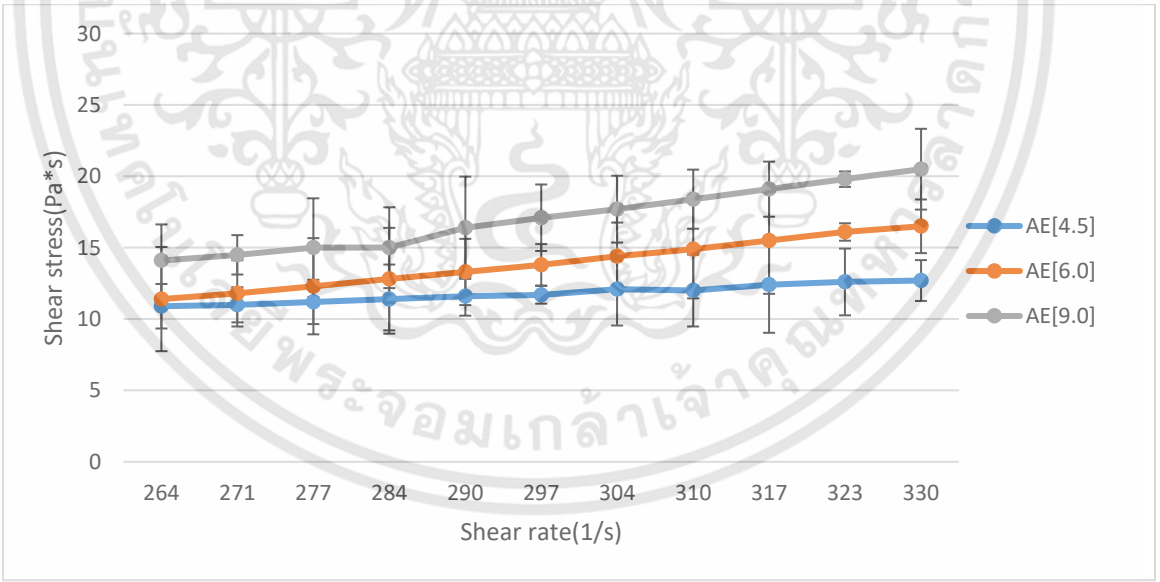
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกตินทางการค้า

ความหนืด (cPs)	[MPCE]	[CMP]	จำนวนเท่า
2	4.5	0.5	9
5	7	1	7
8	9	1.5	6
ค่าเฉลี่ยปริมาณเพกติน			7.33

หมายเหตุ [MPCE] คือ ความเข้มข้นเพกตินจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ
[CMP] คือ ความเข้มข้นของเพกตินทางการค้า

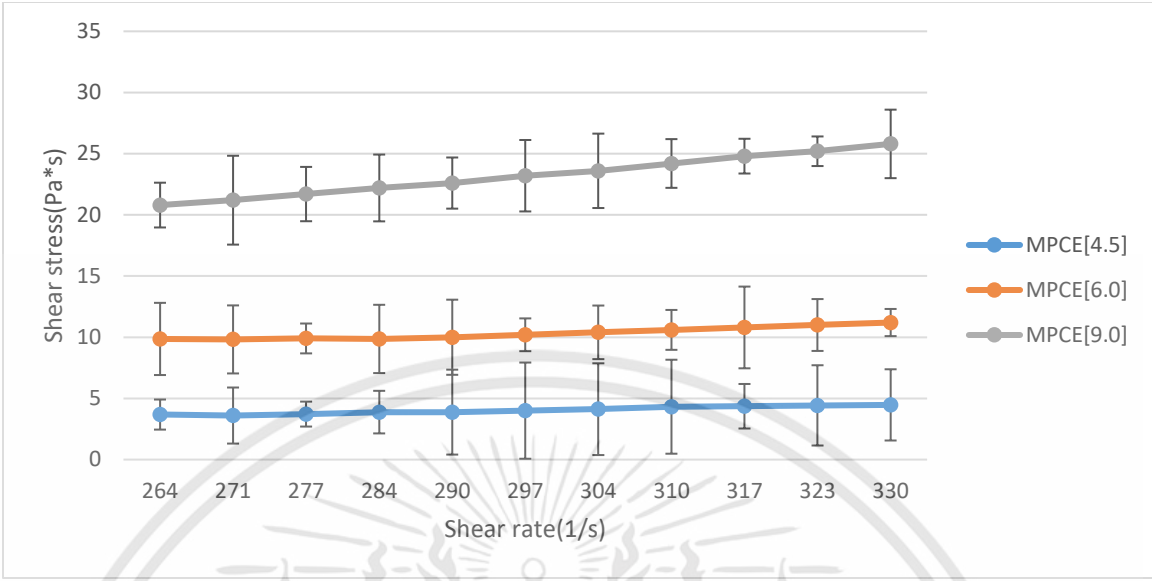


ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นและความหนืดของเพกตินจากผิวถั่วเหลือง และเพกตินทางการค้า

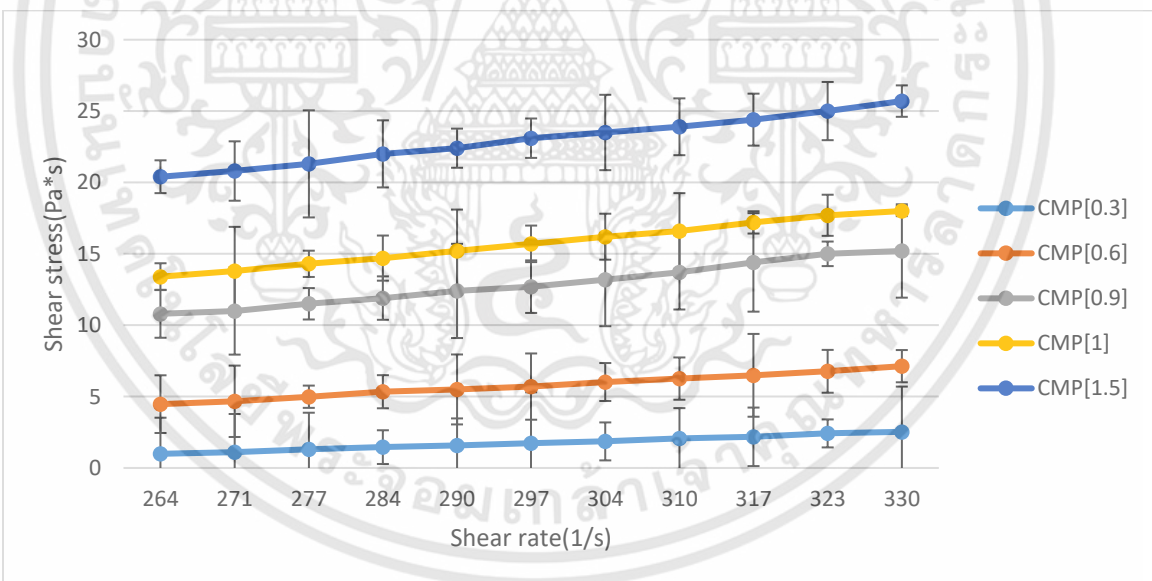


ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกตินจากผิวถั่วเหลืองจากการสกัดด้วยหมอนึ่งความดัน (AE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกตินจากผิวกล้วยที่ผ่านการสกัดด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพกตินทางการค้า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากผิวถั่วเหลืองจากหม่อนหนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) พบว่าการสกัดด้วยหม่อนหนึ่งความดัน (AE) มีสภาวะที่เหมาะสมเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที ระดับพีเอช 2.54 พบว่าให้ผลผลิตเพกทินร้อยละ 13.33 และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินด้วยหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ อุณหภูมิในการสกัด 114 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที ระดับพีเอช 1.89 ให้ผลผลิตเพกทินที่ร้อยละ 9.57 ผลผลิตที่ได้จากการสกัดเพกทินจากหม่อนหนึ่งความดัน (AE) มีความแตกต่างจากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองด้วยหม่อนหนึ่งความดัน (AE) หม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) และเพกทินทางการค้า โดยคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดพบว่าค่าความชื้น เถ้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก เยื่อใย สี และความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนระดับการเกิดเอสเทอร์ไอเคชั่น และระดับเมธอกซิล ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดจากหม่อนหนึ่งความดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีคุณภาพใกล้เคียงกัน เว้นแต่ค่าความหนืดของเพกทินซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักในการนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร เช่น สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้ความหนืด จากการทดลองระดับความเข้มข้นของเพกทินเพื่อให้ได้ความหนืดเทียบเท่ากับเพกทินทางการค้า พบว่าเพกทินที่ได้จากหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ต้องใช้ในความเข้มข้นประมาณ 7.33 เท่า ขณะที่เพกทินที่ได้จากหม่อนหนึ่งความดัน (AE) ต้องใช้ที่ความเข้มข้น 8.44 เท่าของความเข้มข้นเพกทินทางการค้า

การสกัดเพกทินโดยการใช้หม่อนหนึ่งแรงดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาใช้สกัดเพกทิน จากปริมาณผลผลิตเพกทิน คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ และค่าพลังงานไฟฟ้า พบว่าการสกัดเพกทินจากหม่อนหนึ่งแรงดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ได้

ปริมาณผลผลิตเพกทินใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม โดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ส่งผลให้ใช้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปริมาณผลผลิตเพกทินที่ได้จากการสกัดจากวิธีหม้อนึ่งแรงดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) ยังอาจจะเพิ่มปริมาณผลผลิตได้อีก โดยการปรับกระบวนการในการสกัดในขั้นตอนการตกตะกอน การทำแห้ง และการลดขนาดเพกทิน เป็นต้น ซึ่งควรมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

5.2.2 คุณภาพของเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดโดยหม้อนึ่งแรงดัน (AE) และหม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE) มีปริมาณของโปรตีน และค่าเถ้าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า ซึ่งเป็นผลจากองค์ประกอบภายในของวัตถุดิบผิวถั่วเหลือง โดยปริมาณโปรตีนของเพกทินจากผิวถั่วเหลือง สามารถลดลงได้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการกำจัดหรือแยกโปรตีนออกจากผิวถั่วเหลืองก่อนการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทิน เนื่องจากการสกัดที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนในโครงสร้างสลายเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ และตกตะกอนออกมากับเพกทิน ส่วนปริมาณเถ้าการสกัดโดยการใช้ระดับพีเอชต่ำ ความเป็นกรดสูง ทำให้แร่ธาตุละลายออกจากวัตถุดิบมากขึ้น ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงในขั้นตอนการล้างตะกอนเพกทินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ หรืออะซิโตน เพื่อให้เพกทินมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

- โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม. (2545). **เตาอบไมโครเวฟ**. เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/images/st-article/pep_2_2546_microwave.pdf.
12 พฤษภาคม 2562.
- จรัญญา อับดุลสลาม และกิตติชัย บรรจง. (2560). **ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพกตินจากลูกตาสูกด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอช**. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 9: 24-34.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2557). **เคมีอาหาร Food Chemistry**. ครั้งที่พิมพ์ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.
- พวงทอง ใจสันต์, จิตรา กลิ่นหอม และอัจฉรา เขียมภักดี. (2541). **การทดสอบการใช้เพกตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. **Pectin / เพกติน**. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/000430/pectin>. 12 พฤษภาคม 2562.
- วัลภา ยาประโคน และ กิตติชัย บรรจง. (2557). **คุณลักษณะด้านความหนืดของเพกตินที่สกัดจากเปลือกตาลดิบ**. หน้า 334-339. ใน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2562). **ค่า Emission Factors**. เข้าถึงได้จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_11335ee08a.pdf
28 มิถุนายน 2562.
- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis Association of official Analytical chemists**.
17th Volume I. USA.
- Carna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K., and Legros, H. (2007). **Effect of extraction conditions on the yield and purity of apple pomace pectin**

- precipitation but not washed by alcohol.** Journal of Food Science. 72(1): C001-C009.
- CCOHS. (2018). **Microwave Ovens and their Hazards.** [online] Available: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/microwave_ovens.html. 12 May 2019.
- Chan, S. Y., and Choo, W. S. (2013). **Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks.** Food Chemistry. 141: 3752–3758.
- Chen, H., Fu, X., and Luo, Z. (2015). **Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water.** Food Chemistry. 168: 302-310.
- De Vries, J., A., Hansen, M., E., Glahn, P., E., Soderberg, J., and Pederson, J., K. (1986). **Distribution of methoxyl groups in pectins.** Carbohydrate Polymer. 6: 165.
- Emrah Kirtil, Mecit H. Oztop, Sirijariyawat, A., Ngamchuachit, P., Diane M. Barrett b, and Michael J. McCarthy. (2014). **Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl₂ infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study.** Food Research International. 66: 409-416.
- Faravash, R., S. and Ashtiani, F., Z. (2008). **The influence of acid volume, ethanol-to-extract ratio and acid-washing time on the yield of pectic substances extraction from peach pomace.** Food Hydrocolloids. 22: 196-202.
- Gan, C.-Y., Abdul Manaf, N. H., and Latiff, A. A. (2010). **Physico-chemical properties of alcohol precipitate pectin-like polysaccharides from Parkia speciosa pod.** Food Hydrocolloids. 24(5): 471-478.
- Gnanasambandam, R. and Proctor, A. (1999). **Preparation of soy hull pectin.** Food Chemistry. 65: 461-467.
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F. and Yarmand, M.S. (2016a). **Aqueous extraction of pectin from sour orange peel and its preliminary physicochemical properties.** International journal of Biological Macromolecules. 82: 920-926.

- Ismail, N. S. M., Ramli, N., Hani, N. M. and Meon, Z. (2012). **Extraction and characterization of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) using various extraction conditions.** *Sains Malaysiana*. 41: 41-45.
- JECFA (2009). **Combined compendium of food Additives specifications.** Rome: Food and Agriculture Organisation of United Nations (FAO).
- Jitpukdeebodintra, S. and Jangwang, A. (2009). **Instant noodles with pectin for weight reduction.** *J. Food Agriculture. Enviroment*. 7: 126-129.
- Kalapathy, U. and Proctor, A. (2001). **Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin.** *Food Chemistry*. 73: 393-396
- Klinchongkon, K., Khuwijitjaru, P., and Adachi, S. (2017). **Degradation kinetics of passion fruit pectin in subcritical water.** *Bioscience. Biotechnology and Biochemistry*. 8(14): 712-717.
- Koh, P. C., Leong, C. M., and Noranizan, M. A. (2014). **Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rinds using different power levels.** *International Food Research Journal*. 21(5): 2091-2097.
- Kratchanova, M., Pavlova, E., and Panchev, I. (2004). **The effect of microwave heating of fresh orange peels of fruit tissue and quality of extracted pectin.** *Carbohydrate Polymers*. 56(2): 181-185.
- 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.
- Liu, H., Wang, F. and Liu, Y. (2016). **Hot-compressed water extraction of polysaccharide from soy hulls.** *Food Chemistry*. 202: 104-109.
- Maran, P.J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. and Sridhar, R. (2013). **Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel.** *Carbohydrate Polymers*. 97: 703-709.

- Maran, J., P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. and Sridhar, R. (2014). **Microwave assisted extraction of pectin from waste Citrullus lanatus fruit rinds.** Carbohydrate Polymers. 101: 786-791.
- Maran, J., Prakash. (2015). **Statistical optimization of aqueous extraction of pectin from waste durian rinds.** International Journal of Biological Macromolecules. 73: 92-98.
- Maran, J., P. and Prakash, K., A. (2015). **Process variables influence on microwave assisted extraction of pectin from waste Carcia papaya L. peel.** International Journal of Biological Macromolecules. 73: 202-206.
- May, C., D. (1990). **Industrial pectins: source, production, and application.** Carbohydrate polymers. 18: 17-22.
- Mebashi, G., Jamalian. J. and Farahnaky, A. (2005). **A comparative study on functional properties of beer and citrus pectins in food systems.** Food Hydrocolloids. 19(4): 731-738.
- Mohtashamy, M. and Ashtiani, F., Z. (2010). **The effect of microwave heating on the yield and quality of soy hull pectin.** Proceeding of 2010 International Conference on Biotechnology and Food Science, pp.1-6. February 9-10, 2010, Bangalore, India.
- Moonsor. M., A., and Proctor, A. (2001). **Preparation and Functional Properties of Soy hull pectin.** JAOCS.78: 7009-713.
- Muhammad, K., Zahari, N. I. M., Gannasin, S. P., Adzahan, N. M., and Bakar, J. (2014). **High methoxyl pectin from dragon fruit (Hylocereus polyrhizus) peel.** Food Hydrocolloids. 42: 289-297.
- Pasandide, B., Khodaiyan, F., Mousavi, Z., E. and Hosseini, S., S. (2017). **Optimization of aqueous pectin extraction from Citrus medica peel.** Carbohydrate Polymer. 178: 27-33.
- Porfiri, M., C. and Wagner, J., R. (2018). **Extraction and characterization of soy hull polysaccharide-protein fractions.** Analysis of aggregation and surface rheology. Food Hydrocolloids. 79: 40-47.

- Ranganna, S. (1997). **Manual of analysis of fruit and vegetable product**. New Delhi: McGraw Hill.
- Rolin, C., and De Vries, J.D. (1990). **Pectin**. Food Gels (ed. P. Harris). Elsevier Applied Science. London. pp. 401-434.
- Santos, J.,D., G., Espeleta, A., F., Branco, A., and Assis, S. (2013). **Aqueous extraction of pectin from sisal waste**. Carbohydrate Polymers. 92: 1997-2001.
- Schols, H.A. and Voragen, A.G.J. (1996). **Complex pectins: structure elucidation using enzymes**, Progress Biotechnol. 14: 3-19.
- Snyder, H. E., and Kwon, T. W. (1987). **Soybean Utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold.60.
- Swamy, G. J. and Muthukumarappan, K. (2017). **Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels**. Food Chemistry. 220: 108-114.
- Wai, W., W., Alkarkhi, A., F.M. and Easa, A., M. (2010). **Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind pectin: An experimental design**. Food and Bioproducts Processing. 88: 209-214.
- Walkinshaw, M., D. and Arnott, S. (1981b). **Conformation and interactions of pectin. II. Models for junction zones in pectinic acids and calcium-pectate gels**. J. Mol. Biol. 153: 1075.
- Walter, R., H. (1991). **The chemistry and technology of pectin**. Academic press. New York, N.Y. (pp.24).
- 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, X., Kristo, E., and LaPointe, G. (2019). **The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt**. Food Hydrocolloids. 91: 83-91.

- Wikiera, A., Mika, M. and Grabacka, M. (2015). **Multicatalytic enzyme preparations as effective alternative to acid in pectin extraction.** Food Hydrocolloids. 44: 156-161.
- Wolf, W.J., Sessa, D.J., Wu, Y.V., and Thompson, A.R. (2002). **Air classification of pin-milled soybean hulls.** Cereal Chemistry. 79(3): 439 -444.
- Wu, H., Lei, Y., Zhu, R., Zhao, M., Lu, J., Xiao, D., Jiao, C., Zhang, Z., Shen, G., and Li, S. (2019). **Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporation tea polyphenol.** Food Hydrocolloids. 90: 41-49.
- Yuliansyah, A., T., Hirajima, T., Kumagai, S., and Sasaki, K. (2010). **Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment.** Waste and Biomass Valorization. 1: 395-405.
- Yuliarti, O., Chong, S. Y., and Goh, K. K. T. (2017). **Physicochemical properties of pectin from green jelly leaf (*Cyclea barbata* Miers).** International Journal of Biological Macromolecules. 103: 1146-1154.
- Zhang, L., Ye, X., Ding, T., Sun, X., Xu, Y., and Liu, D. (2013). **Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin.** Ultrasonics Sonochemistry. 20(1): 222-231.
- Zheng, X., Yin, F., Liu, C. and Xu, X. (2011). **Effect of Process Parameters of Microwave Assisted Extraction (MAE) on Polysaccharides Yield from Pumpkin.** Journal of Northeast Agricultural University (English edition). 18: 79-86.
- Zhongdong, L., Guohua, W., Yunchang, G. and Kennedy, J., F. (2006). **Image study of pectin extraction from orange skin assisted by microwave.** Carbohydrate Polymers. 64: 548-552.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมวัสดุดิบ

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ



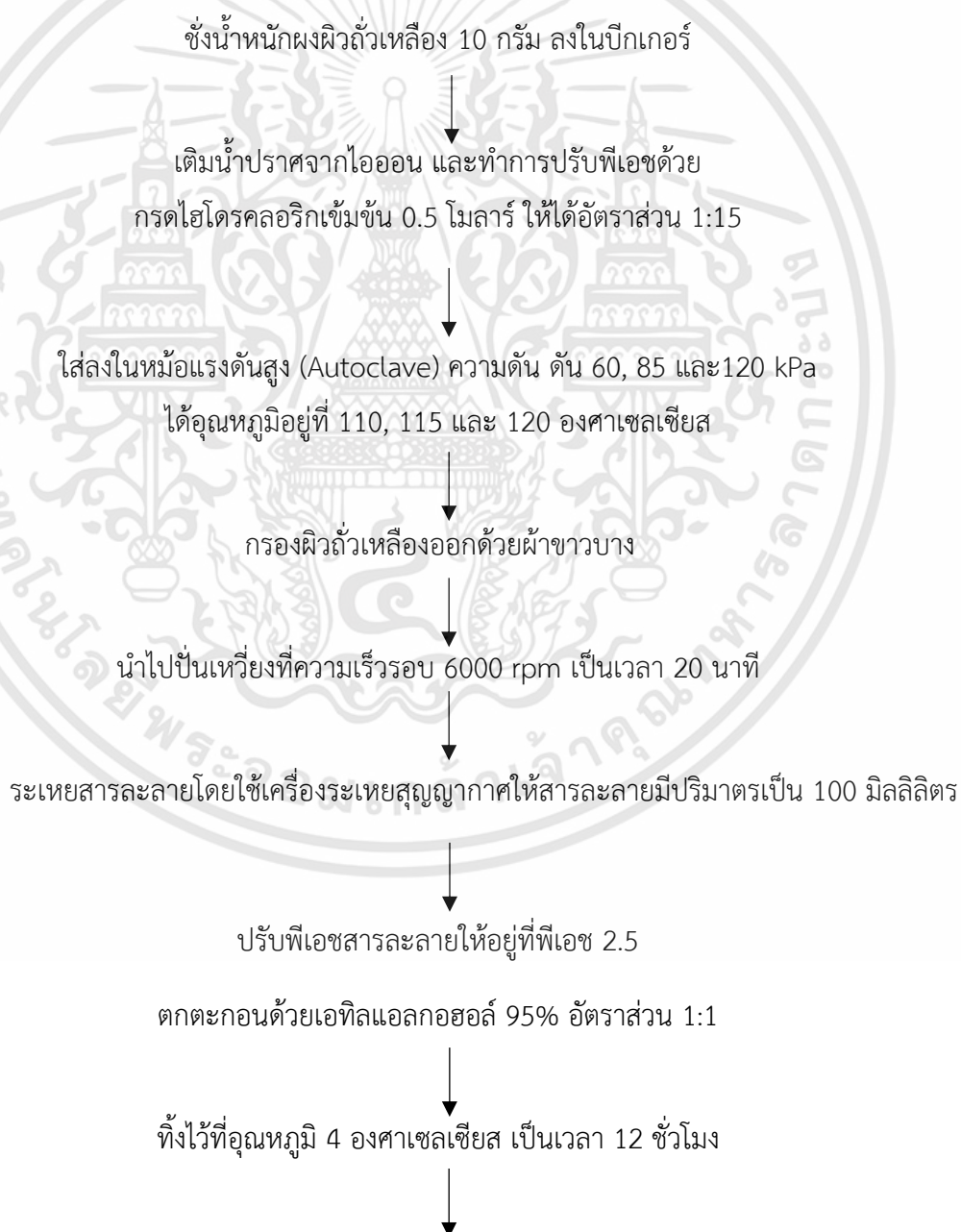


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วิธีการสกัด

1. การสกัดด้วยหม้อนึ่งความดัน (AE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 20 นาที

ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% 3 ครั้ง

นำเพกตินที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

ชั่งน้ำหนัก จดบันทึก และเก็บรักษาในที่แห้ง

2. การสกัดเพกตินจากผิวถั่วเหลืองด้วยวิธีการใช้หม้อแรงดันไมโครเวฟ (MPCE)

ชั่งน้ำหนักผงผิวถั่วเหลือง 10 กรัม ลงในชามแก้ว

เติมน้ำปราศจากไอออน และทำการปรับพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ให้ได้อัตราส่วน 1:30

ใส่ลงในหม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ

ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ ความดัน 27.2 kPa

.ให้อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการให้ความร้อนอยู่ที่ 10, 15 และ 20 นาที

กรองผิวถั่วเหลืองออกด้วยผ้าขาวบาง

นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 20 นาที

↓
ระเหยสารละลายโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศให้สารละลายมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

↓
ปรับพีเอชสารละลายให้อยู่ที่พีเอช 2.5

↓
ตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% อัตราส่วน 1:1

↓
ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

↓
นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 20 นาที

↓
ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% 3 ครั้ง

↓
นำเพกตินที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

↓
ชั่งน้ำหนัก จดบันทึก และเก็บรักษาในที่แห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. ปริมาณผลผลิตเพกทินที่ได้ (%Yield)

$$\text{ปริมาณผลผลิตเพกทินที่ได้ (\%Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพกทินจากผิวถั่วเหลืองที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเพกทินที่สกัดได้} = 0.9224$$

$$\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ} = 10$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณผลผลิตเพกทินที่ได้ (\%Yield)} &= \frac{0.9224}{10} \times 100 \\ &= 9.22\% \end{aligned}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC,2000)

วิธีวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\% \text{ ความชื้นในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเพกทิน (AOAC,2000)

วิธีวิเคราะห์

1. เเผาถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนักละเอียด บันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง (crucible)
3. เเผาตัวอย่างบน Hot plate (ทำในตู้ดูดควัน) จนกระทั่งหมดควัน
4. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3-4 ชั่วโมง จนกระทั่ง ตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาว
5. คีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร

$$\% \text{ เถ้าในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผาตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน, DE (Rangana, 1997)

1. ชั่งน้ำหนักเพกทินผงใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ขวดละ 0.5 กรัม
2. เติมเอซิลแอลกอฮอล์ลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 2 มิลลิลิตร
3. ละลายด้วยน้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ ขวดละ 100 มิลลิลิตร
4. คนให้เข้ากัน แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 5 หยด
5. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1
6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าแรงๆทิ้งไว้ 15 นาที

7. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าจนสีชมพูจางหายไป
8. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์จนสีชมพูเริ่มปรากฏ แล้วบันทึกผลปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2
9. คำนวณหาร้อยละของ Degree of Esterification (%DE) จากสมการนี้

$$\%DE = \frac{\text{NaOH volume 2}}{\text{NaOH volume 1} + \text{NaOH volume 2}} \times 100$$

หมายเหตุ : NaOH volume 1 คือ ปริมาตรที่ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 1

NaOH volume 2 คือ ปริมาตรที่ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 2

นำค่า %DE ที่ได้ไปหาปริมาณเมทอกซิลโดยใช้ตารางภาคผนวก ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Esterification (DE) กับปริมาณเมทอกซิลในเพกทิน ด้านล่างนี้

ตารางภาคผนวก ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Esterification (DE) กับปริมาณเมทอกซิลในเพกทิน

%DE	Methoxy(%)
0	0.00
10	1.63
20	3.26
30	4.90
40	6.53
50	8.16
60	9.76
70	11.42

80	13.06
90	14.69
100	16.32

ที่มา: พวงทอง และคณะ (2541)

5. วิเคราะห์หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Rangana,1997)

วิธีวิเคราะห์

5.1 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งน้ำหนักกรดกาแลคทูโรนิก 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายในข้อที่ 1. ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับเป็นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2. มา 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร อย่างละ 1 ขวด และปรับปริมาตรแต่ละขวดให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. ปิเปตสารละลายในแต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอด หลอดละ 2 มิลลิลิตร เมื่อปิเปตสารละลายจนครบทุกความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลองจะได้ทั้งหมด 18 หลอด

5. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้น 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน

6. เติมสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 25 นาที

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดูดกลืนแสง

5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักเพกทิน 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
2. ปิเปตสารละลายเพกทินจากข้อ 1. ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายเจือจางใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอด หลอดละ 2 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 1 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 25 นาที
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากกราฟมาตรฐาน
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในหน่วยไมโครกรัม

6. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร และขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
5. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
6. ลูกแก้ว
7. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40
4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N
6. อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรด เมธิลีนบลู และโบโรโมครีซอลกรีน

วิธีการวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. การชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
4. วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่างและเครื่องดักจับ ไอกรดให้เรียบร้อย
5. เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ปลอยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
2. นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด
3. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

4. กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร
5. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง
6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลนด์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (5.85)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

7. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. Soxhlet apparatus
2. หลอดใส่ตัวอย่าง
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น สารเคมี ปิโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซน

วิธีการวิเคราะห์

1. ใส่ขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ห่อให้มีดขีดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่

ตัวอย่าง

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมน้ำสกัดละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ ลงในขวดหาไขมัน ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางไว้บนเตา
4. ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน
5. ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อ นาที
6. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก Soxhlet ทั้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด
7. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ
8. นำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้ง ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
9. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
10. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนอบ

W_2 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบ

8. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% (w/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% (w/v)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 1-2 กรัม (W_0) ใส่ลงใน crucible แก้ว
2. เลื่อนคันโยกด้านหน้า column ไปที่ตำแหน่ง Closed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำ crucible ใส่เข้าไปในเครื่อง แล้วลือค crucible
4. เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% ที่อุ่นไว้ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วเติม Antifoam (n-Octanol) 2–3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด
5. เมื่อเดือดให้ลดความร้อนลง ต้มเป็นเวลา 30 นาที
6. กรองโดยเลื่อนคั่นโยกมาที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้เลื่อนไปที่ pressure เพื่อใช้ความดันช่วย
7. ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
8. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ที่อุ่นไว้ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วเติม Antifoam (n-Octanol) 2–3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด
9. เมื่อเดือดให้ลดความร้อนลง ต้มเป็นเวลา 30 นาที
10. กรองโดยเลื่อนคั่นโยกมาที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้เลื่อนไปที่ pressure เพื่อใช้ความดันช่วย
11. ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
12. เติม Acetone ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงไปแล้วแช่ไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อกำจัดน้ำออก
13. แล้วกรองด้วย vacuum จนแห้ง
14. นำ crucible ออกมา จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำ crucible ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก (W_1)
15. นำ crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 525 °ซ นาน 3 ชั่วโมง แล้วปิดเตาเผาให้ค่อยๆ เย็นลงช้าๆ
16. เมื่อเตาเผามีอุณหภูมิต่ำกว่า 200 °ซ นำ crucible ออกมาใส่ desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (W_2)
17. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใยจากสูตร

$$\% \text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_0} \times 100$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังจากการสกัดแล้วนำมาอบรอบที่ 1

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา



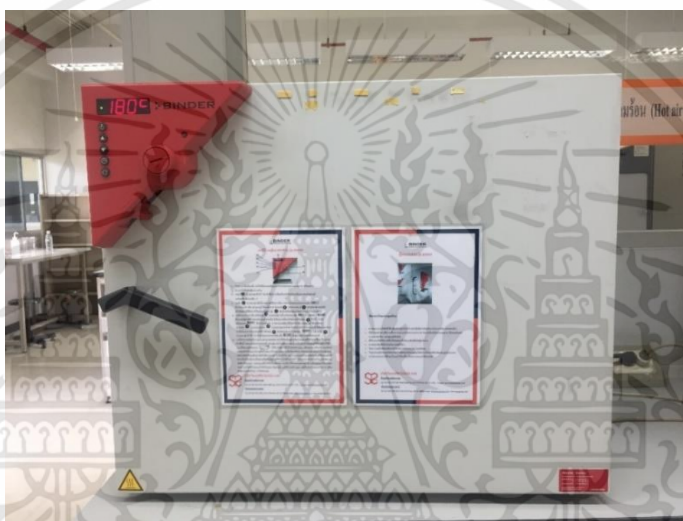
ภาคผนวก ง
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)



ภาพภาคผนวก ง 1 เครื่องที่ใช้อบตัวอย่างเพกทิน

หม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ (Microwave pressure cooker)



ภาพภาคผนวก ง 2 หม้อแรงดันสำหรับไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace)



ภาพภาคผนวก จ 3 เครื่องที่ใช้เผาตัวอย่างเพกทินเพื่อวิเคราะห์เถ้า

เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)



ภาพภาคผนวก จ 4 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Absorption spectrophotometer)



ภาพภาคผนวก จ 5 เครื่องที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสงของสาร

ชุดเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)



ภาพภาคผนวก จ 6 เครื่องที่ใช้ปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ตัวอย่างตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง



ภาพภาคผนวก จ 7 เครื่องที่ใช้ชั่งวัตถุบดและตัวอย่างเพกทิน

เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง



ภาพภาคผนวก จ 8 เครื่องที่ใช้ชั่งสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาไมโครเวฟ (Microwave oven)



ภาพภาคผนวก จ 9 เตาไมโครเวฟ

ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)



ภาพภาคผนวก จ 10 ตู้อบลมร้อนแบบถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวภัทรนันท์ จารุดล
วัน เดือน ปีเกิด	24 เมษายน 2538
ที่อยู่	78/10 ซอยอินทามระ 44 ถนนสุทธิสาร เขตดินแดง แขวงดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 (p.charudul24@gmail.com, โทร.094-553-9519)
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียม อุดมศึกษาพัฒนาการ รัชดา ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559 ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร คณะ อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2560
ผลงาน	Charudul, P. and Banjong, K. (2019). Optimization of subcritical water pectin extraction from soy hull. in Proceeding of The 21 th Food Innovation Asia Conference 2019. Bangkok: 203-212.