



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนานวัตกรรมจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว: โยอาหารผงจากมะพร้าว และ
วัสดุนาโนเซลลูโลส

Innovation development from coconut residue: Dietary fiber
coconut powder and Nano-crystalline cellulose

ผศ.ดร. ฐิตา พุฒ่า
นายวีรชน ภูหินกอง
ผศ.ดร.สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี
นายพิพัฒน์ เลิศโกวิทย์

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนานวัตกรรมจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว: ใยอาหารผงจากมะพร้าว
และวัสดุนาโนเซลลูโลส

Innovation development from coconut residue: Dietary fiber
coconut powder and Nano-crystalline cellulose

ผศ.ดร. ฐิตา พุฒ่า

(โรงเรียนการเรือน)

นายวีรชน ภูหินกอง

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ผศ.ดร.สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี

(โรงเรียนการเรือน)

นายพิพัฒน์ เลิศโกวิทย์

(คณะวิศวกรรมศาสตร์)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2559)

หัวข้อวิจัย	การพัฒนานวัตกรรมจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว: โยอาหารผงจากมะพร้าว และวัสดุนาโนเซลลูโลส
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผศ.ดร.จิตา พู่เผ่า นายวีรชน ภูหินกอง ผศ.ดร.สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี และ นายพิพัฒน์ เลิศโกวิทย์
หน่วยงาน	หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี
ปี พ.ศ.	2560

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เมื่อมีการขยายตัวของภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของการผลิตมะพร้าวส่งผลให้มีส่วนเหลือทิ้งจากมะพร้าวเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว โดยผลิตเป็นโยอาหารผงจากกากมะพร้าวและวัสดุนาโนเซลลูโลสจากกากมะพร้าว ผลจากการศึกษาโยอาหารผง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ใช้ตัวทำละลาย 95% เอทานอล และตัวทำละลายเฮกเซน โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ปริมาณร้อยละของผลผลิตสูงสุด (82.14-80.60%) และมีปริมาณไขมันน้อยที่สุด (6.71-6.43%) ขนาดของโยอาหารที่ 500 ไมโครเมตร จะให้คุณสมบัติเชิงพื้นที่ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีปริมาณโยอาหารที่สกัดได้อยู่ที่ 52.07-53.24% ส่วนผลการศึกษาวัสดุนาโนเซลลูโลส พบว่า กากมะพร้าวจะถูกสกัดโดยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกโดยใช้เทคนิคการบดด้วยลูกบด (ball milling) เซลลูโลสจากมะพร้าวที่กำจัดลิกนินออกแล้วจะมีลักษณะที่ประกอบด้วยเซลลูโลสปริมาณสูงซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ นอกนั้น นาโนเซลลูโลสที่สกัดได้ยังมีความเป็นผลึกสูง โดยประกอบด้วยโครงสร้างผลึกเซลลูโลสแบบเซลลูโลส I (cellulose I) เซลลูโลส II (cellulose II) และเซลลูโลสแบบอสัณฐาน ซึ่งมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 50 นาโนเมตร ผลของงานวิจัยนี้เป็นการให้ข้อมูลในการนำส่วนเหลือทิ้งจากมะพร้าวไปใช้ประโยชน์ โดยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตโยอาหารผงและวัสดุนาโนเซลลูโลส ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ในอนาคต

Research Title	Innovation development from coconut residue: Dietary fiber coconut powder and Nano-crystalline cellulose
Researcher	Asst. Prof. Dr. Tita Foophow , Mr. Weerachon Poohinkong, Asst. Prof. Dr. Suwanna Pichaiyongvongdee and Mr.Pipat Lertkowitz
Organization	Food processing Technology, School of Culinary arts, Suan Dusit University Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University Faculty of Engineering, Thonburi University
Year	2017

Coconut palm is the important economic crop of Thailand. Expanding agriculture and agro-industries of coconut productions have resulted in increased quantities of coconut residues. The objective of this research was to increase the value of coconut residues by the production of dietary fiber from coconut meal and cellulose nanocrystal from coconut mesocarp fiber. The results of dietary fiber showed that the suitable conditions for extraction were 95% ethanol and hexane with drying temperature at 50 °C, which gave the highest yield (82.14-80.60%) and the lowest fat content (6.71-6.43%). The particle size at 500 μM resulted in increased functional properties, which contained the dietary fiber content at 52.07-53.24%. For the results of cellulose nanocrystal, coconut mesocarp fiber was extracted by H₂SO₄ hydrolysis assisted by ball milling process. The delignified coconut fiber was composed of high cellulose content characteristic which corresponding to the microfibrillated cellulose characteristic. Moreover, the extracted nanocellulose was composed of high crystallinity in polymorph crystal structure of cellulose I, II and amorphous with the primary particles size around 50 nm. Results from this study will provide the utilization information of coconut residues as potential source of dietary fiber and nanocellulose, which can be applied for industrial fields in the future.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาวัตกรรมการผลิตจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว: โยอาหารผงจากมะพร้าว และวัสดุนาโนเซลลูโลสสำเร็จรูปล่วงได้ เนื่องด้วยบุคคลหลายท่านได้กรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ และความคิดเห็น ผู้เขียนขอขอบพระคุณที่มคณะผู้วิจัยทุกท่านที่ร่วมกันทำงานวิจัยอย่างขยันและตั้งใจจนงานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับการประเมินงานวิจัยนี้ และมหาวิทยาลัยสวนดุสิตที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นและให้ทุนอุดหนุนในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
มะพร้าว	4
ใยอาหาร	7
เซลลูโลส	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
กรอบแนวคิดในการวิจัย	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
วัตถุประสงค์	21
วัสดุอุปกรณ์	21
สารเคมี	22
วิธีการทดลอง	22
สถานที่ทำการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการวิจัย	27
ใยอาหารผงจากมะพร้าว	27
- การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว	27
- สภาพที่เหมาะสมในการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว	28
- ขนาดของใยอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากกากมะพร้าว	31
- การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและลักษณะสัณฐานของใยอาหารจากกากมะพร้าว	32

วัสดุนาโนเซลลูโลส	35
- การเตรียมวัตถุดิบเปลือกมะพร้าว	35
- การสกัดแยกกลีทิน	36
- การสกัดอนุภาคนาโนเซลลูโลส	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	47
สรุปผลการวิจัย	47
อภิปรายผล	48
ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
บรรณานุกรมภาษาไทย	52
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	54
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	59
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	68
ประวัติผู้วิจัย	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อมะพร้าว	7
4.1	คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว	28
4.2	คุณสมบัติของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ที่อุณหภูมิต่างกันในการอบแห้งที่แตกต่างกัน	29
4.3	คุณสมบัติของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ที่อุณหภูมิต่างกันในการอบแห้งที่แตกต่างกัน	30
4.4	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ที่ขนาดของใยอาหารที่แตกต่างกัน	31
4.5	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ที่ขนาดของใยอาหารที่แตกต่างกัน	32
4.6	คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวและใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน	33

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนผังแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของเซลลูโลสในเซลล์พืช	8
2.2	ตัวอย่างโครงสร้างทั่วไปของลิกนินของไม้	10
2.3	โครงสร้างเคมีของสารประกอบ monolignols ทั้งสาม	11
2.4	โครงสร้างผลึกของเซลลูโลส	14
2.5	ส่วนประกอบของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยเส้นใยย่อย ๆ หลายส่วน	15
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองสกัดนาโนเซลลูโลสและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสที่คาดว่าจะเกิดขึ้น	26
4.1	ลักษณะกามะพร้าว	27
4.2	ลักษณะสัญญาณของใยอาหาร ขนาด 500 ไมโครเมตร กำลังขยาย 250X (เท่า)	34
4.3	ลักษณะสัญญาณของใยอาหาร ขนาด 500 ไมโครเมตร กำลังขยาย 1500X (เท่า)	34
4.4	ภาพถ่ายตัวอย่างผงเปลือกมะพร้าวแก่	35
4.5	กราฟ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่ได้จากการบด	36
4.6	กราฟ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่ได้จากสกัดลิกนิน	37
4.7	กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้ว และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก	37
4.8	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้ที่กำลังขยาย 400 เท่า	38
4.9	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้ที่กำลังขยาย 400 เท่า เปรียบเทียบกับกริดคอปเปอร์ขนาด 300 mesh	39
4.10	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้	40
4.11	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลส	40
4.12	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสเทียบกับมาตราส่วนรูปภาพขนาด 50 นาโนเมตร	41
4.13	แสดงรูปแบบการแทรกสอดของอิเล็กตรอนของสารตัวอย่างผลึกนาโนเซลลูโลส	41
4.14	กราฟ FTIR ATR ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้ และกราฟสารมาตรฐานผงเซลลูโลส	42
4.15	กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้ว และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก และอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้	43
4.16	กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ที่ช่วงเลขคลื่น 2500 ถึง 400 cm^{-1} ของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้ว และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก และอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.17	กราฟขยายสัญญาณเปรียบเทียบช่วงเลขคลื่นที่ 1000 ถึง 1600 cm^{-1} และ 1450 ถึง 1900 cm^{-1}	45
4.18	กราฟขยายสัญญาณเปรียบเทียบช่วงเลขคลื่นที่ 800 ถึง 1350 cm^{-1}	46

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมะพร้าวอ่อนจะมีการใช้ประโยชน์จากน้ำมะพร้าว นำมาผลิตเป็นเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับผู้บริโภค เพราะรสชาติที่อร่อย ดื่มแล้วสดชื่น และยังคงดื่มไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สำหรับมะพร้าวแก่ มักนำเนื้อมะพร้าวไปทำผลิตภัณฑ์กะทิ ซึ่งกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั้นน้ำจากเนื้อมะพร้าวแก่ มีลักษณะขาวขุ่น มีส่วนประกอบหลัก คือ ไขมัน น้ำ โปรตีน และน้ำตาลอยู่รวมกันเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยมีโปรตีนเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ การนำกะทิมาใช้ประกอบอาหารมีมากในประเทศที่มีการปลูกมะพร้าว เช่น ไทย มาเลเซีย อินเดีย ศรีลังกา เป็นต้น เมื่อก่อนแต่ละครัวเรือนจะต้องปอกและขูดมะพร้าวเอง แต่ในปัจจุบันจะมีการใช้น้ำกะทิสำเร็จรูปกันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยน้ำกะทิที่ผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำกะทิสด น้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง น้ำกะทิบรรจุกระป๋องแบบ UHT และกะทิผง หลังจากการคั้นน้ำกะทิแล้ว จะมีส่วนที่เหลือทิ้ง คือ กากมะพร้าวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งกากมะพร้าวจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ โยใยอาหาร ซึ่งรองลงมาจากปริมาณไขมัน (Yelegama et al., 2013) โยใยอาหารมีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในน้ำผลไม้ ช่วยลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด และช่วยเพิ่มการพองตัวในขนมขบเคี้ยว เป็นต้น นอกจากนี้ โยใยอาหารยังจำเป็นต่อสุขภาพของคนเรา เนื่องจากสามารถช่วยในการขับถ่าย และป้องกันการเกิดโรคท้องผูกได้ เป็นต้น

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงส่วนเหลือทิ้งอื่นของมะพร้าว พบว่าเปลือกมะพร้าวเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากของการเกษตรและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับมะพร้าว และในปัจจุบันได้มีการนำเปลือกมะพร้าวไปใช้ประโยชน์ที่จำกัดและมีมูลค่าต่ำ เช่น การผลิตเป็นเปลือกมะพร้าวสับ ขุยมะพร้าว เพื่อใช้ในการเพาะชำการเกษตร และยังมีความต้องการในตลาดที่ไม่สูงมาก เปลือกมะพร้าวจัดเป็นวัสดุกลุ่มลิกโนเซลลูโลส เป็นแหล่งของเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ โดยมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งในส่วนของลิกนินและเซลลูโลสนั้นถือเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายที่กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นส่วนเหลือทิ้งที่เป็นของเสียที่มีปริมาณมากจากอุตสาหกรรมอื่น เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ โดยมีงานวิจัยที่นำของเสียเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ที่มีมูลค่าสูง เช่น ลิกนิน ใช้สังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์เคมีจำพวก เชื้อเพลิง สารประกอบแอโรมาติกแอลดีไฮด์ สารประกอบประเภทฟีนอล ใช้เป็น สารตั้งต้นผลิตพอลิเมอร์ รวมทั้งเป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ เนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยหมู่ฟีนอลิกเป็นหลัก (Kang et al., 2013; Habibi et al., 2009) นอกจากนี้ยังมีการนำลิกนินมาผลิตเป็นวัสดุคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่มีคุณสมบัติพิเศษและมูลค่าสูง (Carrasco, 2011) สำหรับเซลลูโลสนั้นพบว่านอกจากจะสามารถนำไปผลิตเป็นแอลกอฮอล์ได้แล้วยังสามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุนาโนเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติพิเศษและมีมูลค่าสูง คือ เส้นใยนาโนเซลลูโลส (Nanofibrillar Cellulose, NFC) และ ผลึกนาโน

เซลลูโลส (Nanocrystal Cellulose, CNC หรือ Nanocrystalline cellulose, NCC) โดยวัสดุนาโนเซลลูโลสนี้มีสมบัติพิเศษทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า ทางแสง รวมทั้งความแข็งแรง ความยืดหยุ่นที่สูง ทำให้เป็นวัสดุที่สามารถก่อให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ตามมา เช่น จอแสดงผลโปร่งแสง ยืดหยุ่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสงยืดหยุ่น พลาสติกที่มีความเหนียวทนทานมากขึ้นเบาขึ้น ฟิล์มห่ออาหารถนอมอาหารที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ไบโอฟอติเมอร์ แอคทิเวทคาร์บอน เป็นต้น (Hubbe et al., 2008; Moon et al., 2011; Lavoine et al., 2012) อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบรายงานการแยกลิกนินและนาโนเซลลูโลสออกจากเปลือกมะพร้าวมาก่อน โดยการสกัดส่วนของเซลลูโลสและลิกนิน ลักษณะเส้นใย โครงสร้างเซลล์ รวมทั้งโครงสร้างทางเคมีของลิกนินและเซลลูโลสในพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์หรือในแต่ละส่วนของพืชต้นเดียวกันนั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งทุกปัจจัยมีผลต่อคุณภาพของลิกนินและนาโนเซลลูโลสรวมทั้งมีผลต่อการสกัดแยกด้วยเช่นกัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานวัตกรรมการสร้างมูลค่าเพิ่มจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว โดยในส่วนของกากมะพร้าวที่ได้จากการคั้นกะทิได้นำมาทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว เพื่อให้ได้ใยอาหารที่มีประสิทธิภาพ และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอาหาร รวมทั้งมีการพัฒนานวัตกรรมใหม่เป็นใยอาหารผงจากมะพร้าว ซึ่งเป็นการนำใยอาหารที่ได้มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารต่อไปได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ จัดเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Functional food) เหมาะสำหรับคนทั่วไปและผู้ป่วยเฉพาะโรคได้ และในส่วนเหลือทิ้งจากเปลือกมะพร้าวได้นำมาพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคการแยกนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวเพื่อให้เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในเชิงปริมาณด้วยระบบต่อเนื่องโดยใช้เทคนิคของไหลเข้าใกล้จุดวิกฤตและของไหลเหนือจุดวิกฤตเข้าช่วยเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาเพื่อลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้และเหลือออกมาจากปฏิกิริยา ซึ่งเทคนิคที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานและใช้สารเคมีในปริมาณมากรวมทั้งมีสารเคมีเหลือจากปฏิกิริยาในปริมาณมากด้วยเช่นกัน โดยแนวคิดในงานวิจัยนี้นอกจากจะทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตหรือส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้ว ยังก่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ซึ่งเป็นการนำส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพิ่มมูลค่าให้กับกากมะพร้าวโดยผลิตเป็นใยอาหารเพื่อเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร
2. เพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยเปลือกมะพร้าวโดยผลิตเป็นวัสดุนาโนเทคโนโลยีที่มีมูลค่าสูง
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดใยอาหารจากเส้นใยมะพร้าวในส่วนที่เป็นกากมะพร้าว
4. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยมะพร้าวในส่วนที่เป็นขุยมะพร้าว

ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ กากมะพร้าวและเปลือกมะพร้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้ง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยอาหารผงจากมะพร้าว

ทำโดยนำกากมะพร้าวที่ได้หลังจากการบีบน้ำกะทิออกมาลดขนาดและทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ เพื่อทราบถึงพื้นฐานของคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ถึงปริมาณโยอาหารที่น่าจะได้หลังจากการสกัด หลังจากนั้นทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด 3 ปัจจัย คือ สารสกัดไขมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ และขนาดของโยอาหารที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของโยอาหารจากกากมะพร้าว

การพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุนาโนเทคโนโลยี

ทำโดยการสำรวจรวบรวมข้อมูลและตัวอย่างของเปลือกมะพร้าว สรรวจตัวอย่างเปลือกมะพร้าวให้เป็นกลุ่มตามลักษณะทางกายภาพหรือพันธุ์มะพร้าวตามผลผลิตในท้องถิ่นในพื้นที่เพื่อเลือกตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดมาทำการศึกษา ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการสกัดแยกเปลือกมะพร้าวออกเป็นลิกนินและเซลลูโลส ศึกษาสมบัติของเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกมะพร้าว นำเซลลูโลสมาสกัดแยกเป็นผลึกนาโนเซลลูโลสโดยทำการศึกษาการพัฒนาการสกัดที่เหมาะสมกับตัวอย่าง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าว และศึกษาการพัฒนาใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะเข้าใกล้จุดวิกฤติของไหลยิ่งยวดเข้าร่วม ศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ หรือสภาวะบรรยากาศ ในการสกัด เป็นต้น วิเคราะห์ผลลักษณะและขนาดทางกายภาพของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเซลลูโลสที่ได้ ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) Attenuated total reflection (ATR) และวิเคราะห์ผลเพื่อหาความสัมพันธ์หรือปัจจัยที่มีผลของการปรับปรุงวัตถุดิบที่สภาวะต่าง ๆ ต่อลักษณะทางกายภาพและขนาดอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของเสียจากกากมะพร้าวและเปลือกมะพร้าวได้
2. เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มโดยเป็นการสร้างนวัตกรรมจากส่วนเหลือทิ้งจากมะพร้าว ได้เป็นโยอาหารผงจากมะพร้าว และวัสดุนาโนเทคโนโลยีมูลค่าสูง
3. สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ และ/หรือนานาชาติสามารถตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารของฐานข้อมูลสากลที่เป็นที่ยอมรับได้ ผู้ใช้ประโยชน์ผลงานวิจัยนี้ได้แก่ นักวิชาการ นักวิจัยที่สนใจในด้านนวัตกรรม เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร พัฒนาผลิตภัณฑ์ นาโนเทคโนโลยี วัสดุชีวภาพ เทคโนโลยีชีวภาพ ตลอดจนภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะพร้าว (Coconut)

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการบริโภคและในด้านการอุตสาหกรรม มะพร้าวมีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถปลูกได้ทุกภาคในประเทศไทย แต่แหล่งที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศ มะพร้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่เขตร้อน

1. ลักษณะทั่วไป

มะพร้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. เป็นพืชยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในตระกูลปาล์ม มีระบบรากเป็นรากฝอยซึ่งมีขนาดเท่า ๆ กัน มีรากหลักที่แตกออกจากโคนต้นโดยตรงทำหน้าที่ลำเลียงอาหารเข้าสู่ลำต้น และมีรากสาขาที่แตกแขนงกระจายไปตามชั้นดินต่าง ๆ ทำหน้าที่ดูดน้ำและอาหาร และช่วยยึดเหนี่ยวลำต้น นอกจากนี้ยังมีรากอากาศ ทำหน้าที่ลำเลียงอากาศบนผิวดินสู่รากใต้ดิน ส่วนของลำต้นจะเป็นลำต้นเดี่ยว รูปร่างทรงกระบอก มะพร้าวไม่มีเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง มีตายอดเพียงอย่างเดียวสำหรับเจริญเติบโตและเป็นที่เกิดของใบ ใบมะพร้าวมีสีเขียวเรียงติดกันเป็นแผงทั้งสองข้างของทางมะพร้าว มะพร้าวอายุ 1 ปี จะมี 12-14 ทาง เมื่ออายุมากขึ้นจำนวนทางจะเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปเมื่อมะพร้าวเจริญเต็มที่จะมีประมาณ 30-40 ทาง ในส่วนดอกมะพร้าว ดอกตัวผู้และตัวเมียจะแยกกัน แต่อยู่ในช่อดอกหรือจั่นเดียวกัน ดอกตัวผู้จะเริ่มบานก่อน หลังจากนั้น 1-4 วันดอกตัวเมียจะเริ่มบาน จากการบานของดอกตัวผู้และตัวเมียที่ไม่พร้อมกัน ส่งผลให้มะพร้าวเป็นพืชผสมข้ามพันธุ์ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544) หลังจากการผสมเกสรดอกตัวเมียจะมีการพัฒนาเป็นผล ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอก (Exocarp) เป็นเนื้อเยื่อที่เหนียวแข็ง เมื่อแก่จะมีสีเขียว สีเหลือง สีน้ำตาลไหม้แล้วแต่พันธุ์ เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นนอกเข้ามาจนถึงกะลา เมื่อผลแก่จะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียกว่ากาบมะพร้าว และเปลือกชั้นใน (Endocarp) เป็นส่วนของกะลา (Hush หรือ shell) เป็นเนื้อเยื่อที่แข็งที่สุด มีสีน้ำตาล ลักษณะกลม มีเส้นแบ่ง 3 ส่วน และมีตา 3 ตา ระหว่างเส้นขนที่ขั้วผล โดยมีตานี้อยู่กลางเส้นของกะลา 1 ตา ซึ่งเป็นตาที่ใหญ่ที่สุดและจะเจริญเป็นหน่อต่อไป ภายในกะลาจะมีเมล็ดมะพร้าวหรือเนื้อมะพร้าว (Endosperm) ซึ่งจะมีแผ่นเยื่อบาง ๆ สีน้ำตาล (Seed coat) คั่นอยู่ระหว่างกะลาและเนื้อมะพร้าว เมื่อผลยังอ่อนอยู่เนื้อจะบางและอ่อนนุ่ม แต่เมื่อผลแก่เนื้อจะหนาแข็งและมีน้ำมันสะสมอยู่มาก (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544; คุณาพร เงินศรีตระกูล และรัชดาภรณ์ เพ็ชรนิคม, 2545)

2. ประเภทของมะพร้าว

มะพร้าวมีการผสมพันธุ์ขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ส่งผลให้สามารถแบ่งประเภทของมะพร้าวออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นเตี้ย และประเภทต้นสูง (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544)

2.1 มะพร้าวต้นเตี้ย

มะพร้าวมีความสูงของต้นไม่เกิน 12 เมตร ลำต้นเล็กไม่มีสะโพก ให้ผลมะพร้าวปริมาณมาก ไม่ค่อยกลายเป็นพันธุ์เนื่องจากมีการผสมในตัวเองมาก จะเริ่มออกผลเมื่อมีอายุ 3 ปีหลังการเพาะปลูก ลักษณะของผลจะเล็ก ส่วนใหญ่นิยมปลูกเพื่อใช้ในการบริโภคผลอ่อน ซึ่งจะมีเนื้อที่อ่อนนุ่ม

และปริมาณน้ำรสชาติดี บางสายพันธุ์อาจมีคุณลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม อย่างไรก็ตามหากทั้งผลมะพร้าวไว้จนแก่ จะทำให้ได้เนื้อน้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการทำมะพร้าวแห้งในงานทางอุตสาหกรรม พันธุ์มะพร้าวต้นเตี้ย ได้แก่ มะพร้าวนกคุ้ม มะพร้าวหมูสีเขียว มะพร้าวทุ่งเคิร์ต มะพร้าวปะทิว มะพร้าวน้ำหอม มะพร้าวหมูสีเหลือง และมะพร้าวไฟ ในปัจจุบันมะพร้าวน้ำหอมเป็นที่นิยมปลูกเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกเพื่อจำหน่ายในต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยผลมะพร้าวอ่อนมีกลิ่นหอมเหมือนกลิ่นใบเตย

2.2 มะพร้าวต้นสูง

มะพร้าวเมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงได้ถึง 18 เมตร มีลำต้นขนาดใหญ่ อายุยืน เป็นมะพร้าวที่มีการคายพันธุ์ได้ง่าย เพราะเกิดการผสมข้ามพันธุ์ได้ง่าย จะเริ่มให้ผลเมื่อมีอายุ 5-6 ปีขึ้นไปหลังการเพาะปลูก ลักษณะของผลใหญ่ เนื้อหนา ขนาดของผลอาจมีความแตกต่างกันได้ เป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อทำมะพร้าวแห้งหรือขายผลแก่เพื่อทำกะทิ จึงเหมาะสำหรับส่งเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม พันธุ์มะพร้าวต้นสูง ได้แก่ มะพร้าวกะโหลก มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกลาง มะพร้าวปากจก มะพร้าวน้ำตาล มะพร้าวกะทิ มะพร้าวทะเลทรายร้อย มะพร้าวเปลือกหวาน และมะพร้าว สำหรับมะพร้าวกะทิเป็นสภาพผิดปกติทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับสรีระวิทยาของมะพร้าว จะเกิดขึ้นเฉพาะบางต้นและอาจไม่ได้เป็นกะทิทั้งต้น ลักษณะภายในของมะพร้าวกะทิจะมีเนื้อฟูหนาอ่อนนุ่ม ผิวหน้าจะมีน้ำชั้นใสสามารถนำมารับประทานสดหรือทำขนมหวานได้ มักเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและมีราคาแพงกว่ามะพร้าวทั่วไป

3. ประโยชน์ของมะพร้าว

มะพร้าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่รากจนถึงยอด เริ่มตั้งแต่จั่น สามารถเก็บน้ำตาลมะพร้าวสดได้ รวมถึงหากมีปริมาณมากนำมาเคี่ยวเป็นน้ำตาลปีบ หรือน้ำหวานที่รองได้ เมื่อนำเปลือกไม้ฝาดบางชนิดมาแช่ลงไปทำให้เกิดแอลกอฮอล์กลายเป็นกระแฉะ ในส่วนของผลซึ่งมีทั้งเนื้อและน้ำสามารถนำมารับประทานได้ พอผลแก่สามารถขูดเนื้อเป็นฝอยนำมาทำขนมหรือคั้นเป็นกะทิ ในทางอุตสาหกรรมเนื้อมะพร้าวแห้งสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าว เพื่อใช้ในการทอดอาหาร ทำเนยเทียม สบู่ และน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น นอกจากนี้เนื้อเปลือกหรือกาบมะพร้าวสามารถนำไปทำเป็นเส้นใย เพื่อทำเป็นแปรงถูบ้าน พรหมเช็ดเท้า ไม้กวาด และเบาะรองนั่ง หรือแม้แต่ขุยมะพร้าวก็สามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูกต้นไม้ได้ ส่วนกะลามะพร้าวสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง และประดิษฐ์เครื่องประดับและของใช้ต่าง ๆ ลำต้นแก่ใช้ทำฝืน ทำของใช้ชั่วคราว ใช้เป็นสะพานข้ามร่องในสวน หรือขุดเป็นช่องใส่อาหารสัตว์ สำหรับยอดอ่อนสามารถนำมาประกอบอาหารได้ ส่วนทางมะพร้าวที่มีใบติดอยู่สามารถนำมาตากแห้งแล้วนำไปย่อนำมาห่อขนมหรือทำของเล่นเด็ก ทำเสื่อ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โคนส่วนใหญ่ชาวสวนจะปลูกมะพร้าวเพื่อเก็บผลเพื่อการประกอบอาหารหรือใช้เป็นวัตถุดิบส่งสำหรับการแปรรูปทางอุตสาหกรรม (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544; สุภาวดี ภัทรโกศล และคณะ, 2540)

4. การแปรรูปผลมะพร้าว

ผลมะพร้าวที่สมบูรณ์จะประกอบไปด้วยเปลือกมะพร้าว 35% กะลา 12% เนื้อมะพร้าว 28% และน้ำมะพร้าว 25% (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544) สำหรับมะพร้าวอ่อนจะทำการเก็บเกี่ยวเพื่อ

ขายในรูปของการบริโภคผลสด แต่ในส่วนของมะพร้าวแก่ซึ่งมีเนื้อมะพร้าวที่แข็งจะถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

4.1 มะพร้าวแห้ง (Copra) ได้จากผลมะพร้าวที่แก่จัด ขนาดเล็ก ขายไม่ได้ราคา โดยนำมาผ่าเป็น 2 ซีก นำไปตากแดดจนเนื้อหลุดออกจากกะลา การทำให้แห้งทำได้โดยการตากแดด การย่างไฟโดยตรง และการย่างไฟทางอ้อม จนเนื้อมะพร้าวมีความชื้นน้อยกว่า 6% มะพร้าวแห้งที่ได้จะเก็บได้นาน คุณลักษณะของมะพร้าวแห้งที่ดีต้องมีความแข็งเปราะ ผิวด้านนอกเป็นสีน้ำตาล ไม่ขรุขระ ไม่มีรา แมลง และสิ่งสกปรก ไม่มีกลิ่นหืนและกลิ่นที่น่ารังเกียจ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544)

4.2 น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil) เป็นอุตสาหกรรมที่รับช่วงการผลิตมาจากอุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง และสามารถนำน้ำมันมะพร้าวไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น นมข้นหวาน สบู่ เนยเทียม และยารักษาโรค เป็นต้น

4.3 มะพร้าวขูดฝอยอบแห้ง (Desloated Coconut) เป็นส่วนเนื้อสีขาวของผลมะพร้าวแก่ ที่ได้ทำการขูดหรือตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และอบด้วยลมร้อนที่ 60°C เวลา 35 นาที ซึ่งจะมีการแบ่งเกรดของชิ้นมะพร้าวตามความละเอียดโดยการร่อนผ่านตะแกรง สามารถนำไปใช้ในการประกอบอาหาร โดยทำเป็นน้ำกะทิ หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบและขนมหวาน เช่น ขนมปังกรอบ ขนมเค้ก ไอศกรีม ลูกกวาด เป็นต้น

4.4 กะทิเข้มข้น เป็นการนำเนื้อมะพร้าวที่ขูดเป็นฝอยมาคั้นเป็นกะทิ และทำให้เข้มข้นโดยระเหยน้ำออกบางส่วน แล้วนำไปผ่านการฆ่าเชื้อและบรรจุลงในภาชนะปลอดอากาศ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน และสะดวกต่อการใช้งาน ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกะทิสามารถแปรรูปกะทิได้หลายชนิด เช่น กะทิเข้มข้น กะทิผง กะทิกระป๋อง กะทิUHT เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปกะทิสามารถแบ่งตามวิธีการถนอมอาหาร ทำให้สามารถเก็บรักษาน้ำกะทิไว้ได้นานขึ้นได้ 3 รูปแบบคือ

4.4.1 กะทิพาสเจอร์ไรซ์ โดยนำกะทิมาผ่านความร้อนไม่ถึง 70 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที หลังจากนั้นบรรจุลงถุง ปิดสนิท เก็บได้นาน 7 วัน

4.4.2 กะทิสเตอร์ไรซ์ โดยนำกะทิมาผ่านความร้อน 155 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ความร้อนจะทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ได้ บรรจุกระป๋อง เก็บได้นาน 2 ปี แต่ความสดจะลดลง

4.4.3 กะทิ UHT โดยนำกะทิมาผ่านความร้อนสูงกว่า 140 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เอนไซม์และจุลินทรีย์ถูกทำลาย แต่ความสดยังอยู่ เพราะผ่านความร้อนในระยะเวลาที่สั้น หลังจากนั้นบรรจุลงในกล่องกระดาษเคลือบ ซึ่งผ่านระบบปลอดเชื้อ เก็บที่อุณหภูมิห้องได้นาน 1 ปี

หลังจากการนำเนื้อมะพร้าวแก่มาแปรรูปเป็นกะทิแล้ว จะมีส่วนเหลือทิ้งเป็นกากมะพร้าวเป็นจำนวนมาก โดยมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว และมีเปลือกสีน้ำตาลปนเล็กน้อย โรงงานอุตสาหกรรมกะทิมักนำกากที่ได้ไปอบให้แห้ง และขายเพื่อไปทำเป็นอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบภายในของกากมะพร้าวหลังการแปรรูปแล้ว (ตารางที่ 2.1) ยังประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต น้ำมัน และกากใยอยู่ ดังนั้นการนำกากมะพร้าวไปใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกวิธีทางเลือกหนึ่งในการนำส่วนเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงได้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อเมพรว้า

ส่วนประกอบของเมพรว้า	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	กาก (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)
เนื้อเมพรว้า (fresh meat) ซึ่งปอกผิวหนังออกแล้ว	52.2	31.5	3.2	1	2.9	9.2
กะทิ (milk) ซึ่งบีบด้วยเครื่อง Hydraulic press	60.1	29.7	3.2	1.1	-	5.9
หางกะทิ (skimmed milk) ซึ่งแยกออกจากกะทิ	82.8	0.3	1.7	1	-	14.1
กาก (cake) หลังจากบีบกะทิออกแล้ว	35.4	38.5	3.2	0.9	7.1	14.9
กากหลังทำแห้งแล้วสกัดด้วย petroleum ether	-	4.2	11.1	2.8	24.8	57.1

ที่มา: มาลี ชิมศรีสกุล (2546)

ใยอาหาร (Dietary fiber)

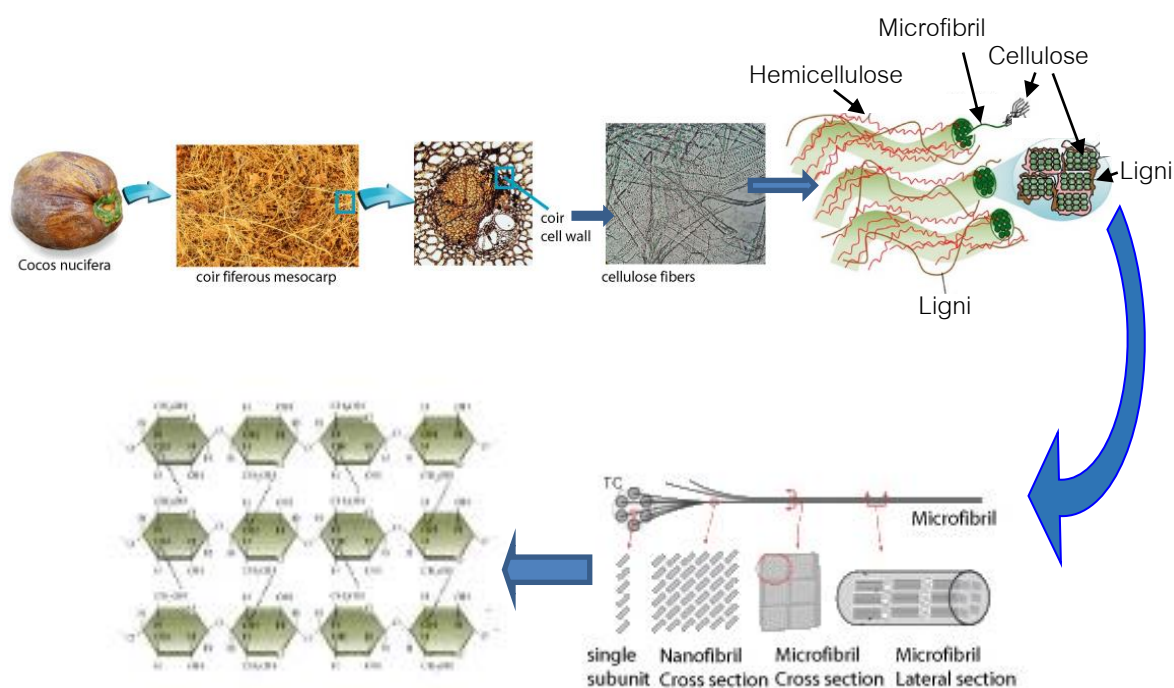
ใยอาหาร หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ติดต่อสุขภาพ ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร เอนไซม์ในร่างกายไม่สามารถย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลได้ แหล่งที่พบใยอาหารมาก ได้แก่ พืช ผัก และผลไม้ รวมถึงธัญพืช โคนเฉพาะในส่วนของรำ (Bran) เช่น รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต รำข้าวเจ้า และถั่วชนิดต่าง ๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ส่วนประกอบหลักของใยอาหาร แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1) สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides) และทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) และเพคติน (Pectin) 2) สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides) แต่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ กัมส์ (Gums) และมิวซิเลจส์ (Mucilages) และ 3) สารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non-polysaccharides) แต่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ ลิกนิน (Lignin) (Eastwood, 1997; นธิยา รัตนาปนนท์, 2554)

1. ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารของพืชสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายได้ 2 ประเภท คือ ใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) และใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Insoluble dietary fiber) ผลรวมของใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้กับใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เรียกว่า ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) (Prosky & DeVries, 1992)

1.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ เป็นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำ แต่สามารถพองตัวในน้ำ ทำให้ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในกระเพาะอาหาร แต่ไม่ให้ความหนืด ผู้บริโภคจะรู้สึกอึดได้ง่ายขึ้นเมื่อรับประทานใยอาหารประเภทนี้เข้าไป ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้จะไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลให้มวลของอุจจาระเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดปัญหาท้องผูกสำหรับผู้บริโภคได้ ชนิดของใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ ได้แก่

1.1.1 เซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืช ประกอบด้วยพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลที่ต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-กลูโคซิดิก ไม่มีแขนง จำนวนโมเลกุลของน้ำตาลต่อกันยาวมากถึง 10,000 โมเลกุล โดยสายยาวจะเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างไมโครไฟบริลมีความแข็งแรง และมีรูปร่างที่แน่นอน เซลลูโลสมักพบอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส เพกติน และลิกนิน เซลลูโลสจะช่วยให้พืชมีความเหนียวและแข็งแรง เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างเจือจางได้ดี แต่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งไม่พบในร่างกายคนและสัตว์บางชนิด ส่วนพวกสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารสามารถย่อยเซลลูโลสได้เนื่องจากในกระเพาะมีจุลินทรีย์ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลส (นิธิยารัตนาปนนท์, 2549) เซลลูโลสพบมากที่สุดในผัก แต่ก็สามารถพบได้ในพืชและผลไม้ ข้าวกล้อง ถั่ว และรำข้าว (วชิรา วิเศกข์สมบุญ, 2553) โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลลูโลสในเส้นใยมะพร้าวจะประกอบไปด้วยเซลล์จำนวนมาก โดยที่ผนังเซลล์จะมีเซลลูโลสเป็นโครงสร้างในลักษณะของเส้นใย เซลลูโลสที่มีลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสาน ซึ่งเซลลูโลสจะประกอบด้วยโมเลกุลน้ำตาลสร้างพันธะต่อกันในลักษณะต่าง ๆ ในระบบสามมิติ (ภาพที่ 2.1)

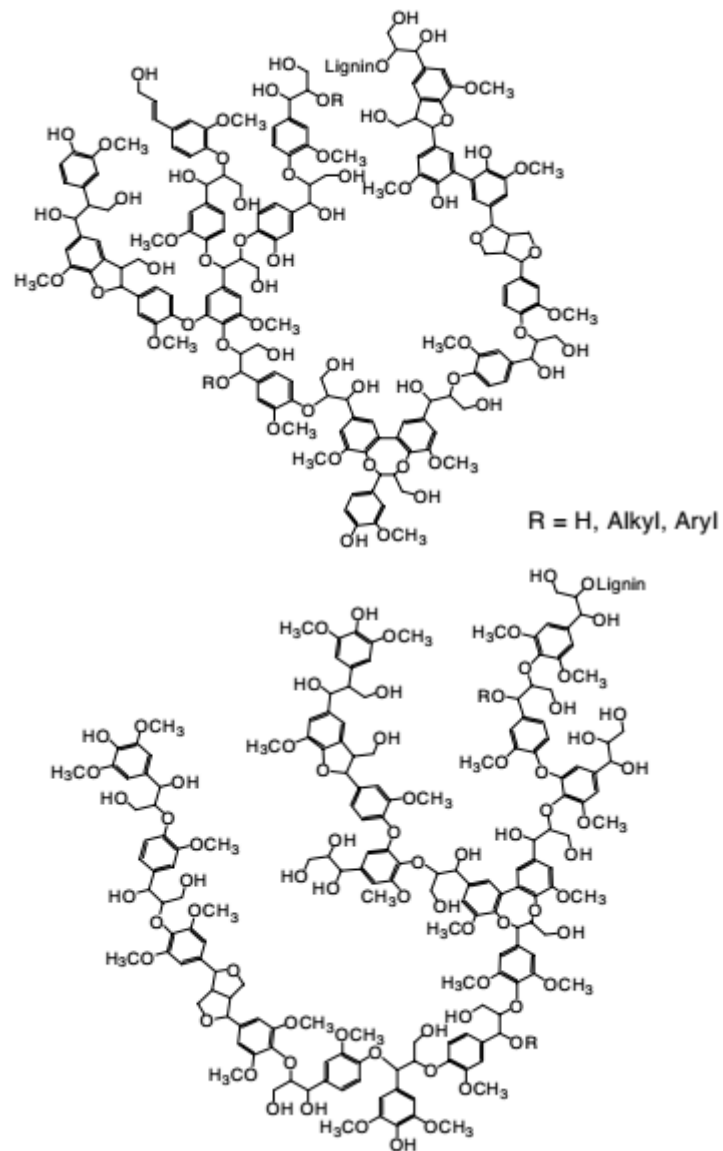


ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของเซลลูโลสในเซลล์พืช

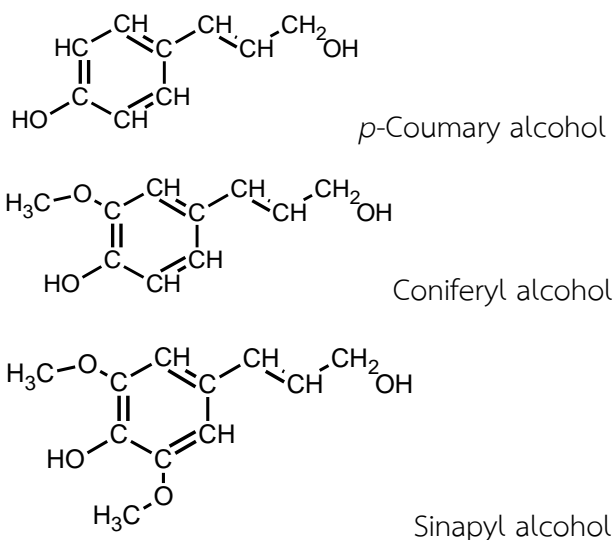
1.1.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์อยู่ในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยอยู่ร่วมกับลิกนินและเซลลูโลส โครงสร้างหลักของโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส เช่น น้ำตาลไซโลส แมนโนส และกาแลกโทส และสายแขนงประกอบด้วยน้ำตาลอะราบิโนส กาแลกโทส และกรดยูโรนิค สายโซ่หลักของเฮมิเซลลูโลสจะมีโมโนแซ็กคาไรด์ต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-กลูโคซิดิก และสายแขนงจะต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ α -1,6-กลูโคซิดิก

เฮมิเซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายต่าง ลักษณะโครงสร้างจะแตกต่างกันระหว่างพืชแต่ละชนิด โดยส่วนใหญ่ในแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-200 หน่วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2554; 2549)

1.1.3 ลิกนิน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ เนื้อเยื่อพืช โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง อยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของเปลือก ชังหรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้นไปสู่ยอด เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนิน จะเพิ่มมากขึ้นด้วย พบมากในผลไม้สุก มากกว่าผลไม้ดิบ โดยเฉพาะผลไม้ที่บริโภคได้ทั้งเมล็ด เช่น สตรอเบอร์รี่ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดี (Bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก (ไฟโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมณารักษ์, 2538) ลิกนินไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตแต่เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูปผลึก มีสูตรทางเคมีคือ $C_9H_{10}O_2$, $C_{10}H_{12}O_3$, $C_{11}H_{14}O_4$ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ monolignols พื้นฐานสามชนิด ประกอบด้วย โซโมเลกุลของ oxygenated phenyl propane มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 (ภาพที่ 2.2 และ 2.3) เกิดจากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และไซนาพิล (sinapyl) โดยที่หน่วยย่อยทั้งสามสามารถสร้างพันธะเชื่อมต่อกันแบบสามมิติได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับพืชหรือเซลล์พืชแต่ละชนิดก็จะสร้างลิกนินที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน (ภาพที่ 2.2) ลิกนินไม่สลายทั้งในกรดและด่างแก่ และไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ (Chen, 2014; Amar et al., 2005)



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างทั่วไปของลิกนินของไม้เนื้ออ่อน (บน) และไม้เนื้อแข็ง (ล่าง)
ที่มา: Amar et al. (2005)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างเคมีของสารประกอบ monolignols ทั้งสาม

1.2 โยอาหารที่ละลายน้ำได้ เป็นโยอาหารที่มีความสามารถในการละลายกับน้ำ โดยจะทำการดูดซับน้ำไว้กับตัว ส่งผลให้เกิดความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น ร่างกายไม่สามารถย่อยเส้นใยประเภทนี้ได้ แต่สามารถถูกย่อยได้โดยแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ชนิดของโยอาหารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่

1.2.1 เพคติน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่รวมตัวกับเซลลูโลสใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน โครงสร้างพื้นฐานของเพคตินเป็นโซโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 มีน้ำตาลแรมโนส อะราบิโนส ไฮโลส และฟิวโคส (Fucose) เป็นโซ่สาขา น้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบเพคตินประมาณ 10,000-400,000 ดาลตัน และมีกรดกาแลคทูโรนิกประมาณ 300-800 หน่วยต่อโมเลกุลของสารประกอบเพคติน สารประกอบเพคตินที่สร้างขึ้นในพืช คือ โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็นสารที่พบมากในผัก และผลไม้ โดยเฉพาะในผลไม้ดิบ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเพคตินคือ ความสามารถในการเกิดเจล และความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเพคตินละลายในน้ำร้อนได้ลักษณะที่เป็นวุ้น ซึ่งจะขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลในเลือดได้ และเหมาะสมสำหรับคนที่มีอาการท้องผูกสลับกับท้องเสีย เนื่องจากความเป็นวุ้นสามารถห่อหุ้มแบคทีเรียไว้ และกำจัดออกจากร่างกาย ดังนั้น แอปเปิ้ล ส้ม องุ่น และข้าวโพด จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ปัญหาดังกล่าว (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2540; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

1.2.2 กัมส์ (Gums) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ได้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ แต่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืชและสัตว์ มักมีน้ำตาลที่เป็นกลางหลายชนิดและมีกรดยูโรนิกเป็นองค์ประกอบ กัมส์มีหลายชนิด ได้แก่ กัมจากยางที่ไหลออกมาจากพืช (Exudate gums) เช่น กัมอะราบิก กัมแกตติ กัมคารายา และกัมทรากาแคนต์ เป็นต้น กัมจากเมล็ดพืช เช่น โลคัสต์บินกัม และกัวร์กัม กัมจากสาหร่าย ได้แก่ คาราจีแนน วุ้น และอัลจินเนต กัมจากจุลินทรีย์ ได้แก่ แชนแทนกัม และกัมจากสัตว์ ได้แก่ เจลาติน เป็นต้น กัมส์มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างมากมาย โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2552; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

2. ประโยชน์ของใยอาหาร

ใยอาหารที่ทำให้พืชผักมีความเหนียว เป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถอุ้มน้ำได้ดี ไม่สามารถถูกย่อยภายในร่างกายได้ จึงเป็นการผ่านเข้าและออกจากร่างกายไป ส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะมีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี สามารถถูกย่อยและดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้ อย่างไรก็ตามใยอาหารทั้งสองชนิดมีความสำคัญต่อสุขภาพในการป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น เบาหวาน มะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคท้องผูก เป็นต้น ดังนั้นใยอาหารจึงเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ดังนี้

2.1 โรคเบาหวาน ใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้สามารถรวมตัวกับน้ำตาลและน้ำตาลตาลได้ดี เกิดเป็นเมือก และไปห่อหุ้มอาหารอื่น ๆ ในลำไส้เล็ก ส่งผลให้การย่อยและดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดช้าลง และยืดระยะเวลาในการย่อยให้นานขึ้น ร่างกายจึงมีเวลาในการผลิตอินซูลินมาเผาผลาญอาหารได้ดี ดังนั้นใยอาหารจึงมีผลในการรักษาระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดให้เป็นปกติ ใยอาหารที่มีการนำมาใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานในปัจจุบัน คือ กัวร์กัม ซึ่งเป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืชประเภทถั่ว ซึ่งมีคุณสมบัติในการควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีและมีประสิทธิภาพ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนา, 2538; อาหารเส้นใยสูง, 2546)

2.2 โรคท้องผูก ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีความสำคัญมากกับระบบขับถ่ายของร่างกาย เนื่องด้วยเส้นใยสามารถรวมตัวกับกากอาหาร ทำให้อุจจาระสามารถจับตัวกันและเพิ่มน้ำหนักได้มากขึ้น รวมถึงช่วยกระตุ้นให้ผนังลำไส้เคลื่อนตัวมีแรงในการขับถ่าย นอกจากนี้ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ยังช่วยในการดูดซับน้ำ มีผลให้กากอาหารอ่อนนุ่มและเคลื่อนตัวขับถ่ายออกมาได้ง่าย ในปัจจุบันวิธีการการแก้โรคท้องผูก คือ การรับประทานรำข้าวสาลี ซึ่งเป็นอาหารที่มีใยอาหารสูง (Stark & Madar, 1994; อาหารเส้นใยสูง, 2546)

2.3 โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ การบริโภคใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีส่วนช่วยในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ เนื่องด้วยการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่มักเริ่มต้นจากโรคท้องผูก ผู้ป่วยขับถ่ายไม่ออก และเกิดความผิดปกติที่เซลล์ในผนังลำไส้ใหญ่ อย่างไรก็ตามใยอาหารจะช่วยในการขับของเสียที่อยู่ภายในลำไส้ใหญ่ และช่วยเพิ่มแบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยอาหารในลำไส้ใหญ่ ส่งผลให้ผนังลำไส้ใหญ่แข็งแรง ควบคุมการเติบโตของเซลล์ให้ปกติ (อาหารเส้นใยสูง, 2546)

2.4 โรคหลอดเลือดหัวใจ ใยอาหารที่ละลายน้ำจะถูกย่อยเป็นเมือกและถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ซึ่งเส้นใยสามารถจับตัวกับกรดไขมันบางส่วน ส่งผลให้ไขมันไม่ถูกดูดซึมและเกิดการขับถ่ายออกจากร่างกาย ส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดต่ำลง เมื่อไขมันในเส้นเลือดต่ำจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบหรืออุดตันได้ นอกจากนี้ใยอาหารยังช่วยในการควบคุมความดันโลหิตให้เป็นปกติ ลดความอ้วน และป้องกันโรคเบาหวานได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (อาหารเส้นใยสูง, 2546; วชิรา วิเศกข์สมบุญย์, 2553)

2.5 โรคอ้วน อาหารที่มีเส้นใยสูงสามารถช่วยลดน้ำหนักได้ เนื่องด้วยช่วยในการขับถ่ายดูดซับไขมันและน้ำตาลที่บริโภคเข้าไป และรู้สึกอิ่มนาน โดยเฉพาะใยอาหารที่ละลายน้ำ เนื่องจากเมื่อใยอาหารรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเมือก มีความหนืดเพิ่มขึ้น อาหารในลำไส้มีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นดูดซึมได้ช้า ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่รู้สึกหิวง่าย นอกจากนี้ยังช่วยเร่งให้อาหารออกจากลำไส้ได้เร็วขึ้นจึงมีการดูดสารอาหารได้ลดลง ร่างกายจะได้รับพลังงานที่น้อยลง ในปัจจุบันนักโภชนาการมีการควบคุม

อาหารของผู้ที่เป็นโรคอ้วน โดยการให้รับประทานผักชนิดต่าง ๆ ที่มีใยอาหารสูง และลดการทานอาหารที่มีแป้งและน้ำตาลลง (อาหารเส้นใยสูง, 2546; วชิรา วิเศกข์สมบุญ, 2553)

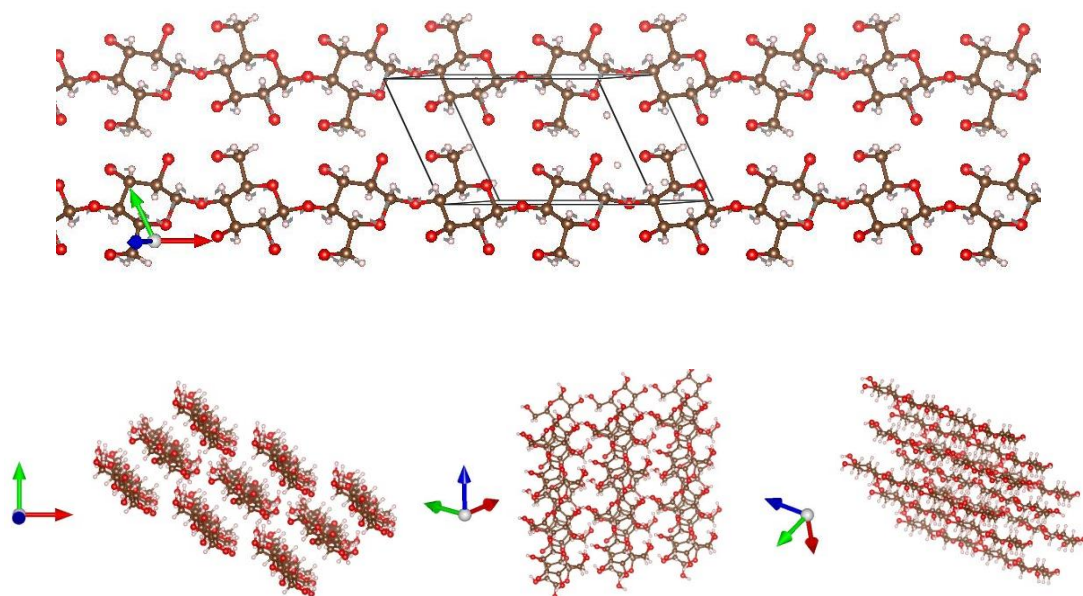
3. การสกัดใยอาหาร

การสกัดใยอาหารไม่มีรูปแบบ และวิธีการที่ตายตัวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแนวทาง และวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย โดยงานวิจัยหลาย ๆ คนจะทำการกำจัดองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่มีประโยชน์ หรือมีประโยชน์น้อยกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ออก อาทิ ไขมัน แป้ง น้ำตาลอิสระ เป็นต้น เพื่อให้ได้ส่วนของใยอาหารในปริมาณสูงต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีวัตถุดิบหลากหลายชนิดที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตใยอาหารผง เช่น ข้าวสาลี ข้าว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แก่ เปลือกส้ม มันสำปะหลัง เป็นต้น โดยคุณลักษณะหลักของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายทางการค้ามีดังนี้ คือ มีใยอาหารเป็นองค์ประกอบทั้งหมดไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบต่ำให้พลังงานต่ำ (ต่ำกว่า 8.36 กิโลจูลต่อกรัม) กลิ่นรส และรสชาติเป็นกลาง ซึ่งส่วนใหญ่จะได้ส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีการจำหน่าย ใยอาหารที่ได้จากธัญพืชมีการใช้แพร่หลายกว่าใยอาหารที่ได้จากผลไม้ อย่างไรก็ตามใยอาหารจากผลไม้มีคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากมีองค์ประกอบของใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้สูงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำ และน้ำมันสูง นอกจากนี้กลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายได้ ในขณะที่ใยอาหารที่ได้จากผลไม้จะมีองค์ประกอบของกรดไฟติก (Phytic acid) ต่ำ และใช้พลังงานต่ำ จากความสำคัญและคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปข้างต้นนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการเตรียมใยอาหารจากผลไม้ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบดังกล่าว และองค์ประกอบที่ให้ผลทางชีวภาพอื่น ๆ อาทิ ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล คาโรทีน ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสุขภาพ นอกเหนือจากคุณประโยชน์ของใยอาหาร สำหรับการลดขนาดของใยอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขนาดของใยอาหารให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับน้ำหรือน้ำมัน ส่งผลดีต่อการสัมผัสของอาหารที่ต้องการเพิ่มใยอาหาร โดยทั่วไปใยอาหารผงทางการค้านิยมบดให้มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.15-0.43 มิลลิเมตร (Larrauri, 1999; Raghavendra et al., 2006) การศึกษาผลของการลดขนาดอนุภาคโดยการบดที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ กักเก็บน้ำ พองตัว และดูดซับน้ำมันของใยอาหารจากกากมะพร้าว พบว่าการลดขนาดอนุภาคจาก 1,127 ไมโครเมตร เป็น 550 ไมโครเมตร ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ กักเก็บน้ำ พองตัวและดูดซับน้ำมันของใยอาหารจากกากมะพร้าวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดขนาดอนุภาคลงอีกจนถึง 390 ไมโครเมตร จะส่งผลให้สมบัติเหล่านี้ลดลง ประภาพรรณ เพ็ชรชอบ (2551) พบว่าขนาดของอนุภาคมีผลต่อคุณภาพเส้นใยจากโคนหน่อไม้ฝรั่งต่างกันคือ ถ้าเส้นใยมีขนาดอนุภาค 20 เมช จะมีความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากที่สุด ในขณะที่เส้นใยมีขนาดอนุภาค 40 เมช มีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงที่สุด ดังนั้นในการที่จะใส่ลงในผลิตภัณฑ์ความเลือกขนาดอนุภาคที่เหมาะสมต่อความสามารถต่าง ๆ ศุภวิวัฒน์ นามคำ และคณะ (2555) ได้ทำการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเปลือกส้มโอผงทั้ง 3 ขนาดในผลิตภัณฑ์ขอม่วงต่อการยอมรับของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าผู้เชี่ยวชาญยอมรับผลิตภัณฑ์ขอม่วงที่เสริมด้วยเส้นใยที่ขนาดเล็กกว่า 100 เมช เนื่องจากอนุภาคใกล้เคียงกับแป้งจึงทำให้ดูกลมกลืนเมื่อผสมรวมกัน เนื้อสัมผัสจึงเรียบเนียนไม่สามารถมองเห็นเส้นใยผงในตัวผลิตภัณฑ์ขอม่วง นิธิมา อรรถวานิช และ

ปราณี อานเป็รื่อง (2546) ได้ใช้ใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวานที่มีขนาด 50 เมช ทดแทนแป้ง ร้อยละ 2-6 ลงในการผลิตภักณ์เค้ก พบว่าผู้ทดสอบได้รับการยอมรับค่อนข้างดี

เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_n เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช พบทั่วไปในธรรมชาติ ไม่พบในเซลล์สัตว์ โดยทั่วไปแล้วเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยวงน้ำตาลกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ เบตา (1,4) (β -(1,4) glucosidic linkage) ซึ่งแต่ละสายของสายของเซลลูโลสเรียงขนานกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสแต่ละแบบ เช่น Cellulose I โมเลกุลเซลลูโลสจะเรียงตัวยาวตามแนวแกน a ดังภาพที่ 2.5 บน โดยที่แต่ละสายจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้เกิดการเรียงตัวของผลึกแบบต่างๆในสามมิติ ได้หลายแบบ ดังแสดงตัวอย่างของโครงสร้างผลึกเซลลูโลสแบบ Cellulose II ตามระนาบต่างๆดัง ภาพที่ 2.5 ล่าง เมื่อโครงสร้างต่อกันยาวขึ้นซึ่งอาจเกิดการเชื่อมด้วยโมเลกุลเซลลูโลสที่มีการเรียงตัว แบบไม่เป็นผลึกสลับไปเรื่อย ๆ จะทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย (ภาพที่ 2.1 และ 2.4) ซึ่งทำให้ใน โครงสร้างผนังเซลล์ของพืชมีทั้งเซลลูโลสที่เรียงตัวทั้งอยู่ในรูปของผลึกและอสัณฐาน



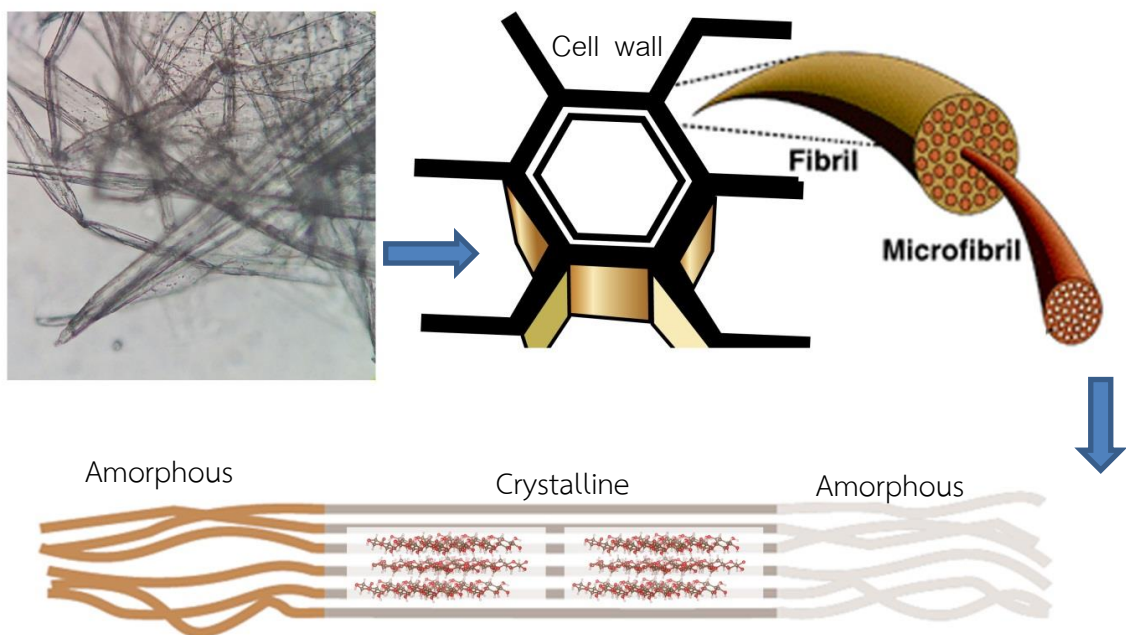
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของเซลลูโลส แบบ Cellulose I (บน) และ Cellulose II (ล่าง) ในระนาบ ต่างๆ

1. โครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่าเส้นใยไมโครไฟเบอร์อยู่รวมกันกลายเป็น ผนังเซลล์ ซึ่งจะประกอบด้วยเส้นใยที่เรียกว่าไฟบริล (Fibril) จำนวนมาก

2. เส้นใยนาโนเซลลูโลส

เส้นใยนาโนเซลลูโลส (Nanofibrillar Cellulose, NFC) โดยทั่วไปคำว่าไฟบริล ใช้อธิบายเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ๆ เป็นเส้นใยที่อยู่บนไฟเบอร์ ซึ่งเส้นใยนาโนเซลลูโลสหรือเซลลูโลสไฟบริล จะหมายถึงเส้นใยเซลลูโลสที่มีความกว้างระหว่างหนึ่งถึงหนึ่งร้อยนาโนเมตร ซึ่งจะเกาะรวมกันเป็นเส้นใยไฟเบอร์อีกที โดยเซลลูโลสไฟบริลจะไม่สามารถแยกเป็นเส้นย่อยได้อีก เส้นใยเซลลูโลสไฟบริลมีลักษณะเป็นมัดเส้นใยเล็กๆที่เรียกว่าเส้นใยไมโครไฟบริลรวมกัน ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซี หรือรวมกันด้วยโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสหรือลิกนิน ซึ่งในเส้นใยไมโครไฟบริลจะประกอบด้วยเส้นใยของนาโนเซลลูโลสอีกที โครงสร้างของเส้นใยนาโนเซลลูโลสจะประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่มีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลอย่างมีระเบียบหรือผลึกที่มีการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียงตัวขนานกันไป โดยเกิดการสร้างพันธะทั้งแบบ inter และ intra ของโมเลกุลเซลลูโลส จึงทำให้สามารถเกิดการสร้างรูปแบบการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลได้หลากหลายรูปแบบ และมีทำให้มีความแข็งแรงสูง โดยเฉพาะเมื่อโครงสร้างการจัดเรียงตัวมีลักษณะเป็นแบบขนานกันและด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งการจัดเรียงตัวที่มีระเบียบขึ้นจะทำให้สมบัติโดยรวมมีความแข็งแรงขึ้น ดังภาพที่ 2.5 (Hubbe et al., 2008; Moon et al., 2011; Lavoine et al., 2012) สำหรับส่วนที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออสัญฐาน บริเวณนี้มีความแข็งแรงต่ำ ทำให้เซลลูโลสสามารถสลายตัวและแยกออกจากกันได้โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของกรดแก่ โครงสร้างของผลึกเซลลูโลสสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยแรงกลจากภายนอกเนื่องจากความไม่เป็นระเบียบและขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของไมโครไฟบริลเอง โดยจะทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่แข็งแรงขึ้นได้ เช่น โครงสร้างผลึกแบบ cellulose II เป็นต้น สำหรับคำว่านาโนเซลลูโลสจึงอาจจะหมายถึง เส้นใยนาโนเซลลูโลส และหรือ ส่วนของผลึกนาโนเซลลูโลส ก็ได้



ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยเส้นใยย่อย ๆ หลายส่วน ประกอบด้วยผลึกเซลลูโลสและเซลลูโลสอสัญฐานเชื่อมต่อกัน

3. ผลึกนาโนเซลลูโลส

ผลึกนาโนเซลลูโลส (Nanocrystalline cellulose, NCC) จะหมายถึงส่วนย่อยของเส้นใยนาโนเซลลูโลสอีกที ซึ่งหมายถึงเฉพาะส่วนที่มีโมเลกุลน้ำตาลมีการจัดกันเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเป็นโครงสร้างผลึก ซึ่งได้จากการย่อยเอาส่วนที่จัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบหรือส่วนที่เป็นอสัณฐานออกไป ทำให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นผลึก สำหรับเซลลูโลสแบบ nanowhiskers จะหมายถึงลักษณะรูปร่างของนาโนเซลลูโลส ซึ่งจะมีลักษณะย่อยต่าง ๆ อีก เช่น nanorods, rod-like cellulose microcrystals และ nanowires โดยผลึกนาโนเซลลูโลสที่มีลักษณะต่างๆกันนี้จะขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบที่นำมาสกัดเป็นผลึกนาโนเซลลูโลส (Hubbe et al., 2008) หรือขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยที่พืชแต่ละชนิดจะสร้างส่วนของผลึกนาโนเซลลูโลสที่มีรูปร่างไม่เหมือนกันนั่นเอง โดยทั่วไปแล้ว NCC จะมีลักษณะคล้ายแท่งโดยมีความกว้างอยู่ในช่วง 5 ถึง 70 นาโนเมตร และความยาวอยู่ในช่วง 100 นาโนเมตร จนถึงหลายไมโครเมตร ซึ่งมีรูปร่างลักษณะและเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ NCC นอกจากจะขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบของเซลลูโลสแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาวะ เทคนิค หรือวิธีการในการสกัดด้วย

การสกัด NCC จากวัตถุดิบแหล่งเซลลูโลสต่าง ๆ นั้นมีอยู่สองขั้นตอนหลัก ๆ ขั้นตอนแรกคือการเตรียมวัสดุขั้นต้นจากวัตถุดิบเซลลูโลส เช่น ต้นไม้ อ้อย ฟางข้าว เป็นต้น โดยการนำสารชนิดอื่นที่มีอยู่ที่ไม่ต้องการออกก่อน เช่น เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น เพื่อให้เหลือเพียงเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น ขั้นตอนที่สองคือการทำปฏิกิริยาเคมีที่ต้องการ โดยทั่วไปใช้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อกำจัดเซลลูโลสอสัณฐานออกจากเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลส ซึ่งจะทำให้เหลือเฉพาะส่วนของผลึกนาโนเซลลูโลสตามต้องการ

เทคนิคการสกัด NCC โดยทั่วไปแล้วเป็นเทคนิคที่ใช้เวลาและสารเคมีปริมาณมากและมีค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้จึงทำให้พบการใช้ประโยชน์ NCC เป็นไปอย่างจำกัด สำหรับเปลือกมะพร้าวเป็นแหล่งเซลลูโลสที่พบมากในประเทศไทยเมื่อเทียบกับแหล่งวัตถุดิบเซลลูโลสอื่น เช่น ไม้ อ้อย เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นของเสียที่เหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตร ที่มีมูลค่าต่ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นได้น้อยเมื่อเทียบกับของเสียทางการเกษตรชนิดอื่น เช่น กากอ้อย ไม้ยางพารา และแกลบ เป็นต้น ทีมวิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเปลือกมะพร้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการเกษตรที่มีมูลค่าต่ำมาศึกษาการสกัดนาโนเซลลูโลสรวมทั้งพัฒนาเทคนิคการสกัดนาโนเซลลูโลสเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูงและทำให้สามารถพัฒนากระบวนการผลิตในเชิงปริมาณได้ อย่างไรก็ตามเส้นใยจากมะพร้าวจะมีความแตกต่างจากพืชชนิดอื่นทั้งสัดส่วนของส่วนประกอบต่างๆในเซลล์และรวมทั้งลักษณะของโครงสร้างเซลล์ด้วยซึ่งยังไม่พบรายงานการวิจัยที่ได้ศึกษานาโนเซลลูโลสที่ได้จากเส้นใยเปลือกมะพร้าว รวมทั้งเทคนิคการสกัดนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวมาก่อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลพบว่าม้งานวิจัยที่ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าววิธีการสกัดโยอาหาร และคุณสมบัติของโยอาหารที่ได้จากกากมะพร้าว รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโยอาหารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพัฒนาและการสกัดวัสดุผลึกนาโนเซลลูโลส

ซึ่งเป็นวัสดุใหม่ที่กำลังเริ่มต้นได้รับความสนใจ ส่วนมากจะมาจากของเสียในอุตสาหกรรมกระดาษเป็นหลัก โดยที่การสกัดจากส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกระดาษนั้นมีความง่ายน้อยกว่ามาก ดังนี้

Yalegama et al., (2013) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่ได้จากส่วนเหลือทิ้งของกากมะพร้าว พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบเหลือทิ้งหลังจากการสกัดน้ำมันมะพร้าว กะทิ และแป้งมะพร้าว จะมีปริมาณใยอาหารอยู่ค่อนข้างสูง ในส่วนเหลือทิ้งจากการผลิตกะทิจะมีไขมันอยู่สูง ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน การอุ้มน้ำ และการพองตัวจะสูงในส่วนเหลือทิ้งจากแป้งมะพร้าวมากกว่าจากน้ำมันมะพร้าว และกะทิ

Ng et al., (2010) ได้ทำการศึกษาการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว พบว่า ในกากมะพร้าวมีปริมาณใยอาหารประมาณ 23% และได้ทำการสกัดโดยใช้เอนไซม์ และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหารที่ละลายและไม่ละลายน้ำ รวมทั้งปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบไปด้วย เซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส A และ B มีอยู่ประมาณ 27.32-35.08%

Raghavendra et al., (2004) ได้ทำการศึกษาการสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าว โดยศึกษาสารสกัดและขนาดของใยอาหารที่มีผลต่อคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับน้ำ พบว่า คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ การเก็บกักน้ำ และการพองตัวจะสูงขึ้น ถ้าปริมาณไขมันในใยอาหารที่สกัดได้ลดลง และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับน้ำจะดีที่สุดเมื่อใยอาหารมีขนาด 550 μm โดยถ้าขนาดของใยอาหารใหญ่เกินไปจะส่งผลต่อน้ำมันที่ถูกจับอยู่ในโมเลกุล มีผลต่อการลดลงของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ในขณะที่ถ้าขนาดของใยอาหารเล็กเกินไปร่างแหของเส้นใยจะขาดออกจากกัน มีผลต่อการลดลงของคุณสมบัติเชิงหน้าที่เช่นกัน

Raghavendra et al., (2006) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของการไม่และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับน้ำของกากมะพร้าว ซึ่งเป็นแหล่งของใยอาหาร พบว่า การลดขนาดของใยอาหารจาก 1127 เป็น 550 μm มีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และการพองตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวและจำนวนรูพรุน และการอุ้มน้ำมันจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดขนาดของใยอาหารลง

กานต์ สุขสุแพทย์ จรรยา คงฤทธิ์ และณัทย วิจิตรโรทัย(2555) ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกากกะทิที่ตากแห้ง พบว่า มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับร้อยละ 7.33, 3.75, 27.62, 34.87, 1.01, 0.087 และ 1.172 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับรำละเอียดซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี เท่ากับร้อยละ 8.40, 11.32, 16.08, 12.76, 11.28, 0.243 และ 0.679 ดังนั้นกากกะทิที่ตากแห้งจะมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำกว่า แต่มีปริมาณเยื่อใยที่สูงกว่ารำละเอียด

อังคณา คงชววรรณ ตรี อินทราริณี เวียร์ยันโตโร และอภิรักษ์ เพ็ชรมงคล (2557) ได้ทำการสกัดใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยลดขนาดแกนและเปลือกสับปะรดและศึกษาปัจจัยร่วมในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนของน้ำต่อกาก และ pH ซึ่งในกระบวนการสกัดได้มีการแช่ในสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วนระหว่าง 50:50 ถึง 67:33 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก เพื่อกำจัดสารให้สีและไขมัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สิริมา ชินสาร บงกช ธุระพันธ์ และวารุณี พรหมประดิษฐ์ (2557) ได้ทำการศึกษาผลของการเตรียมขึ้นต้นต่อสมบัติของของเซลลูโลสผงจากมะพร้าวและการประยุกต์ใช้เป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในโดนัท พบว่าการเตรียมวัตถุดิบขึ้นต้นด้วยวิธีการอบแห้ง การบดเปียก และการล้างน้ำ จะส่งผลให้ได้ปริมาณเซลลูโลสอยู่ที่ร้อยละ 95.21 97.27 และ 98.86 ตามลำดับ โดยเซลลูโลสผงทั้ง 3 วิธีการสกัดให้ค่าการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์ สุนิษา วิไลพัฒน์ และจีราพร อัครศิสุวรรณ (2557) ได้ทำการศึกษาการใช้กากมะพร้าวเสริมในขนมทองม้วน พบว่าขนมทองม้วนเสริมกากมะพร้าวที่ระดับ 3% ได้รับการยอมรับสูงสุด ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสหวาน ความกรอบ ความชอบโดยรวม จากนั้นทำการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเสริมกากมะพร้าว พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ที่ร้อยละ 71

Trinidad et al., (2006) ได้ทำการศึกษาใยอาหารจากแป้งมะพร้าวโดยเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จากผลการวิจัย พบว่าแป้งมะพร้าว 100 กรัม มีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต อยู่ที่ร้อยละ 3.6 3.1 10.9 12.1 และ 70.3 ซึ่งแป้งมะพร้าวจะประกอบด้วยเส้นใยที่ละลายน้ำอยู่ร้อยละ 60.9 และเส้นใยที่ละลายน้ำอยู่ร้อยละ 3.8 เมื่อนำแป้งมะพร้าวเติมลงในอาหารจะมีผลต่อรสชาติอาหารเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุ

ทับทิม อุ่มอรุณ และเบญจมาศ เต็มดี (2544) ได้ทำการทดลองวิจัยทำเส้นบะหมี่เสริมใยอาหารจากน้ำตาลลิ่งและกากน้ำตาลร้อยละ 15 ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 48.66 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 46.33 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยเท่ากับ 3.95 เปอร์เซ็นต์ ไขมันเท่ากับ 2.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอายุการเก็บรักษาโดยเก็บรักษาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนจะเก็บไว้ได้นานกว่าที่อุณหภูมิห้องนานถึง 3 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เชื้อราไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด แต่ที่อุณหภูมิห้องจะพบเชื้อราเกินมาตรฐานที่กำหนด

ฉวีวรรณ สีนาม และภริตา ชุ่มจิต (2546) ได้มีการพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องโดยการเสริมด้วยมะเขือเทศร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับมากที่สุด และมีคุณค่าทางอาหารโปรตีน 5.47 ไขมัน ร้อยละ 3.03 เยื่อใย 5.63 ไขมันร้อยละ 0.74 ความชื้นร้อยละ 4.17 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 86.60

Maiti et al., (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของเทคนิคการเตรียมต่อลักษณะรูปร่างของผลึกนาโนเซลลูโลสจากวัตถุดิบเซลลูโลสสามชนิด คือ 1. China cotton, 2. South African cotton, และ 3 ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยสภาวะกรดโดยไม่มีขั้นตอนการเตรียมวัสดุขึ้นต้น ทำการศึกษาผลของผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้ด้วยเทคนิค transmission electron microscopy (TEM), particle size analysis, X-ray diffraction (XRD) study, thermo gravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetric (DSC) analysis และ Fourier transformed infra red (FTIR) spectroscopy ผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของนาโนเซลลูโลสจากแหล่งที่แตกต่างกันมีลักษณะรูปร่างโดยความยาวอยู่ในช่วง 50 ถึง 200 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10 ถึง 90 นาโนเมตร

Rosa et al., (2010) ทำการเตรียม Cellulose nanowhiskers โดยเทคนิคไฮโดรไลซิสเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริก ทำการศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการสกัดต่อลักษณะของผลึก

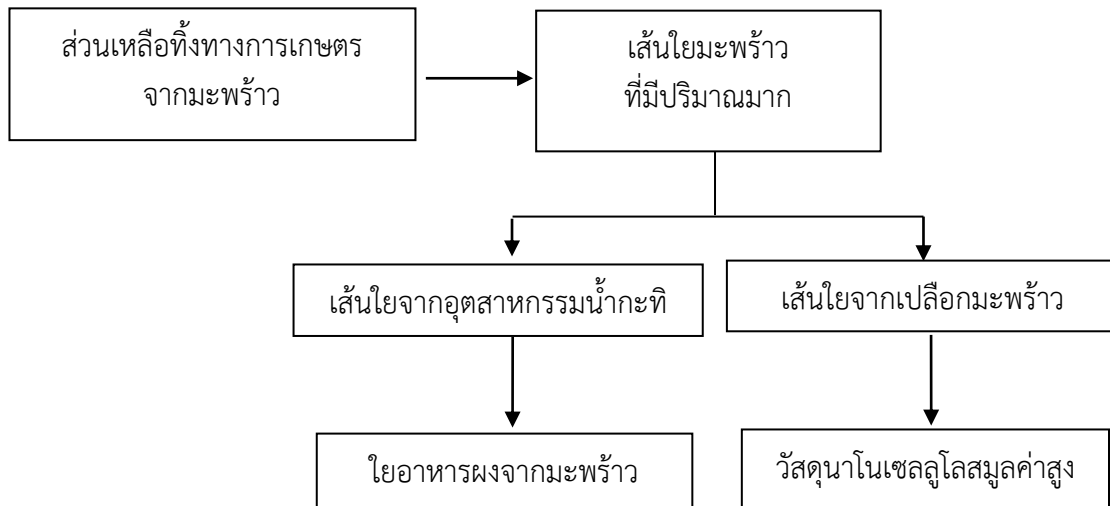
นาโนเซลลูโลสที่ได้ และวิเคราะห์ยืนยันผลการสกัดด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), transmission electron microscopy (TEM), thermogravimetric analysis (TGA) และ X-ray diffraction. ผลที่ได้พบว่าเทคนิคนี้สามารถทำการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวได้ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ใช้ใยมะพร้าวที่เป็นขุยมะพร้าวแก่เพียงอย่างเดียว ซึ่งในการเกษตรของไทยจะมีของเสียเส้นใยมะพร้าวทั้งจากมะพร้าวแก่และมะพร้าวอ่อนเป็นจำนวนมาก

Sheltami et al., (2012) ได้ทำการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากใบ mengkuang (Pandanus tectorius) โดยทำการเตรียมวัสดุขั้นต้นด้วยการทำปฏิกิริยากับเบส จากนั้นจึงทำการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสออกมาด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น ทำการศึกษาผลการสกัดด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy เทคนิค X-ray diffraction. Field emission scanning electron microscopy และเทคนิค transmission electron microscopy ผลที่ได้พบว่าเฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกกำจัดออกไปจากเซลลูโลส และเซลลูโลสที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ถึง 80 ไมโครเมตร โดยที่ผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5 ถึง 25 นาโนเมตร

Silvério et al., (2013) ทำการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่เป็นของเสียอุตสาหกรรมเกษตร โดยเทคนิคการไฮโดรไลซิสด้วยกรด และนำผลการสกัดที่ได้ไปทดสอบการใช้งานด้านการเป็นสารเสริมแรงความแข็งแรงให้กับสารผสมเชิงประกอบระดับนาโนเมตร ได้ทำการศึกษาคาร์บอนไฮดรไลซิสที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งได้รายงานผลการวิจัยเป็นสมบัติการเสริมความแข็งแรงของพอลิเมอร์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผลที่ได้คือ การไฮโดรไลซิสเป็นเวลาหกสัปดาห์เป็นค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้พอลิเมอร์แข็งแรงที่สุดและทนอุณหภูมิได้สูงที่สุด

Neto et al., (2013) ทำการสกัดและศึกษาลักษณะของผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้จากของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรถั่วเหลือง โดยใช้เทคนิคการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟูริก 64 เปอร์เซ็นต์ ทำการศึกษาผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้พบว่าที่การทำปฏิกิริยาเป็นเวลาสี่สัปดาห์ที่ผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้มีความยาวผลึกสั้นที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการทำลายโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสมากที่สุด และที่สภาวะที่ดีที่สุดคือเวลาสามสัปดาห์จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นผลึกสูงถึง 73.5 เปอร์เซ็นต์

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาวัตกรรมการสกัดจากส่วนเหลือทิ้งของมะพร้าว: โยอาหารผงจากมะพร้าว และวัสดุนาโนเซลลูโลส ได้มีการแบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ผลิตรายการ คือ 1) โยอาหารผง และ 2) วัสดุนาโนเซลลูโลส ซึ่งทั้ง 2 ผลิตรายการ ใช้วัตถุดิบ และวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการแยกหัวข้อในวิธีการทดลองเป็น 2 หัวข้อ ตามผลิตรายการ

วัตถุดิบ

1. กากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ จากบริษัท อ่าพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด สำหรับโยอาหารผง
2. เปลือกมะพร้าวแก่ สำหรับวัสดุนาโนเซลลูโลส

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดชนิดนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/Switzerland
2. เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง (Centrifuge) ยี่ห้อ Beckman/USA
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert/USA
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
5. ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ยี่ห้อ 1020 Kjeltac/Foss/Sweden
6. ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ยี่ห้อ Soxtec 2050 Auto Extraction Unit/Sweden
7. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ยี่ห้อ Buchi 412/Switzerland
8. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ยี่ห้อ Furnace 6000 Thermolyne/USA
9. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ยี่ห้อ Novasina TH-500/Switzerland
10. เครื่องวัดค่าสี (Handy colorimeter) ยี่ห้อ NR-300/Japan
11. ตะแกรงร่อนขนาด 20, 25, 35 และ 60 mesh
12. เครื่องกวนสารให้ความร้อน Hot Plate Stirrer Model
13. Büchner funnel
14. กระดาษกรอง Whatman Scheicher & Schuell เบอร์ 1
15. ปั่นร่วน R-300 ยี่ห้อ BOECO Germany
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลิมิชชัน
17. กล้องจุลทรรศน์
18. เครื่องวิเคราะห์การแปลงฟูเรียร์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) Attenuated total reflection (ATR)

19. ลูกบดเซอโคเนี่ยขนาด 5 และ 2 มิลลิเมตร
20. รีแอกเตอร์หม้อบดขนาด 100 มิลลิลิตร
21. รีแอกเตอร์ความดันสูงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิและแรงดัน

สารเคมี

1. เอทานอล (C₂H₅COOH)
2. เฮกเซน (C₆H₁₄)
3. กรดซัลฟูริก (H₂SO₄)
4. คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄)
5. โพตัสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄)
6. โซเดียมไฮโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃)
7. กรดบอริก (H₃BO₃)
8. เมทิลเรด (methyl red)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
10. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
11. อะซีโตน (C₃H₆O)
12. ซีไลท์ (Ag₂CO₃)
13. ออกทานอล (C₈H₁₆O)
14. แกสคาร์บอนไดออกไซด์ ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์

วิธีการทดลอง

ใยอาหารผงจากมะพร้าว

ในการศึกษาการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว

นำกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ จากบริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด มาลดขนาดเบื้องต้นให้ได้ขนาดที่เล็กกว่า 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเพื่อทราบคุณสมบัติของกากมะพร้าวเบื้องต้น ดังนี้

- 1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก1
- 1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก2
- 1.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก3
- 1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก4
- 1.5 ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก5

1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC., 2005 หาได้จากการคำนวณสูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{Carbohydrate} = 100 - (\% \text{Moisture} + \% \text{Protein} + \% \text{Fat} + \% \text{Ash} + \% \text{Fiber})$$

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว

ทำการศึกษานิตของตัวทำละลายและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบสารสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าว โดยนำกากมะพร้าวที่ได้มาต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำการกรองใยอาหารที่ได้ หลังจากนั้นนำใยอาหารที่ได้มาสกัดไขมันออก โดยทำการศึกษานิตตัวทำละลาย 2 ชนิดในการสกัดไขมัน คือ เฮกเซนและเอทานอล ดังนี้

2.1 การสกัดไขมันโดยใช้เอทานอล

นำกากมะพร้าวแช่ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 20:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (ตัวทำละลาย : กากมะพร้าว) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการใช้เครื่องกวนสาร (Stirrer) ในระหว่างที่แช่ จากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบางและบีบเอาสารละลายออก หลังจากนั้นล้างสารสกัดที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและบีบน้ำกลั่นออก แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 (มอก. 832-2548)

2.2 การสกัดไขมันโดยใช้เฮกเซน

นำกากมะพร้าวแช่ในเฮกเซน ในอัตราส่วน 20:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (ตัวทำละลาย : กากมะพร้าว) โดยทำการสกัด 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการใช้เครื่องกวนสาร (Stirrer) ในระหว่างที่แช่ จากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบางและบีบเอาสารละลายออก หลังจากนั้นล้างสารสกัดที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและบีบน้ำกลั่นออก แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 (มอก. 832-2548)

หลังจากนั้นนำสารสกัดที่ได้จากตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดมาวิเคราะห์คุณสมบัติ ดังนี้

- 1) ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield)
- 2) ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก3
- 3) ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก1
- 4) ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- 5) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้ pH meter
- 6) ค่าสีด้วยระบบ Hunter (L, a ,b) โดยเครื่อง Handy Colorimeter ดังแสดงใน

ภาคผนวก ข1

3. ศึกษาขนาดของใยอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากกากมะพร้าว

ทำการคัดเลือกตัวอย่างจากสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันด้วยเอทานอลและเฮกเซนมาอย่างละ 1 สภาวะ จากนั้นนำมาไม่และลดขนาด โดยมีการศึกษาขนาดของใยอาหารอยู่ในช่วง 200-1000 ไมโครเมตร โดยใช้ตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 20, 25, 35 และ 60 mesh เพื่อให้ได้ขนาดที่ 850, 710, 500 และ 250 ไมโครเมตร ตามลำดับ และนำตัวอย่างขนาดต่าง ๆ มาวิเคราะห์ ดังนี้

3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ตามวิธีของ Ang, 1991a โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แยกของเหลวออก และชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) ตามวิธีของ Ang, 1991b โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำมันปาล์ม 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แยกของเหลวออก และชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

3.3 ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) ตามวิธีของ Robertson et al., 2000 โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 18 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แยกของเหลวออก และชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและลักษณะพื้นฐานของโยอาอาหารจากกากมะพร้าว ทำการคัดเลือกขนาดของโยอาอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสมมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวที่ได้จากข้อ 1 โดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

4.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก1

4.1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก2

4.1.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก3

4.1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก4

4.1.5 ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC., 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก5

4.1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC., 2005 หาได้จากการคำนวณสูตรฯ ดังต่อไปนี้

$$\% \text{Carbohydrate} = 100 - (\% \text{Moisture} + \% \text{Protein} + \% \text{Fat} + \% \text{Ash} + \% \text{Fiber})$$

4.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นฐาน

ทำการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังแสดงในภาคผนวก ข2

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการศึกษาโยอาอาหารผงจากมะพร้าวได้ทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและคุณสมบัติของโยอาอาหาร การศึกษาขนาดของโยอาอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาอาหาร และการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโยอาอาหาร มีการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) และมีการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ SPSS version 16

วัสดุนาโนเซลลูโลส

ในการสกัดแยกนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวแก่มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 3.1)

1. การเตรียมวัตถุดิบเปลือกมะพร้าว

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างเปลือกมะพร้าวในท้องตลาดเพื่อทำการเลือกเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างเปลือกมะพร้าว และทำการย่อยลดขนาดเปลือกมะพร้าวให้เป็นผงขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำการสกัดแยกเซลลูโลส

2. ศึกษาการสกัดแยกกลินิน

นำตัวอย่างผงเปลือกมะพร้าวมาทำการสกัดแยกกลินินด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ตัวทำละลายกรด และเบส โดยมีขั้นตอนการสกัด ดังนี้

2.1 การสกัดกลินินด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำโดยนำผงเปลือกมะพร้าว 2 กรัม ใส่ในรีแอกเตอร์ขนาดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่สภาวะความดัน 1300 psi อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายกรดที่สภาวะ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำโดยนำผงเปลือกมะพร้าว 5 กรัม แช่ในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5% และ 10% H_2O_2 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบกับตัวทำละลาย น้ำ เอทานอล และ 50% เอทานอลโดยปริมาตร

2.3 การสกัดด้วยตัวทำละลายเบสที่สภาวะ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำโดยนำผงเปลือกมะพร้าว 5 กรัม แช่ใช้สารละลาย 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และทำการเปรียบเทียบการใช้ตัวทำละลาย น้ำ เอทานอล และ 50% เอทานอลโดยปริมาตร

3. การสกัดอนุภาคนาโนเซลลูโลส

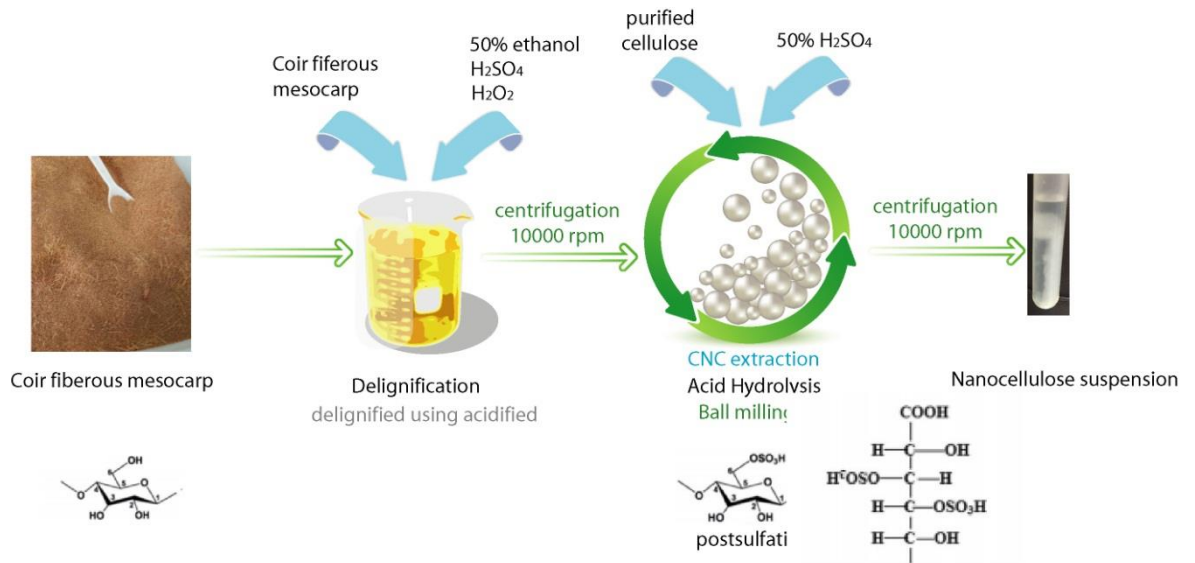
นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกกลินินที่ดีที่สุดมาทำการสกัดเซลลูโลส ดังนี้

3.1 ทำการสกัดเซลลูโลสด้วยเทคนิคการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการบดด้วยลูกบด โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 58% โดยน้ำหนัก (ประมาณ 33% โดยปริมาตร) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ผงเปลือกมะพร้าว 0.4 กรัม ใช้ลูกบดเซอโคเนียผสมขนาด 5 และ 2 มิลลิเมตร ในโถบดขนาด 100 มิลลิลิตร โดยทำการปรับความเร็วรอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดการตกกระทบที่ดีที่สุด หรือ 90% ของความเร็วรอบที่ลูกบดเริ่มตก

3.2 นำตัวอย่างที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีสภาวะเป็นกลาง จากนั้นล้างด้วยเอทานอล 2 รอบ

3.3 ทำการศึกษายืนยันผลการสกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ และ Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) โดยทำการศึกษาที่เลขคลื่น 500 ถึง 4000

3.4 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในการสกัดแยกผลึกนาโนเซลลูโลส



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองสกัดนาโนเซลลูโลสและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

สถานที่ทำการทดลอง

1. หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
2. ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
3. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ใยอาหารผงจากมะพร้าว

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว

กากมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท อ่าพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด ซึ่งเป็นกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ มีลักษณะเป็นขุยสีขาว บดหยาบและค่อนข้างแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะกากมะพร้าว

กากมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีการสกัดเอาไขมันออกเพียงอย่างเดียว เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบในการคั้นกะทิ ดังนั้นจึงยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ เหลืออยู่ จึงได้มีการนำกากมะพร้าวมาลดขนาดเบื้องต้นให้ได้ขนาดที่เล็กกว่า 3 มิลลิเมตร และทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC., 2005 เพื่อทราบคุณค่าทางโภชนาการที่เหลืออยู่ในกากมะพร้าว จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวที่ได้หลังจากการคั้นกะทิที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาคือ ไขมัน และเส้นใย อยู่ที่ 29.40 23.39 และ 22.60% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว

คุณค่าทางโภชนาการ	กากมะพร้าว (% โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	7.94 ± 0.16
โปรตีน	6.23 ± 0.79
ไขมัน	23.39 ± 1.44
เถ้า	10.44 ± 0.13
ใยอาหาร	22.60 ± 1.78
คาร์โบไฮเดรต	29.40 ± 1.60

จากผลการทดลอง พบว่า กากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ ถือว่าเป็นของแห้ง (ปริมาณความชื้นอยู่ที่ 7.94% โดยน้ำหนัก) และเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการสกัดใยอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการในส่วนของใยอาหารอยู่ในปริมาณสูงถึง 22.60% โดยน้ำหนัก และเมื่อนำกากมะพร้าวไปวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (IDF) และปริมาณใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (SDF) ตามวิธีของ AOAC., 2010 โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด พบว่า มีปริมาณใยอาหารอยู่ที่ 84.41 และ 2.43 g/100g ตามลำดับ แสดงว่าใยอาหารที่อยู่ในกากมะพร้าวเป็นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามจากผลของคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว พบว่า ยังคงมีปริมาณสารชนิดอื่น ได้แก่ ปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ในปริมาณที่สูงอยู่ จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดออกจากกากมะพร้าว เพื่อให้ได้ปริมาณเส้นใยในสารสกัดมากที่สุด

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมะพร้าว

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันและอนุภูมิภาคที่เหมาะสมต่อการอบสารสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าว รวมถึงนำสารสกัดใยอาหารที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ โดยขั้นแรกได้นำกากมะพร้าวที่ได้มาต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำการกรองใยอาหารที่ได้ ซึ่งเป็นการกำจัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ออกจากวัตถุดิบ (Tejada-Ortigoza et al., 2016) หลังจากนั้นเมื่อพิจารณาจากคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว (ตารางที่ 4.1) พบว่า ยังคงมีปริมาณไขมันอยู่ในกากมะพร้าวเป็นปริมาณมาก จึงได้นำกากมะพร้าวมาทำการศึกษาการสกัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิดในการสกัด คือ เฮกเซนและเอทานอล

1. การสกัดไขมันโดยใช้เอทานอล

วิธีในการสกัดไขมันมีด้วยกันหลายวิธี แต่การใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายจะไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากเอทานอลสามารถระเหยได้ง่าย เอทานอลผลิตมาจากวัตถุดิบที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล เช่น มันสำปะหลัง อ้อย กากน้ำตาล ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน สามารถรับประทานได้ (สิริวุทธิ์ เสียมภักดี, 2552) จึงได้ทำการเลือกใช้เอทานอลเป็นสารในการสกัดไขมันจากกากมะพร้าว โดยใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 20:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก

(ตัวทำละลาย : กากมะพร้าว) หลังจากนั้นทำการกรองและนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์ที่คุณสมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติ	กากมะพร้าว	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)		
	(Control)	50	65	80
ร้อยละผลผลิต (% yield)	100 ^a	82.14±1.14 ^b	79.18±1.08 ^b	80.94± 0.92 ^b
ปริมาณไขมัน (%)	23.39±1.44 ^a	6.71±1.57 ^c	9.55±0.87 ^b	6.29±0.64 ^c
ปริมาณความชื้น (%)	7.94±0.16 ^b	7.12±0.03 ^c	8.24±0.09 ^a	6.60±0.14 ^d
ปริมาณน้ำอิสระ	0.72±0.00 ^a	0.53±0.00 ^c	0.55±0.00 ^b	0.50±0.00 ^d
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	7.13±0.01 ^a	6.33±0.08 ^b	6.20±0.04 ^c	6.10±0.02 ^d
ค่าสี				
L	70.44±0.32 ^c	73.28±0.45 ^a	70.72±0.45 ^c	72.62±0.13 ^b
a ^{ns}	-0.52±0.13	-0.24±0.19	-0.52±0.33	-0.50±0.07
b	2.94±0.48 ^b	3.54±0.17 ^a	2.90±0.35 ^b	2.26±0.32 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 พบว่า ใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield) สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ พบว่าใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โดยปริมาณไขมันสามารถลดลงได้ถึง 71.31-73.11% เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันเริ่มต้นในกากมะพร้าว ปริมาณน้ำอิสระของใยอาหารที่สกัดได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระที่ใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.50-0.55 โดยมีค่าที่ต่ำกว่ากากมะพร้าว (0.72) โดยปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ไม่ควรเกิน 0.6 (วิลเลียงสาตทอง, 2543) แสดงว่าใยอาหารที่สกัดได้สามารถเก็บได้นาน ปลอดภัยจากการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ สำหรับค่า pH ของใยอาหารที่สกัดได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 6.10-6.33 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างเป็นกลาง ต่ำกว่ากากมะพร้าวเล็กน้อย เนื่องด้วยได้มีการล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการอบแห้งเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดต่างของสารสกัด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่าสีของใยอาหารที่ได้ พบว่าใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความสว่าง (ค่า L) และความเป็นสีเหลือง (ค่า b) ที่มากกว่าใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความขาวที่มากกว่าสภาวะในการอบแห้งอื่น รวมถึงกากมะพร้าว (control) อาจเนื่องมาจากในกากมะพร้าวมีองค์ประกอบอื่นปนเปื้อนอยู่ ส่งผลให้ค่าสีมีความเข้มกว่าสารที่สกัดได้

2. การสกัดไขมันโดยใช้เฮกเซน

วิธีในการสกัดไขมันมีด้วยกันหลายวิธี แต่การใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายมักเป็นที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันและไขมัน เนื่องจากเฮกเซนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว สามารถละลายได้ดีในกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมันและไขมัน จึงได้ทำการเลือกใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในการสกัดไขมันจากกากมะพร้าว โดยใช้เฮกเซน ในอัตราส่วน 20:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (ตัวทำละลาย : กากมะพร้าว) หลังจากนั้นทำการกรองและนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของโยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติ	กากมะพร้าว	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (°C)		
	(Control)	50	65	80
ร้อยละผลผลิต (% yield)	100	80.60	79.23	75.23
ปริมาณไขมัน (%)	23.39±1.44 ^a	6.43±0.13 ^d	8.58±0.24 ^b	7.80±0.23 ^c
ปริมาณความชื้น (%)	7.94±0.16 ^a	8.02 ±0.05 ^a	7.50 ± 0.06 ^b	6.28 ± 0.81 ^c
ปริมาณน้ำอิสระ	0.72±0.00 ^a	0.30±0.01 ^b	0.20±0.00 ^c	0.13±0.00 ^d
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	7.13±0.01 ^a	6.73±0.06 ^b	6.44±0.02 ^c	6.47±0.04 ^c
ค่าสี				
L	70.44±0.32 ^a	63.37±0.86 ^c	65.61±0.75 ^b	64.41±0.83 ^{bc}
a	-0.52±0.13 ^a	-0.73±0.20 ^{ab}	-0.37±0.32 ^a	-0.70±0.41 ^{ab}
b	2.94±0.48 ^b	5.46±0.05 ^a	5.00±0.52 ^a	5.30±0.62 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 พบว่า โยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield) สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ พบว่าโยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับโยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส โดยปริมาณไขมันสามารถลดลงได้ถึง 63.32-72.51% เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันเริ่มต้นในกากมะพร้าว ปริมาณน้ำอิสระของโยอาหารที่สกัดได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระที่ใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.13-0.30 โดยมีค่าที่ต่ำกว่ากากมะพร้าว (0.72) แสดงว่าโยอาหารที่สกัดได้สามารถเก็บได้นาน ปลอดภัยจากการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ สำหรับค่า pH ของโยอาหารที่สกัดได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 6.44-6.73 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างเป็นกลาง ต่ำกว่ากากมะพร้าวเล็กน้อย เนื่องด้วยได้มีการล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการอบแห้ง เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดต่างของสารสกัด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่าสีของโยอาหารที่ได้ พบว่าโยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส มีความสว่าง (ค่า L) ที่มากกว่าโยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ความเป็นสีเหลือง (ค่า b) และสีแดง (ค่า a) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 80 องศาเซลเซียส มีความขาวที่มากกว่าสถานะในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเล็กน้อย แต่คล้ำกว่ากากมะพร้าว (control)

ขนาดของใยอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากกากมะพร้าว

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า สภาวะที่มีปริมาณไขมันเหลือน้อยที่สุดในการสกัดไขมันด้วยเอทานอล คือ อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณไขมันที่น้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการสกัดไขมันด้วยเฮกเซน คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ในตัวทำละลายทั้ง 2 สภาวะมาทำการโม่และลดขนาด โดยมีการศึกษาขนาดของใยอาหารอยู่ในช่วง 200-1000 ไมโครเมตร โดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 20, 25, 35 และ 60 mesh เพื่อให้ได้ขนาดที่ 850, 710, 500 และ 250 ไมโครเมตร ตามลำดับ และนำตัวอย่างขนาดต่าง ๆ มาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้ผลดังตารางที่ 4.4 สำหรับใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล และตารางที่ 4.5 สำหรับใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ที่ขนาดของใยอาหารที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติเชิงหน้าที่	ขนาดของใยอาหาร (ไมโครเมตร)				
	control	850	710	500	250
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g water/g sample)	8.30±0.08 ^c	9.22±0.10 ^b	9.19±0.09 ^b	10.39±0.12 ^a	9.10±0.14 ^b
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (g oil/g sample)	4.24±0.04 ^a	4.38±0.22 ^a	4.21±0.03 ^a	4.16±0.12 ^a	3.80±0.22 ^b
ความสามารถในการพองตัว (g water/g sample)	8.62±0.31 ^c	9.29±0.25 ^b	9.64±0.10 ^b	10.63±0.63 ^a	8.89±0.06 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่าใยอาหารที่สกัดด้วยเอทานอล ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวดีที่สุด แตกต่างกับใยอาหารขนาดอื่น ๆ และกากมะพร้าว (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่าใยอาหารที่ขนาด 500-850 ไมโครเมตร และกากมะพร้าว (control) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกับใยอาหารที่ขนาด 250 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ที่ขนาดของโยอาหารที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติเชิงหน้าที่	ขนาดของโยอาหาร (ไมโครเมตร)				
	control	850	710	500	250
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g water/g sample)	8.30±0.08 ^d	9.09±0.14 ^c	9.81±0.29 ^b	10.35±0.06 ^a	8.96±0.17 ^c
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (g oil/g sample)	4.24±0.04 ^b	3.46±0.45 ^c	3.53±0.02 ^c	4.23±0.35 ^{abc}	4.63±0.08 ^a
ความสามารถในการฟองตัว (g water/g sample)	8.62±0.31 ^c	9.74±0.28 ^b	10.04±0.09 ^{ab}	10.51±0.43 ^a	8.62±0.21 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่าโยอาหารที่สกัดด้วยเฮกเซน ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีที่สุด แตกต่างกับโยอาหารขนาดอื่น ๆ และกากมะพร้าว (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีความสามารถในการฟองตัวดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับโยอาหารที่ขนาด 710 ไมโครเมตร แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่าโยอาหารที่ขนาด 250 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับโยอาหาร ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร

เมื่อพิจารณาภาพรวมของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหาร ที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน พบว่า โยอาหารที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเฉพาะในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ และการฟองตัวดีกว่าโยอาหารขนาดอื่น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหาร ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดของโยอาหาร ปริมาณอิเล็กโตรไลต์ และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2558)

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและลักษณะสัณฐานของโยอาหารจากกากมะพร้าว

จากการศึกษาขนาดของโยอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหาร พบว่าโยอาหารที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านต่าง ๆ ดีกว่าขนาดอื่น จึงได้คัดเลือกโยอาหาร ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร ที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซนมาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1. คุณค่าทางโภชนาการ

เพื่อทราบถึงคุณค่าทางองค์ประกอบทางเคมีของโยอาหารที่สกัดได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน และเปรียบเทียบกับกากมะพร้าว (control) ที่ได้จากตารางที่ 4.1 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

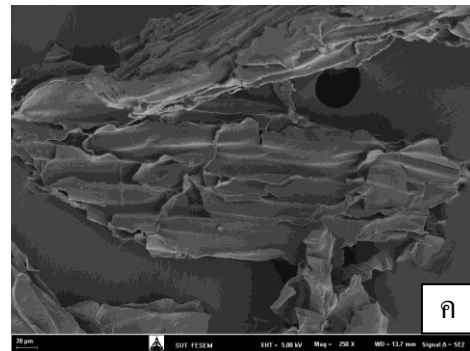
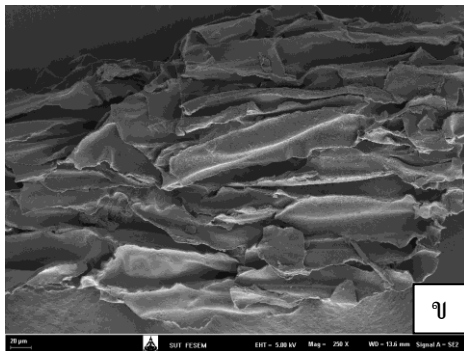
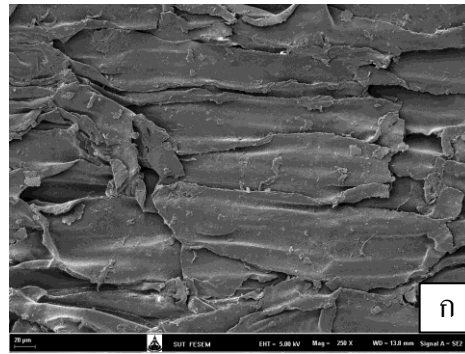
ตารางที่ 4.6 คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวและโยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน

คุณค่าทาง โภชนาการ	กากมะพร้าว	โยอาหาร	
		สกัดด้วยเอทานอล	สกัดด้วยเฮกเซน
ความชื้น (%)	7.94 ^a ± 0.16	7.12 ^b ± 0.03	8.02 ^a ± 0.04
โปรตีน (%)	6.23 ^a ± 0.79	5.34 ^b ± 0.06	5.35 ^b ± 0.05
ไขมัน (%)	23.39 ^a ± 1.44	6.71 ^b ± 1.57	6.43 ^b ± 0.13
เถ้า (%)	10.44 ^a ± 0.13	0.19 ^b ± 0.02	0.23 ^b ± 0.07
เส้นใย (%)	22.60 ^b ± 1.78	53.24 ^a ± 2.39	52.07 ^a ± 1.71
คาร์โบไฮเดรต (%) ^{ns}	29.40 ± 1.60	27.39 ± 1.14	27.90 ± 1.55

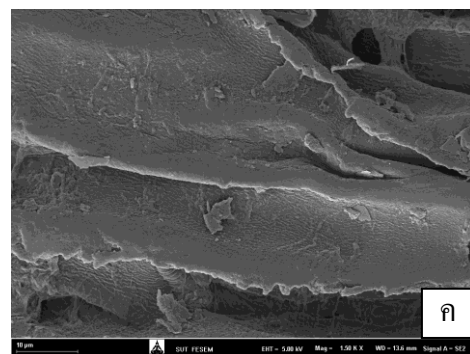
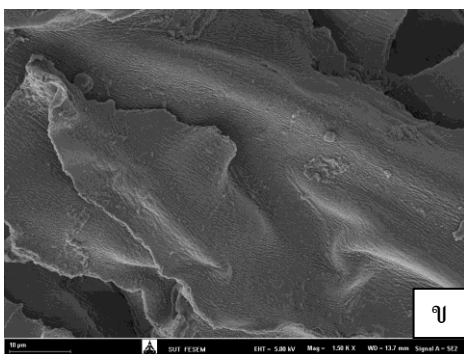
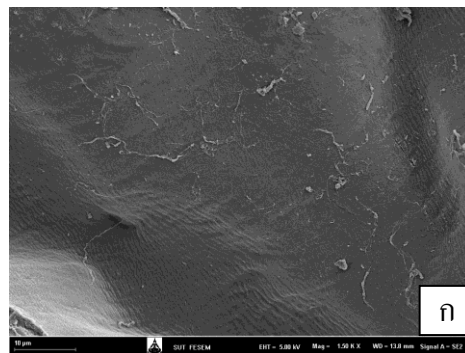
จากผลการทดลอง พบว่า โยอาหารที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซนมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเทียบกับกากมะพร้าว (control) พบว่า โยอาหารที่ได้มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยที่แตกต่างกับกากมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะปริมาณไขมันที่ลดลงและปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยปริมาณเส้นใยในโยอาหารที่สกัดได้ (52.07-53.24%) เพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า เมื่อเทียบกับกากมะพร้าวเริ่มต้น (22.60%) เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีที่เหลืออยู่ในโยอาหารที่สกัดได้ พบว่าขั้นตอนในกระบวนการสกัดช่วยในการแยกปริมาณไขมัน และเถ้าออกจากกากมะพร้าวได้เป็นส่วนใหญ่ ปริมาณโปรตีนลดลงเล็กน้อย แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในโยอาหารและกากมะพร้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่ากระบวนการสกัดไม่สามารถแยกคาร์โบไฮเดรตออกได้

2. ลักษณะพื้นฐาน

เพื่อทราบถึงลักษณะโครงสร้างของโยอาหารที่สกัดได้จากกากมะพร้าว จึงได้นำโยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มาทำการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SME) ที่กำลังขนาด 250X และ 1500X (เท่า) และเปรียบเทียบกับกากมะพร้าว (control) ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.2-4.3



ภาพที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานของใยอาหาร ขนาด 500 ไมโครเมตร กำลังขยาย 250X (เท่า)
 ก. กากมะพร้าว (Control) ข. ใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ค. ใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานของใยอาหาร ขนาด 500 ไมโครเมตร กำลังขยาย 1500X (เท่า)
 ก. กากมะพร้าว (Control) ข. ใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ค. ใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซน

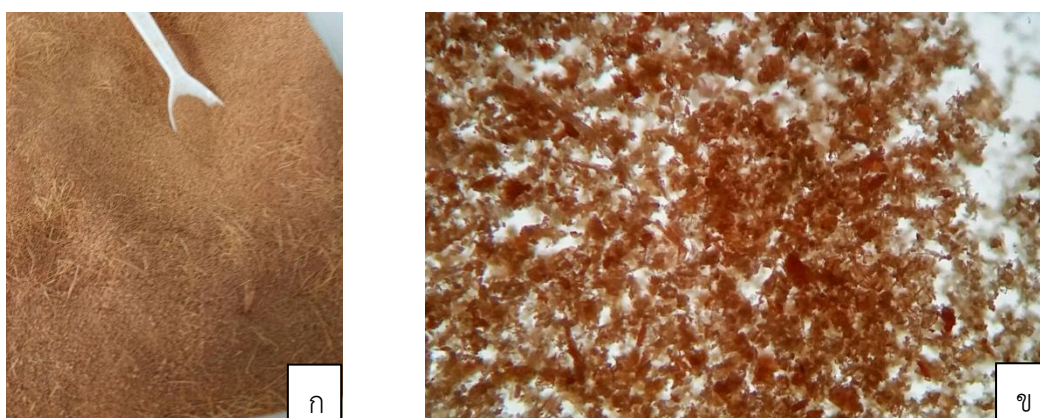
จากผลการทดลอง พบว่าใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน มีขนาดเล็ก ลักษณะโครงสร้างโค้งงว้าง และมีการม้วนพับมากกว่ากากมะพร้าว (control) ซึ่งคล้ายกับกากมะพร้าวที่มีการดัดแปลงทางกายภาพ (สุนทรรา ชุมแวงวาปี และคณะ, 2556) และกากมะพร้าวที่มีการบดให้ได้ขนาด 550 ไมโครเมตร (Raghavendra et al., 2006) ซึ่งลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของใยอาหารจากกากมะพร้าว ช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวของใยอาหาร นอกจากนี้การสกัดไขมันออกโดยใช้ตัวทำละลาย ส่งผลให้โครงสร้างของใยอาหารมีลักษณะที่บาง โปร่ง ไม่เกาะกันเป็นแผ่น ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Raghavendra et al. (2006) ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวดีขึ้น

2. วัสดุนาโนเซลลูโลส

การเตรียมวัสดุติบเปลือกมะพร้าว

ผลการศึกษาเพื่อเลือกตัวอย่างเปลือกมะพร้าวพบว่า มีตัวอย่างเปลือกมะพร้าวสองประเภทในท้องตลาดที่พบบ่อยที่สุด คือ เปลือกมะพร้าวชนิดมะพร้าวอ่อนกินน้ำและเปลือกมะพร้าวแก่ชนิดทำกะทิหรือมะพร้าวแก่ โดยเปลือกมะพร้าวแก่จะมีปริมาณมากที่สุดเนื่องจากเปลือกมะพร้าวอ่อนจะกระจายตามแหล่งจำหน่ายปลีกซึ่งไม่ได้รวมเป็นปริมาณมากในทีเดียว เปลือกมะพร้าวแก่จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำการศึกษา

จากการศึกษาการย่อยเปลือกมะพร้าวให้ได้ขนาดเล็ก พบว่า เทคนิคโดยทั่วไป เช่น เครื่องสับเครื่องบด ไม่สามารถย่อยเปลือกมะพร้าวให้มีลักษณะเป็นผงได้ เนื่องจากเปลือกมะพร้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียว ผลการทดลองย่อยขนาดเพื่อให้ได้ผลเปลือกมะพร้าว พบว่าสามารถทำได้โดยการปรับปรุงลักษณะเปลือกและใช้การย่อยด้วย grinding mill machine ซึ่งจะได้ตัวอย่างผงละเอียดและมีความสม่ำเสมอสูง ดังแสดงในภาพที่ 4.4



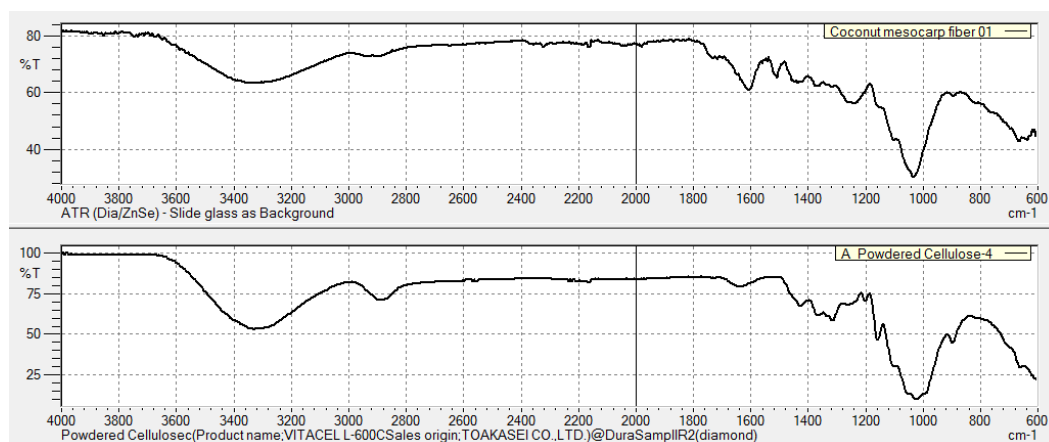
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายตัวอย่างผงเปลือกมะพร้าวแก่ที่ทำการบดย่อยแล้ว (ก) และภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ข)

การสกัดแยกกลินิน

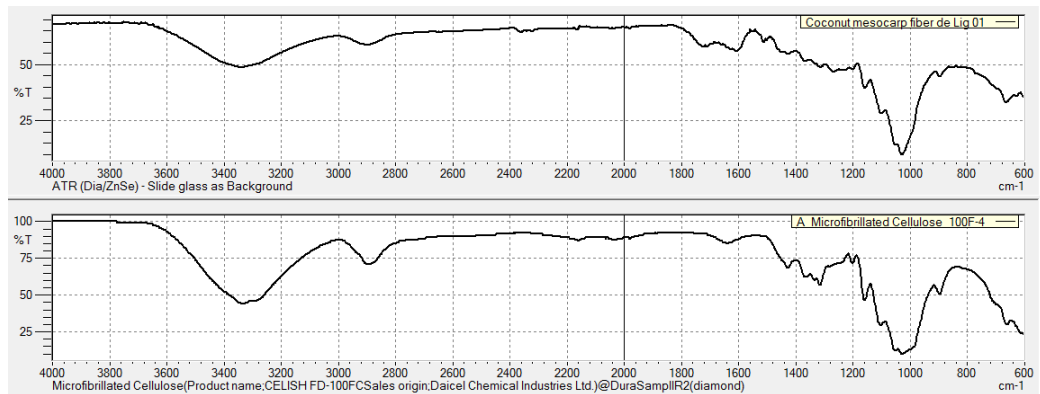
ผลการศึกษาทดลองการสกัดแยกกลินินออกจากเปลือกมะพร้าวด้วย ตัวทำละลายเอทานอล ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แรงดันสูง พบว่าสารละลายที่ได้มีสีน้ำตาลเหลืองและมีสีที่เจือจางมาก เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายกรดและเบส ผลการศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ 50% เอทานอล และตัวทำละลายเอทานอล ในสภาวะกรดซัลฟิวริก และสภาวะเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า การใช้ตัวทำละลาย 50% เอทานอลในสภาวะกรดซัลฟิวริกและเบส ที่ความเข้มข้น 5% กรดซัลฟิวริก 2% H_2O_2 และ 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ โดยที่เงื่อนไขในสภาวะกรดจะพบว่ามีลักษณะของสีแยกออกจากตะกอนและตกตะกอนได้ง่าย ส่วนในสภาวะเบสสารจะมีลักษณะหนืดข้นและมีสีดำเข้มซึ่งคาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการทำให้เสียสภาพได้

วิจัยจึงได้เลือกนำสารตัวอย่างที่ได้จากการสกัดแยกกลินินด้วยกรดซัลฟิวริกมาทำการกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น โดยทำการสกัดซ้ำอีกสองรอบ และทำการสกัดโดยเพิ่มความเข้มข้นของกรดเป็น 10% และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% โดยปริมาตร อีกสองรอบ ซึ่งจะสังเกตพบว่าสีของสารละลายที่สกัดเริ่มใสไม่มีสี จากนั้นจึงล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมีสภาวะเป็นกลาง และล้างด้วยเอทานอลต่อเป็นจำนวนสองรอบ นำไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการสกัดย่อยด้วยสภาวะนี้พบว่าปริมาณของสารที่เหลือมีมวลเท่ากับ 2.17 กรัม โดยเฉลี่ย จากปริมาณสารตั้งต้น 5.00 กรัม

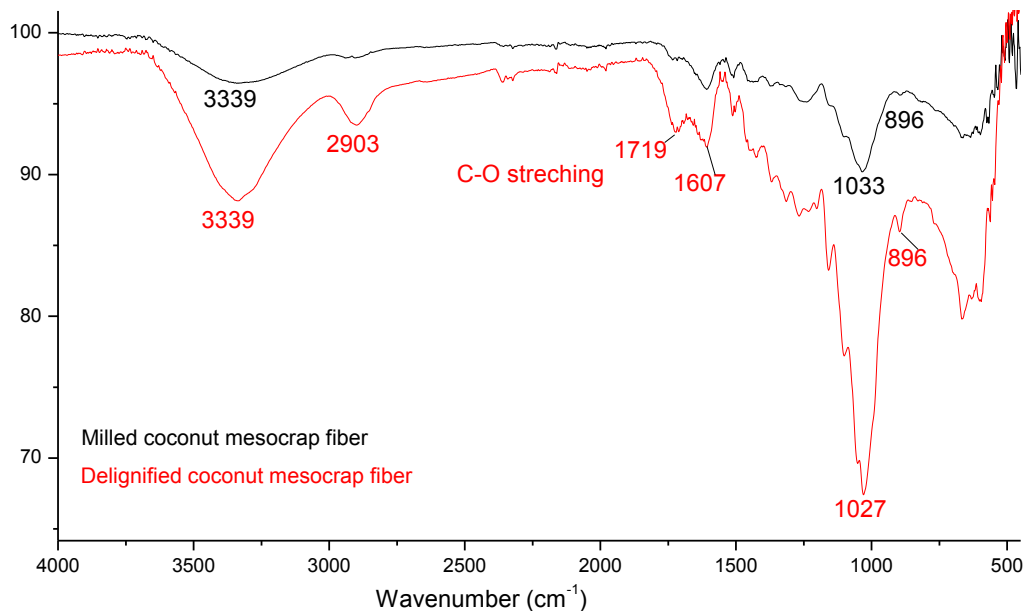
ผลการนำสารตัวอย่างผงเปลือกมะพร้าวที่บดแล้วและหลังจากการแยกกลินินด้วยสภาวะกรดซัลฟิวริกแล้วมาวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเทคนิค FTIR-ATR พบว่าองค์ประกอบหลักของผงเปลือกมะพร้าวบดมีรูปแบบสอดคล้องกับรูปแบบของสารมาตรฐานผงเซลลูโลส (Powdered Cellulose) เมื่อทำการสกัดเอากลินินออกแล้วพบว่าสารตัวอย่างที่ได้มีรูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเปลี่ยนไป ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งสอดคล้องกับสารมาตรฐานเส้นใยไมโครเซลลูโลส (Microfibrillated Cellulose) มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และ 4.6



ภาพที่ 4.5 กราฟ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่ได้จากการบดแล้ว (บน)
กราฟสารมาตรฐานผงเซลลูโลส (ล่าง)



ภาพที่ 4.6 กราฟ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่ได้จากสกัดลิกนินออกแล้ว (บน)
กราฟสารมาตรฐานเส้นใยไมโครเซลลูโลส (ล่าง)



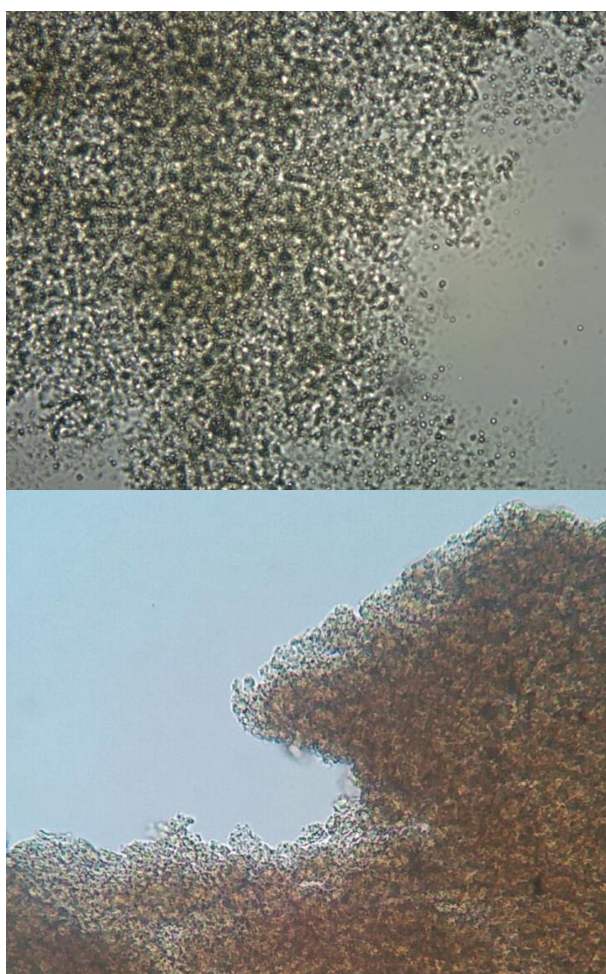
ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้ว (กราฟสีดำ)
และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก (กราฟสีแดง)

จากภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR สเปกตราของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้วและหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก แบนระหว่างเลขคลื่น 3200 ถึง 3500 cm^{-1} เป็นสัญญาณโหมดการสั่นอัสสมิมาตรแบบ O-H stretching ของหมู่ OH ในโมเลกุลเซลลูโลส และสัญญาณโหมดการสั่นของ C-H stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 2903 cm^{-1} สัญญาณในเลขคลื่นในช่วง 1360 cm^{-1} เป็นสัญญาณโหมดการสั่นของ C-H และ C-O bending ของวง polysaccharide aromatic rings ของฟลิกนาโนเซลลูโลส ยืนยันว่าเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวมีส่วนประกอบของฟลิกนาโนเซลลูโลส สัญญาณการดูดกลืนที่เลขคลื่นในช่วง 1027 เกิดจาก C-O-C pyranose ring ซึ่งเป็นโหมดการสั่น stretching antiymmetric in phase ring โดยในตัวอย่างเซลลูโลสที่เอาลิกนินออกไปแล้ว มีสัญญาณการดูดกลืนที่เข้มกว่าแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณสัดส่วนของผลึกเซลลูโลสมากขึ้น อย่างไรก็ตาม

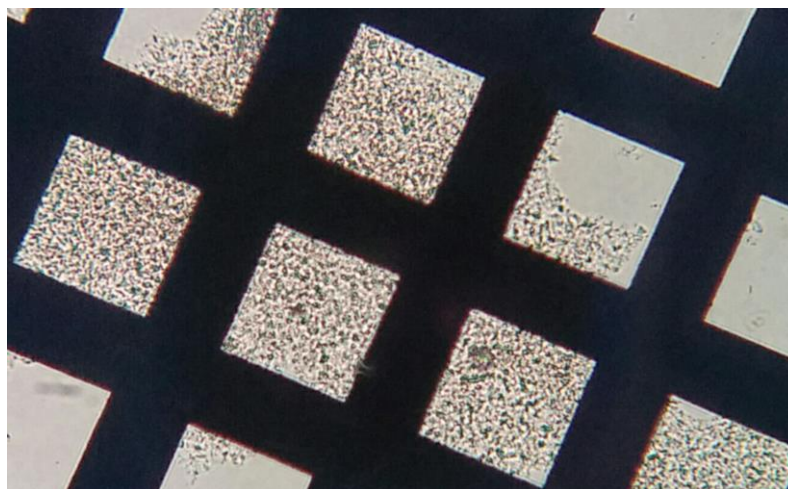
ตามอาจมีผลเนื่องจากลักษณะของตัวอย่างที่ทำการแยกกลีตินออกมีลักษณะอนุภาคที่เล็กและเป็นผงที่ละเอียดขึ้นทำให้สัญญาณการดูดกลืนอินฟราเรดเพิ่มขึ้นด้วย

การสกัดอนุภาคนาโนเซลลูโลส

ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์การสกัดอนุภาคนาโนเซลลูโลสด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกโดยเทคนิคการบดด้วยลูกบด พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะขนาดเล็กซึ่งมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคสม่ำเสมอตลอดทั้งหมดดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 4.8 และ 4.9 ที่กำลังขยาย 400 เท่า

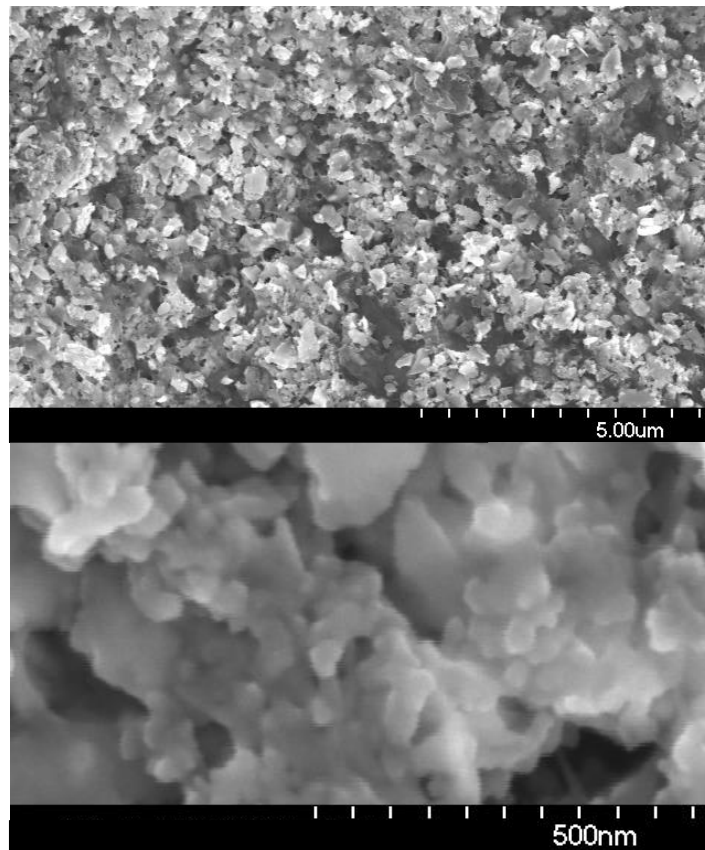


ภาพที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้ที่กำลังขยาย 400 เท่า

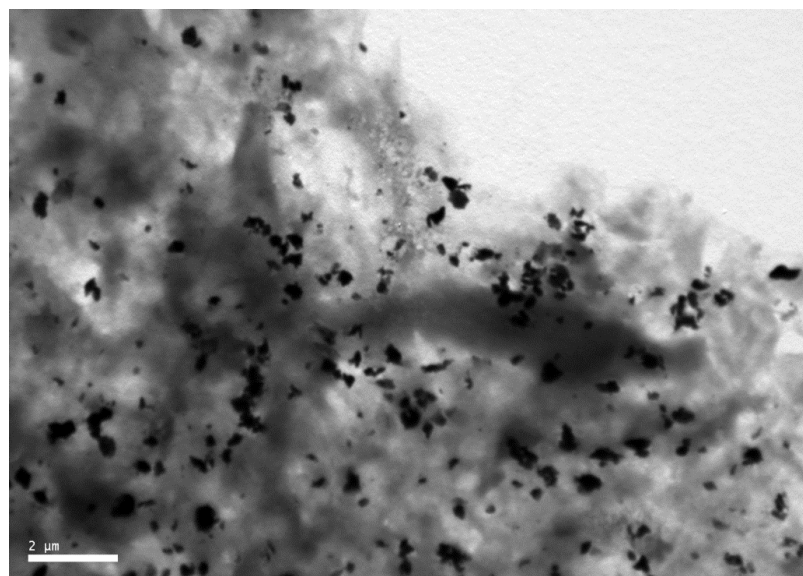


ภาพที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้ที่กำลังขยาย 400 เท่า เปรียบเทียบกับกริดคอปเปอร์ขนาด 300 mesh

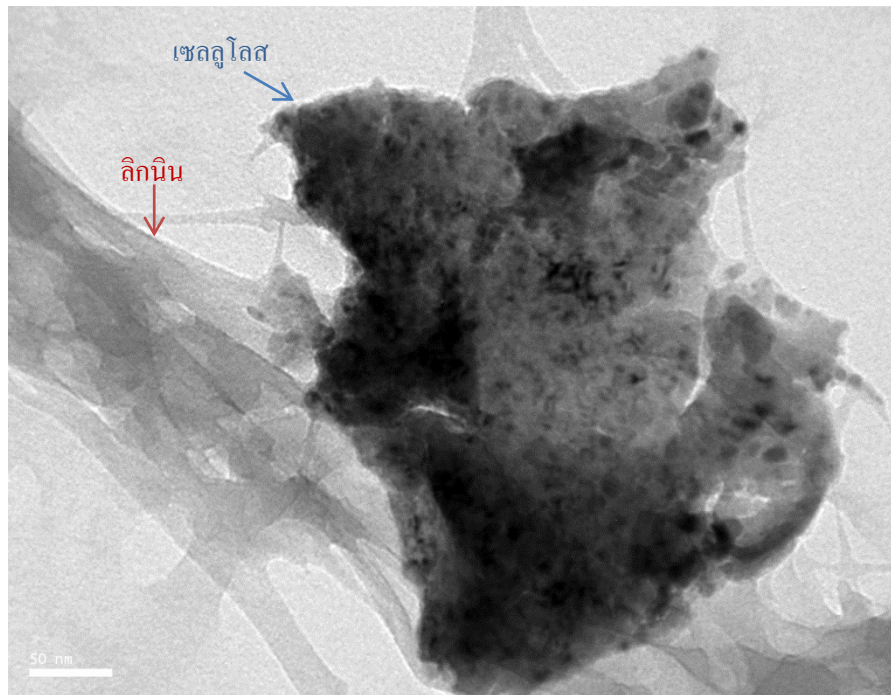
ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าขนาดของอนุภาคที่ชัดเจนขึ้น โดยอนุภาคที่ได้มีโครงสร้างขนาด 50 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นเท่า (บน) และหนึ่งแสนเท่า (ล่าง) ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะคล้ายทรงกลมมีความสม่ำเสมอสูง และมีลักษณะของการเคลือบติดเป็นก้อนเดียวกัน อาจเกิดมาจากลิกนินที่เหลืออยู่ในสารละลาย ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะพบว่าอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่ได้เกิดจากการเกาะกันของส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลสที่มีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และ 4.12 โดยเกิดจากลิกนินที่เหลือทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้เกิดการเกาะกันของอนุภาคนาโนเซลลูโลส ดังแสดงในภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและแสดงรูปแบบรีวกการแทรกสอดของอิเล็กตรอนของผลึกนาโนเซลลูโลสจากรูปแบบรีวกการแทรกสอดของอิเล็กตรอน (Debye ring) ในภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคผลึกนาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกที่สูงซึ่งจากรูปแบบการแทรกสอดอิเล็กตรอนสอดคล้องกับโครงสร้างของผลึกนาโนเซลลูโลสแบบ cellulose I และ cellulose II และแสดงความเป็นอสัณฐานร่วมด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาจจะมีสองเฟสผสมกันร่วมกับเฟสอสัณฐานด้วย โดยการเกิดเฟส cellulose II จากแรงเชิงกลในกากระบวนการสกัด และรูปแบบการแทรกสอดของระนาบผลึกที่ได้ยืนยันได้ว่าอนุภาคผลึกนาโนที่ได้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรซึ่งสอดคล้องภาพถ่าย



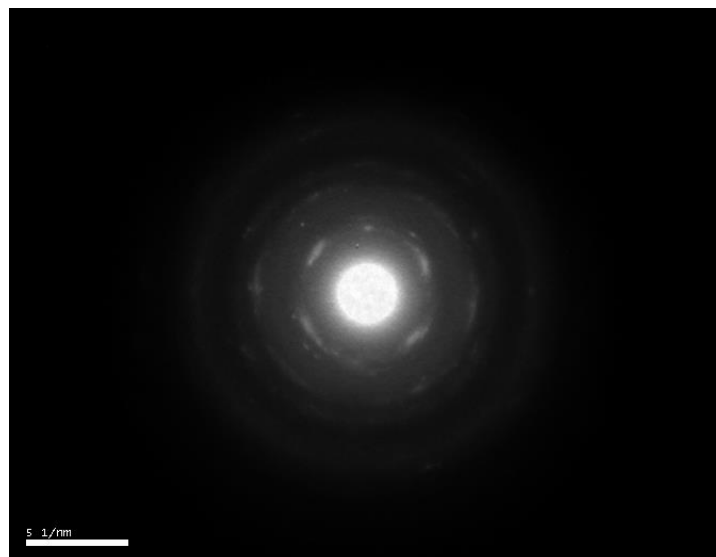
ภาพที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่ทำการสกัดได้ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นเท่า (บน) และหนึ่งแสนเท่า (ล่าง) ตามลำดับ



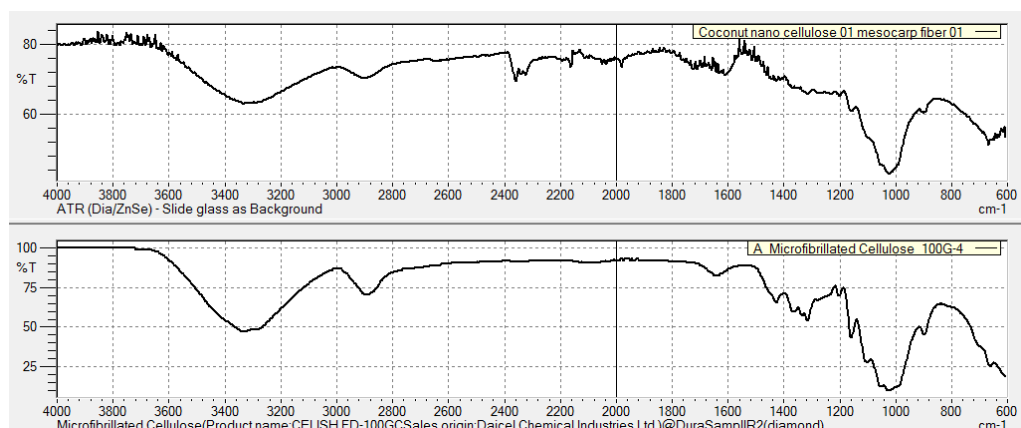
ภาพที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลส



ภาพที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสเทียบกับมาตราส่วนรูปภาพขนาด 50 นาโนเมตร

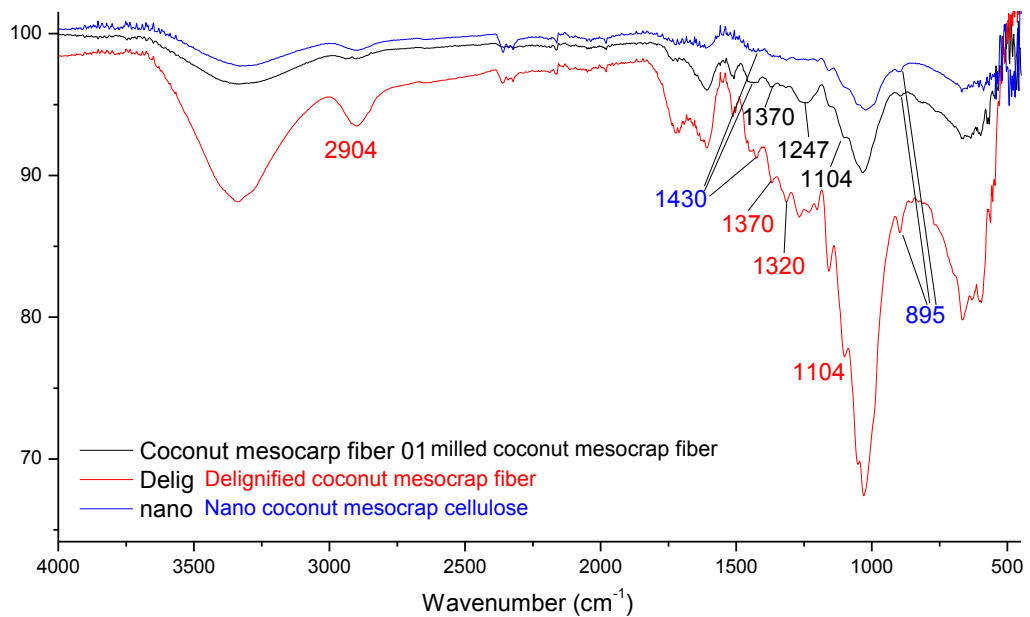


ภาพที่ 4.13 แสดงรูปแบบการแทรกสอดของอิเล็กตรอนของสารตัวอย่างผลึกนาโนเซลลูโลส



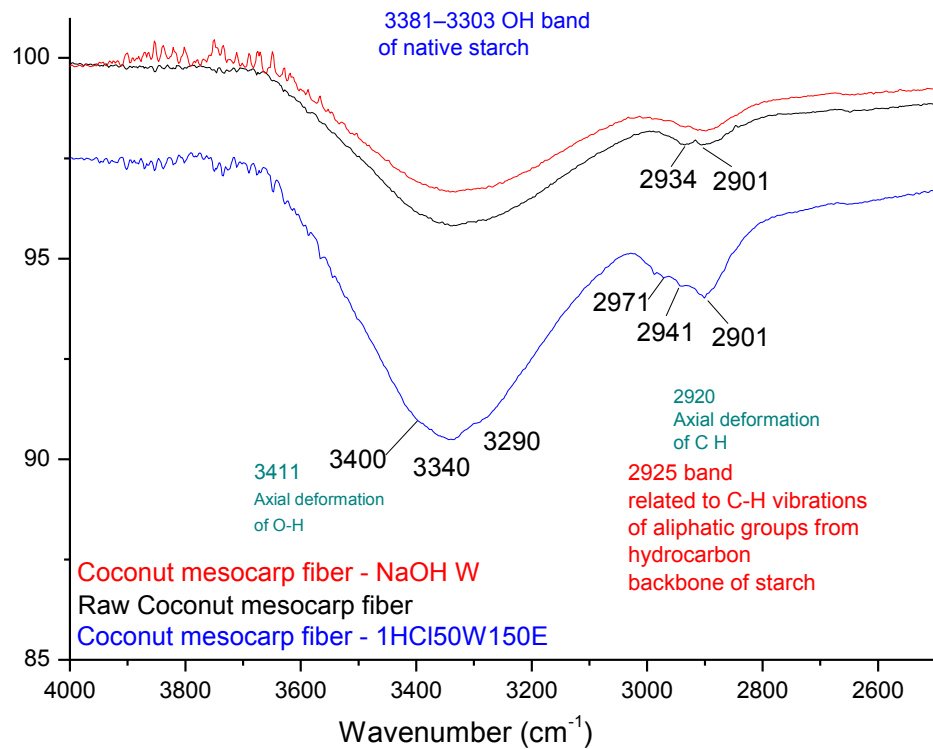
ภาพที่ 4.14 กราฟ FTIR ATR ของสารตัวอย่างนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้ (บน)
และกราฟสารมาตรฐานผงเซลลูโลส (ล่าง)

ผลการนำสารตัวอย่างผงนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด FTIR-ATR พบว่าองค์ประกอบหลักของผงเปลือกมะพร้าวบดมีรูปแบบสอดคล้องกับรูปแบบของสารมาตรฐานของผงเซลลูโลส ภาพที่ 4.14 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบ FTIR-ATR สเปกตรัมของสารตั้งต้นทั้งสองขั้นตอน (ภาพที่ 4.15) จากรูปแบบสเปกตรัม พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบหลักซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือโครงสร้างหลักทางเคมีเซลลูโลสที่อยู่ในเปลือกมะพร้าว แต่มีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในรายละเอียดซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพันธะในโหมดที่ใกล้เคียงกันหลังจากการสกัดแยกกลินและการสกัดเซลลูโลส โดยที่น้ำจะเกิดจากการลดลงของกลินเป็นหลักเนื่องจากมีโหมดการสั่นของพันธะหลักที่คล้ายกันกับเซลลูโลส โดยที่หลังจากการสกัดด้วยขั้นตอนต่างๆแล้ว สัญญาณการดูดกลืนที่เลขคลื่นประมาณ 1370 cm^{-1} ดังขยายกราฟในภาพที่ 4.17 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบที่เลขคลื่นประมาณ 1368 cm^{-1} โดยความเข้มสัญญาณลดลงอย่างชัดเจนในตัวอย่างอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดการเสียสภาพของผลึกหรือกลายเป็นอสัญฐานมากขึ้นด้วยการสกัดด้วยการบดรวมกับการเกิดไฮโดรไลซิส โดยทั่วไปแล้วสัญญาณของพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1430 ต่อ 985 cm^{-1} และ 1370 ต่อ 2900 cm^{-1} สอดคล้องกับสัดส่วนของความเป็นผลึกของเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณในช่วงนี้เป็นการรวมเชิงเส้นของสัญญาณโหมดการสั่นอื่นๆใกล้เคียงกัน รวมทั้งสัดส่วนของความเป็นผลึกไม่ตอบสนองต่อการดูดกลืนของสัญญาณโหมดการสั่นพันธะทั้งหมดในลักษณะเชิงเส้น อย่างไรก็ตามจากหลักฐานดังกล่าวทำให้สามารถบอกได้ว่าเหลือทั้งเซลลูโลสที่อยู่ในเฟสผลึกและอสัญฐานในตัวอย่างที่สกัดได้ เมื่อพิจารณาจากสัญญาณการดูดกลืนในเลขคลื่นประมาณ 1104 1337 และ 1430 cm^{-1} จะพบว่ามีค่าลดลงหลังจากการบดพร้อมไฮโดรไลซิสด้วยกรด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสในสารตัวอย่างมีความเป็นอสัญฐานมากขึ้น



ภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ของเปลือกมะพร้าวที่บดแล้ว (กราฟสีดำ) และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก (กราฟสีแดง) และอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้ (กราฟสีน้ำเงิน)

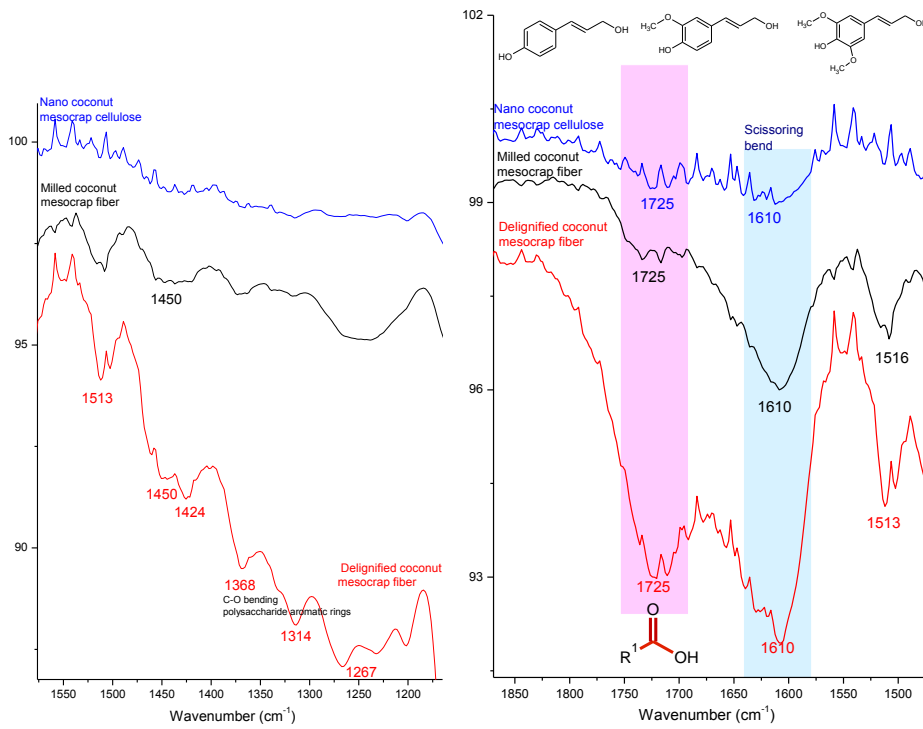
แบนที่เลขคลื่นประมาณ 3200 และ 3500 cm^{-1} เป็นโหมดการสั่นของพันธะ O-H stretching ของหมู่ไฮดรอกซีในโมเลกุลเซลลูโลส และที่ 2900 cm^{-1} เป็นโหมดการสั่นพันธะ C-H stretching ที่ติดอยู่กับหมู่ aliphatic ของโครงสร้างไฮโดรคาร์บอน อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของลิกนินก็ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีด้วยเช่นกัน เนื่องจากประกอบไปด้วยโครงสร้างพื้นฐานของแอลกอฮอล์ทั้งสามชนิด จากผลการวิเคราะห์พบว่าสัญญาณของโหมดการสั่นลดลงทั้งพันธะ O-H stretching และพันธะ C-H stretching หลังจากสกัดเป็นนาโนเซลลูโลส ซึ่งหมู่ไฮดรอกซีที่ลดลงสอดคล้องกับสัญญาณในช่วงโหมดการสั่นแบบ bending ของพันธะ O-H ในช่วงเลขคลื่นที่ประมาณ 1600 cm^{-1} ที่มีแนวโน้มสัญญาณลดลงเช่นกัน โดยคาดว่าเกิดจากการลดลงของลิกนิน ดังแสดงกราฟผลการวิเคราะห์ที่ละเอียดในภาพที่ 14.16 และ 14.17



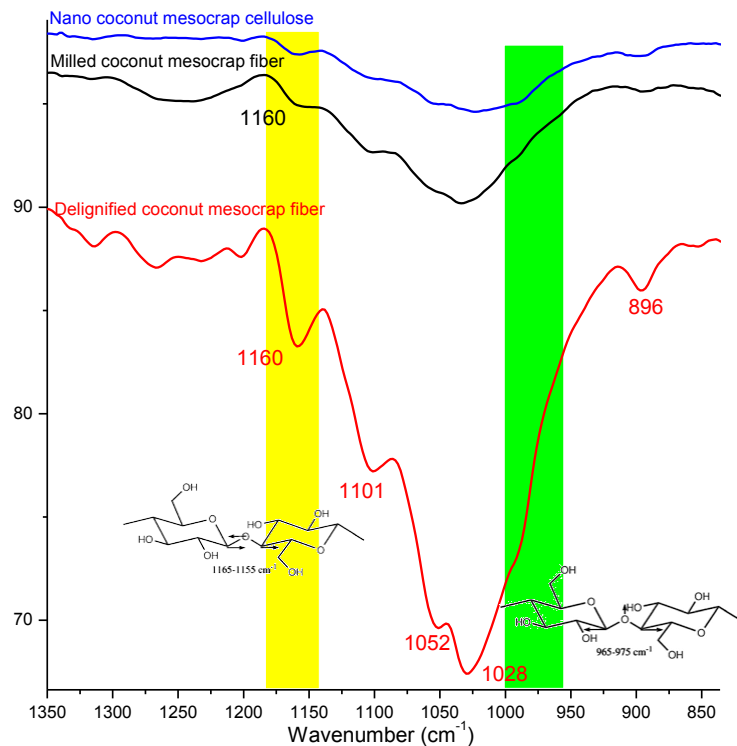
ภาพที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบ FTIR ATR ที่ช่วงเลขคลื่น 2500 ถึง 400 cm^{-1} ของเปลือกมะพร้าวที่ บดแล้ว (กราฟสีดำ) และหลังจากการสกัดแยกลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริก (กราฟสีแดง) และอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้ (กราฟสีน้ำเงิน)

พีคที่เลขคลื่นประมาณ 1725 cm^{-1} เป็นโหมดการสั่นของพันธะ C-O stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีทั้งในโมเลกุลของเพคติน เฮมิเซลลูโลส และลิกนินด้วยเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีสัญญาณลดลงเช่นเดียวกับหมู่ไฮดรอกซีที่หายไป เมื่อสกัดเป็นนาโนเซลลูโลสแล้ว สำหรับพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1610 นอกจากจะสอดคล้องกับโหมดการสั่นของหมู่ไฮดรอกซีดังที่กล่าวมาแล้ว ยังสอดคล้องกับโหมดการสั่นแบบ symmetrical stretching ของพันธะ C-C ในวงของลิกนินด้วยเช่นกัน ซึ่งการลดลงของสัญญาณในโหมดนี้แสดงถึงการลดลงของปริมาณลิกนิน รวมทั้งเพคติน และเฮมิเซลลูโลส จากกราฟ พบว่า พีคสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ 1725 และ 1610 cm^{-1} ของตัวอย่างนาโนเซลลูโลสลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด และพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1516 1639 และ 1450 cm^{-1} หายไป แสดงให้เห็นว่าลิกนินถูกกำจัดออกได้ในปริมาณมากหรือเกือบหมด โดยเฉพาะพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1612 1516 และ 1450 cm^{-1} เป็นลักษณะเฉพาะของโหมดการสั่นของลิกนินโมเลกุลใหญ่ (ภาพที่ 4.17) และทำให้สามารถสรุปได้ว่าสัญญาณของหมู่ไฮดรอกซีที่ลดลงเนื่องมาจากลิกนินในตัวอย่างที่สกัดแล้วลดลงด้วยเช่นกัน สำหรับพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1368 สอดคล้องกับพันธะ C-H และ C-O โหมด bending ของ polysaccharide aromatic rings และโดยทั่วไปแล้วผลึกนาโนเซลลูโลสควรจะพบพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1319 1160 1034 980 และ 897 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะการดูดกลืนเฉพาะของผลึกเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเซลลูโลสที่เป็นผลึก เป็นโหมดการสั่นแบบ antisymmetric in phase ring แบบ stretching ของพันธะ C-O-C ในวง pyranose ที่ระดับพลังงานสูงกว่า และโหมด

stretching แบบ symmetric in phase ring ที่ระดับพลังงานต่ำกว่า จากผลการวิเคราะห์สัญญาณการดูดกลืนในช่วงนี้แสดงในภาพที่ 4.18 จะพบว่าพีคทั้งหมดแสดงรวมในตัวอย่างที่ทำการสกัดลิกนินออกไปแล้ว และสัญญาณโดยรวมลดลงเมื่อเป็นนาโนเซลลูโลสแต่ยังคงแสดงสัญญาณในโหมดที่แสดงลักษณะของผลึกเซลลูโลสดังกล่าว



ภาพที่ 4.17 กราฟขยายสัญญาณเปรียบเทียบช่วงเลขคลื่นที่ 1000 ถึง 1600 cm^{-1} และ 1450 ถึง 1900 cm^{-1}



ภาพที่ 4.18 กราฟขยายสัญญาณเปรียบเทียบช่วงเลขคลื่นที่ 800 ถึง 1350 cm^{-1}

จากผลการวิเคราะห์สัญญาณการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างผงเปลือกมะพร้าวก่อนการสกัดลิกนิน (กราฟสีดำ) พบว่ามีสัญญาณการตอบสนองที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ทำการสกัดเอาลิกนินออกไปแล้ว (กราฟสีแดง) เนื่องจากตัวอย่างจากการบดหยาบมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามจากผลการแยกของระดับพลังงานในโหมดต่างๆ ที่ชัดเจนขึ้นทำให้สามารถบอกได้ว่าเกิดการแยกเอาสารที่ไม่ต้องการออกไปได้ในปริมาณมาก เช่น ลิกนิน แพลคติน และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น เนื่องจากมีโหมดของพันธะที่ใกล้เคียงและระดับพลังงานซ้อนทับกันน้อยลง เมื่อทำการสกัดนาโนเซลลูโลสต่อจะพบว่ายังพบสัญญาณในโหมดของเซลลูโลสและผลึกเซลลูโลส สามารถยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้คืออนุภาคผลึกนาโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. โยอาหารผงจากมะพร้าว

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาคือ ไขมัน และเส้นใย อยู่ที่ 29.40 23.39 และ 22.60% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งกากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการสกัดโยอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการในส่วนชองโยอาหารในปริมาณสูง สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโยอาหารจากกากมะพร้าว พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้ตัวทำละลายเอทานอล ที่ 95% และตัวทำละลายเฮกเซน โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ปริมาณร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด อยู่ที่ 82.14% และ 80.60% ตามลำดับ และมีปริมาณไขมันน้อยที่สุด (6.71-6.43%) เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น สำหรับขนาดของโยอาหารต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารจากกากมะพร้าว โดยทำการศึกษานาขนาดของโยอาหารอยู่ในช่วง 200-1000 ไมโครเมตร พบว่า โยอาหารที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซน ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเฉพาะในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวดีที่สุด ส่วนโยอาหารที่สกัดด้วยเฮกเซน ที่ขนาด 500 ไมโครเมตร มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีกว่าโยอาหารขนาดอื่น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโยอาหารจากกากมะพร้าวที่ขนาด 500 ไมโครเมตร พบว่า โยอาหารที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซนมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณไขมันที่ลดลงและปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกากมะพร้าว (control) โดยปริมาณเส้นใยในโยอาหารที่สกัดได้อยู่ที่ 52.07-53.24% สำหรับลักษณะสัณฐานของโยอาหารที่สกัด พบว่า มีขนาดเล็ก บาง โปร่ง ไม่เกาะกันเป็นแผ่น ลักษณะโครงสร้างโค้งเว้า และมีการม้วนพับมากกว่ากากมะพร้าว (control) ซึ่งทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวให้กับโยอาหาร ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวดีขึ้น

2. วัสดุนาโนเซลลูโลส

สามารถทำการบดย่อยเปลือกมะพร้าวให้มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กได้โดยใช้เทคนิคการบดด้วย grinding mill การใช้ตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์เหลวร่วมกับเอทานอลสามารถทำการสกัดลิกนินออกจากเปลือกมะพร้าวได้บางส่วน เทคนิคที่เหมาะสมในการแยกลิกนินออกจากเปลือกมะพร้าวคือการใช้กรดซัลฟิวริกในตัวทำละลาย 50% เอทานอล โดยสามารถทำการกำจัดลิกนินออกได้จนเกือบหมดในขั้นตอนสุดท้าย การสกัดนาโนเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกโดยใช้การบดด้วยลูกบดช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งอนุภาคนาโนเซลลูโลสที่ได้มีทั้งลักษณะผลึกและอสัณฐานทั้งคู่โดยที่จะมาความเป็นอสัณฐานเพิ่มขึ้นมากกว่าสารตั้งต้น อนุภาคนาโนเซลลูโลสที่ได้มีโครงสร้างอยู่ในช่วงประมาณ 50 นาโนเมตร

อภิปรายผล

1. โยอาหารผงจากมะพร้าว

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าว พบว่ากากมะพร้าวที่ได้หลังจากการคั้นกะทิยังมีปริมาณไขมันที่สูงอยู่ (23.39%) โดยใกล้เคียงกับงานวิจัยของ กานต์ สุขสุแพทย์ และคณะ (2555) โดยมีค่าอยู่ที่ 27.62% โดยน้ำหนัก ดังนั้นเพื่อทำการเพิ่มปริมาณโยอาหารในกากมะพร้าว สามารถทำได้โดยการกำจัดไขมันออกจากกากมะพร้าวให้เหลือน้อยที่สุด ส่วนปริมาณโปรตีนที่พบในกากมะพร้าว (6.23%) ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ กานต์ สุขสุแพทย์ และคณะ (2555) Yalegama et al. (2013) และ Ng et al. (2010) โดยมีค่าอยู่ที่ 3.75 4.20 และ 5.32 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนที่พบในผักและผลไม้ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 2.70-24.9% (Ng et al., 2010) และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารในกากมะพร้าว (22.60%) พบว่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ คุณาพร เงินศรีตระกูล และรัชดาภรณ์ เพ็ชรนิคม (2545) Ng et al. (2010) และ Yalegama et al. (2013) โดยมีค่าอยู่ที่ 22.00 23.13 และ 23.20 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยได้มีการวิเคราะห์ประเภทของโยอาหาร พบว่าโดยส่วนใหญ่เป็นโยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร (2558) Ng et al. (2010) และ Raghavendra et al. (2004) และมีอัตราส่วนของโยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ต่อโยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (SDF:IDF) อยู่ที่ 1: 34.74 ซึ่งใกล้เคียงกับวัตถุดิบเหลือทิ้งจากผลไม้และผัก ได้แก่ เมล็ดของผลแคคตัส (Cactus pear seed) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1:35.4 และ 1:27.1 และเปลือกองุ่น ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1:39.2 (Tejada-Ortigoza et al., 2016) นอกจากนี้ยังได้มีการรายงานถึงชนิดของโยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำที่พบในกากมะพร้าว ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เพกตินที่ไม่ละลายน้ำ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส A และเฮมิเซลลูโลส B อยู่ที่ 72.67 4.32 1.88 1.13 และ 0.72% ตามลำดับ (Ng et al., 2010)

กระบวนการในการสกัดโยอาหารไม่มีรูปแบบที่แน่นอน งานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะทำการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออก เพื่อให้ได้ส่วนของโยอาหารในปริมาณสูงต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของกากมะพร้าวหลังจากการคั้นกะทิ พบว่ายังมีปริมาณไขมันที่สูงอยู่ จึงได้ทำการกำจัดไขมันออก ซึ่งการสกัดไขมันออกจากวัตถุดิบมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่การใช้ตัวทำละลายช่วยในการกำจัดเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและราคาไม่แพง ตัวทำละลายที่ถูกนำมาใช้ในการสกัดไขมันออกจากกากมะพร้าว ได้แก่ ปีโตเลียมอีเทอร์ (Ng et al., 2010) และเฮกเซน (Raghavendra et al., 2004) นอกจากนี้ยังมีตัวทำละลายชนิดอื่นที่ถูกใช้ในการกำจัดไขมัน ได้แก่ การใช้เอทานอล 95% ในการกำจัดไขมันออกจากแกนสับปะรด (Prakongpan et al., 2002) เปลือกกล้วย (เหรียญทอง สิงห์จานูสงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร์, 2554) และซังข้าวโพด (จุฑารัตน์ พงษ์โนรี, 2547) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอลและเฮกเซนในการสกัดไขมันออกจากกากมะพร้าว จากผลการทดลอง พบว่าตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดไขมันออกจากกากมะพร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปริมาณไขมันลดลงได้ถึง 71.31-73.11% และ 63.32-72.51% เมื่อใช้เอทานอลและเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำอิสระในโยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซน พบว่า โยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซนมี

ปริมาณน้ำอิสระที่น้อยกว่าใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล ซึ่งใยอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระน้อยแสดงถึงคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์ และปราณี อานเป็รื่อง, 2546) แสดงว่าใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซนมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ดีกว่าใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอล

ใยอาหารที่พบในกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิโดยส่วนใหญ่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ ซึ่งเป็นใยอาหารที่มีคุณสมบัติ คือ ไม่สามารถละลายน้ำ แต่สามารถอุ้มน้ำและพองตัวในน้ำได้ดี ทำให้ช่วยเพิ่มปริมาตรน้ำในกระเพาะอาหาร แต่ไม่ให้ความหนืด ผู้บริโภคจะรู้สึกอิ่มได้ง่ายขึ้นเมื่อรับประทานใยอาหารประเภทนี้เข้าไป ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้จะไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลให้มวลของอุจจาระเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดปัญหาท้องผูกสำหรับผู้บริโภคได้ และปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร คือ ขนาดใยอาหาร จึงได้ทำการศึกษขนาดของใยอาหารอยู่ในช่วง 200-1000 ไมโครเมตร และวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัว พบว่า อนุภาคใยอาหารที่สกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซนขนาด 500 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติในด้านการอุ้มน้ำ และการพองตัวที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavendra et al. (2006) ที่พบว่าขนาดของใยอาหารที่ได้จากกากมะพร้าวที่ 550 ไมโครเมตร จะมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และการพองตัวที่ดีที่สุด และความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลงเมื่อใยอาหารมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง ส่วนคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อใยอาหารมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับใยอาหารที่สกัดโดยใช้เฮกเซนในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้งานวิจัยของ Prakongpan et al. (2002) ที่ทำการสกัดใยอาหารจากแกนสับประรด พบว่าขนาดของใยอาหารร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100-170 เมช (ขนาดอนุภาค 150-88 ไมโครเมตร) มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันที่ดีกว่าใยอาหารที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด > 170 เมช (ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 88 ไมโครเมตร) เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่า ใยอาหารจากกากมะพร้าวขนาด 500 ไมโครเมตร ที่สกัดได้จากงานวิจัยนี้ มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (10.35-10.39 g/g) สูงกว่างานวิจัยของ Raghavendra et al. (2006) และสิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร (2558) ที่สกัดใยอาหารจากกากมะพร้าว โดยอยู่ที่ 7.11 และ 2.43-3.76 g/g ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยสกัดใยอาหารจากกากมะพร้าวทั้ง 2 งานวิจัยมีกระบวนการเตรียมและขั้นตอนในการสกัดใยอาหารที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังสูงกว่าใยอาหารจากแอปเปิ้ล แครอท ถั่ว และข้าวสาลี โดยมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ที่ 4.50 3.80 3.50 และ 3.10 g/g ตามลำดับ แต่ใยอาหารที่สกัดได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่ใกล้เคียงกับใยอาหารจากผักกาดฝรั่งอยู่ที่ 10.10 g/g (Raghavendra et al., 2006) และใยอาหารจากแกนสับประรดอยู่ที่ 10.31-12.16 g/g (Prakongpan et al., 2002) สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของใยอาหารจากกากมะพร้าวขนาด 500 ไมโครเมตร (4.16-4.23 g/g) มีค่าที่ใกล้เคียงกับใยอาหารจากกากมะพร้าว ผักกาดฝรั่ง (Raghavendra et al., 2006) และแกนสับประรด (Prakongpan et al., 2002) โดยอยู่ที่ 4.80 5.10 และ 3.91 g/g ตามลำดับ แต่ยังคงมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันที่สูงกว่าใยอาหารจากแอปเปิ้ล ข้าวสาลี แครอท และถั่ว (Raghavendra et al., 2006) โดยมีค่าอยู่ที่ 1.30 1.30 1.20 และ 1.00 g/g ตามลำดับ และใยอาหารจากกากมะพร้าว (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557) โดยมีค่าอยู่ที่ 1.43-1.49 g/g

2. วัสดุนาโนเซลลูโลส

จากผลการทดลองพบว่าสามารถทำการสกัดนาโนเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นได้ โดยพิจารณาจากมวลของลิกนินที่หายไปจะพบว่าปริมาณมากกว่าส่วนที่เป็นเซลลูโลส โดยในเซลลูโลสที่สกัดได้ยังพบว่าลิกนินหลงเหลืออยู่ ซึ่งอาจเกิดจากโมเลกุลที่มีความคงทนสูงไม่สามารถทำการสกัดแยกออกไปได้ในปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ประโยชน์หรือคุณสมบัติ รวมทั้งการวิเคราะห์อัตรลักษณ์ของวัสดุนาโนเซลลูโลสที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของลิกนินที่รวมอยู่ด้วย ผลการสกัดนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวด้วยเทคนิคนี้พบว่าอนุภาคที่ได้มีขนาดผลึกเซลลูโลสที่เล็ก โดยจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไม่พบลักษณะของเส้นใย ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้ได้ขนาดผลึกนาโนเซลลูโลสที่เล็กกว่าเทคนิคการไฮโดรไลซิสด้วยกรดทั่วไป ซึ่งจะได้เป็นเส้นใยนาโนเซลลูโลส (Rosa et al., 2010; Fahma et al., 2011; Abraham et al., 2013; Nascimento et al., 2016) หรือแม้กระทั่งการใช้แรงเชิงกลเข้าช่วยด้วยกระบวนการบดโดยทั่วไป (Zhao et al., 2015) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับการสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด จะพบว่าผลที่ได้จากเทคนิคในการวิจัยนี้มีความบริสุทธิ์ของผลึกเซลลูโลสต่ำกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกไม่หมด โดยสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกได้ ซึ่งควรทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยจุดเด่นของเทคนิคการสกัดนาโนเซลลูโลสในการวิจัยนี้คือมีผลผลิตที่สูงกว่าการใช้การไฮโดรไลซิสด้วยกรดทั่วไป และมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า

สำหรับเทคนิคการใช้การบดด้วยลูกบดที่ปรับปรุงขึ้นในการวิจัยนี้ไม่พบรายงานการศึกษาในการสกัดนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวหรือจากวัตถุดิบอื่นๆมาก่อน โดยเป็นการปรับปรุงเทคนิคขึ้นมาใหม่ มีรายงานการวิจัยที่ใกล้เคียงโดยเป็นการบดแห้งเส้นใยเซลลูโลส (Avolio et al., 2012) ซึ่งเป็นการศึกษาของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ โดยผลที่ได้จากการบด พบว่า เซลลูโลสมีแนวโน้มที่มีขนาดเล็กลงเมื่อบดนานขึ้น แต่มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และการบดด้วยลูกบดสำหรับเตรียมตัวอย่างในการสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยกรด (Phanthong et al., 2015) โดยศึกษาตัวอย่างเซลลูโลสจากกระดาษ และผงเซลลูโลสโดยการบดแห้งก่อนสกัดด้วยกรดต่อไป อย่างไรก็ตามผลที่ได้พบว่าอนุภาคที่ได้มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเทคนิคที่ปรับปรุงขึ้นในการวิจัยนี้ โดยพบรายงานการวิจัยการบดด้วยแรงเชิงกลด้วยลูกบดแบบบดเปียก (Sofla et al., 2016) เพื่อเตรียมนาโนเซลลูโลสจากชานอ้อย ซึ่งผลที่ได้พบว่าเป็นเส้นใยเซลลูโลสเช่นกัน โดยได้เสนอว่าแรงเชิงกลจากการบดจะเป็นการทำลายเส้นใยเซลลูโลสให้ขาดออกจากกัน ส่วนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดจะเป็นการทำลายพันธะของเซลลูโลส อสัฐานทำให้ส่วนที่เป็นผลึกแยกออกจากกัน เทคนิคที่ปรับปรุงขึ้นในการวิจัยนี้จึงคาดว่ากลไกที่เกิดขึ้นเป็นการเสริมกันทั้งแรงเชิงกลและแรงทางเคมี จึงทำให้มีขนาดอนุภาค และสัฐานของเซลลูโลสที่แตกต่างและเล็กกว่าการวิจัยอื่นที่ใช้วัตถุดิบเดียวกันหรือวัตถุดิบอื่นแต่ใช้เทคนิคการบด

ข้อเสนอแนะ

1. โยอาหารผงจากมะพร้าว

1. ควรศึกษาวิธีการสกัดคาร์โบไฮเดรตเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์โยอาหารที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น
2. ควรนำผลิตภัณฑ์โยอาหารที่ได้มาต่อยอดในการประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในอาหารต่อไป

2. วัสดุนาโนเซลลูโลส

1. เนื่องจากการเตรียมอนุภาคนาโนเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวที่ใช้เป็นเทคนิคใหม่และเป็นเทคนิคสามารถสกัดได้ง่าย ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลต่อผลการสกัดหลายด้าน ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นต่างๆเพิ่ม เช่น ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ ระยะเวลาในการบด สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ เป็นต้น
2. จากลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งสมบัติพิเศษเฉพาะของนาโนเซลลูโลส เหมาะที่จะนำไปประยุกต์หรือปรับปรุงใช้งานในการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มาก เช่น วัสดุที่สามารถปรับแต่งความคงทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน ทางด้านอาหารและยา เป็นต้น และควรทำการศึกษาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์ สุนิษา วิไลพัฒน์ และจีราพร อัครศีสุวรรณ. (2557). การใช้กากมะพร้าวเสริมในขนมทองม้วน. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 หน้า 14-23. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- กานต์ สุขสุแพทย์, จรรยา คงฤทธิ์ และณหทัย วิจิตโรทัย. (2555). การใช้ได้ของกากกะทิเป็นอาหารเสริมในไก่เนื้อ. ในการประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 10 (หน้า 174-181). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คุณาพร เงินศรี และรัชดาภรณ์ เพ็ชรนิคม. (2545). งานวิจัยเรื่องการสกัดโปรตีนจากกากมะพร้าวที่เหลือจากการบีบน้ำมันและกะทิ. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. (2547). การสกัดเซลลูโลสจากชังข้าวโพด และการประยุกต์ใช้ในอาหาร. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ฉวีวรรณ สีสงาม และ ภริตา ชุ่มจิต (2546). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องเสริมผัก. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.
- ทับทิม อ่มอรุณ และเบญจมาศ เต็มดี. (2544). พัฒนาเส้นบะหมี่เสริมใยอาหารจากตำลึง. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร.
- นิธิตา อรรถวานิช และปราณี อ่านเปรื่อง. (2546). ใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวานและการประยุกต์. วารสารอาหาร, 33(1), 45-55.
- นิธิตา รัตนาปนนท์. (2549). เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ
- นิธิตา รัตนาปนนท์. (2554). หลักการวิเคราะห์อาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ
- ประภาพรรณ เพ็ชรชอบ. (2551). ผลของสภาวะการสกัดและขนาดอนุภาคต่อคุณภาพเส้นใยจากโคนหน่อไม้ฝรั่ง. 23-24 October 2008 The 1 st NPRU Academic Conference. นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2540). คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค 2. กรุงเทพฯ: รวมทรรศน์.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2538). ใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. วารสารเพื่อสุขภาพ, 2(8), 63-68.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิตา รัตนาปนนท์. (2552). Carboxymethyl cellulose. 4 ตุลาคม, 2556. <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC>
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวสำเร็จรูป. มอก. 832-2548
- มาลี ชัมศรีสกุล. (2546). การศึกษาการเตรียมแป้งมะพร้าวจากกากมะพร้าวส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- วชิรา วิเศกส์สมบุญ. (2553). “Fibre” เส้นใยอาหาร สารสำคัญเพื่อคนรักสุขภาพและรูปร่าง.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟิลกูด.
- วิไล รังสาดทอง. (2543). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. (2544). การปลูกมะพร้าว. กรุงเทพฯ: โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.
- ศุภวัฒน์ นามคำ วันดี ไทยพานิช อนุกุล พลศิริ และปาริชาติ บุญพิศา (2555). การผลิตและการใช้
เส้นใยผงจากเปลือกส้มโอในการทำผลิตภัณฑ์ขอม่วงใยอาหารสูงพร้อมบริโภคน้ำแข็ง.
วารสารคหเศรษฐศาสตร์, 55(2), 28-34.
- สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร. (2558). การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจาก
กากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อ
การพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด. รายงานฉบับสมบูรณ์. ชลบุรี:
มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สิริมา ชินสาร บงกช ฐระพันธ์ และวารุณี พรหมประดิษฐ์. (2557). ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อสมบัติ
ของเซลลูโลสจากกากมะพร้าว และการประยุกต์ใช้เป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในโดนัท.
วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(2), 393-396.
- สิริวุทธิ์ เสียมภักดี. (2552). *อุตสาหกรรมไทย ปัญหา อุปสรรค และแนวทางการส่งเสริมพัฒนา*.
http://www.thaitapiocastarch.org/article16_th.asp
- สุนตรา ชุมแวงวาปี ศรีศักดิ์ สุนทรไชย และการุณ ทองประจุแก้ว. (2556). ผลของการดัดแปรกาก
มะพร้าวด้วยวิธีทางกายภาพและประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลองของ
ปลาเศรษฐกิจ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(3) ฉบับพิเศษ, 159-167.
- สุภาวดี ภัทรโกศล และคณะ. มะพร้าวและการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มะพร้าว. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริม
การเกษตร. ไม่ระบุ.
- เหรียญทอง สิงห์จามูนงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร์. (2554). งานวิจัยเรื่องการผลิตเซลลูโลสจากเปลือก
กล้วย. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อังคณา คงชววรรณ, ตรี อินดราริณี เวียร์ยันโตโร และอภิรักษ์ เพ็ชรมงคล. (2557). การสกัดใย
อาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด. ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษา Graduate Research Conferences 2014 (หน้า 891-895). ขอนแก่น:
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อาหารเส้นใยสูง. (2546). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด จำกัด.

บรรณานุกรมภาษาอังกฤษ

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L.A., Cintil, J., Thomas, S., John, M.J., Anandjiwala, R., & Narine, S.S. (2013). Environmental friendly method for the extraction of coir fibre and isolation of nanofibre, *Carbohydrate Polymers*, 92, 1477–1483.
- Amar K.M., Manjusri, M., & Lawrence, T.D. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis Group: CRC press.
- Ang, J.F., (1991a). Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science*, 1682 - 1684.
- Ang, J.F. (1991b). Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science*, 56(6), 1682-1684.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18thed. Gaithersburg, Maryland: AOAC International.
- AOAC. (2010). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18thed. Washinton DC: AOAC International.
- Avolio, R., Bonadies, I., Capitani, D., Errico, M.E., Gentile, G., & Avella M. (2012). A multitechnique approach to assess the effect of ball milling on cellulose, *Carbohydrate Polymers*, 87, 265–273.
- Carrasco, C. (2011). Cellulose fibres, nanofibrils and microfibrils: The morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fibre technology point of view. *Nanoscale Research Letters*, 6, 417.
- Chen, H. (2014). *Biotechnonlogy of Lignocellulose: Theory and Practice*. New York: Chemical Industry Press.
- Eastwood, M. (1997). *Principles of Human Nutrition*. London: Chapman & Hall.
- Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T., Takemura, A. (2011). Effect of pre-acid-hydrolysis treatment on morphology and properties of cellulose nanowhiskers from coconut husk, *Cellulose*, 18, 443–450.
- Habibi, Y., Lucia, L.A., & Rojas, O.J. (2009). Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chem. Rev.*, 110(6), 3479-3500.
- Hubbe, M.A., Rojas, O.J., Lucia, L.A., & Sain, M. (2008). Cellulosic Nanocomposites: A Review. *BioResources*, 3.
- Kang, S., Li, X., Fan, J., & Chang, J. (2013). Hydrothermal conversion of lignin: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 546-558.

- Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 3-8.
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., & Bras, J. (2012). Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 90, 735-764.
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., & Bras, J. (2012). Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 90, 735-764.
- Maiti, S., Jayaramudu, J., Das, K., Reddy, S.M., Sadiku, R., Ray, S.S., & Liu, D. (2013). Preparation and characterization of nano-cellulose with new shape from different precursor. *Carbohydrate Polymers*, 98, 562-567.
- Moon, R.J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chem. Soc. Rev.*, 40, 3941–3994.
- Nascimento, D. M. d., Almeida, J. S., Vale, M. d. S., Leitão, R. C., Muniz, C. R., Figueirêdo, M. C. B. d., Morais, J. P. S., & Rosa, M. d. F. (2016). A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part I: Proposition of technological pathways, *Industrial Crops and Products*, 93, 66-75.
- Neto, W.P.F., Silvério, H.A., Dantas, N.O., & Pasquini, D. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue – Soy hulls. *Industrial Crops and Products*, 42, 480-488.
- Ng, S.P., Tan, C.P., Lai, O.M., Long, K., & Mirhosseini, H. (2010) Extraction and characterization of dietary fiber from coconut residue. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8, 172-177.
- Phanthong, P., Guan, G., Ma, Y., Hao, X., & Abudula, A. (2015). Effect of ball milling on the production of nanocellulose using mild acid hydrolysis method, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 617-622.
- Prakongpan, T., Nittithamyong, A., & Luangpituksa, P. (2002). Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores. *Journal of food science*, 67(7), 1308-1313.
- Prosky, L. & DeVries, J. W. (1992). Controlling Dietary Fiber in Food Products. *Food science*, 161.

- Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S., & Tharanathan, R.N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72, 281-286.
- Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., & Tharanathan, R.N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *Eur Food Research Technology*, 218, 563-567.
- Robertson, J. A., Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R. & Thibault, J. F. (2000). Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: A European Collaborative Study. *Food Science and Technol*, 33, 72-79.
- Rosa, M.F., Medeiros, E.S., Malmonge, J.A., Gregorski, K.S., Wood, D.F., Mattoso, L.H.C., Robertson, J. A., Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R. & Thibault, J. F. (2000). Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch. *A European Technology Promotion Mag.*, 66-72.
- Rosa, M.F., Medeiros, E.S., Malmonge, J.A., Gregorski, K.S., Wood, D.F., Mattoso, L.H.C., Glenn, G., Orts, W.J., & Imam, S.H. (2010). Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior, *Carbohydrate Polymers*, 81, 83–92.
- Sheltami, R.M., Abdullah, I., Ahmad, I., Dufresne, A., & Kargarzadeh, H. (2012). Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanus tectorius*). *Carbohydrate Polymers*, 88, 772-779.
- Silvério, H.A., Neto, W.P.F., Dantas, N.O., & Pasquini, D. (2013). Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for application as reinforcing agent in nanocomposites. *Industrial Crops and Products*, 44; 427-436.
- Softa, M. R. K., Brown, R. J., Tsuzuki, T., & Rainey, T. J. (2016). A comparison of cellulose nanocrystals and cellulose nanofibres extracted from bagasse using acid and ball milling methods, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 7, 035004.
- Stark, A., & Madar, Z. (1994). Dietary fiber. *Functional Foods*, 1, 183-201.
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L.E., Serna-Saldivar, S.O., & Welti-Chanes, J. (2016). Advances in the Functional Characterization and Extraction Processes of Dietary Fiber. *Food Eng. Rev.*, 8, 251-271.

- Trinidad P.T., Aida, C.M., Divinagracia, H.V., Anacleto, S.L., Faridah, C.A., Joan, C.C. et al. (2006). Dietary fiber from coconut flour: A functional food. *Journal of Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(4), 309-317.
- Yelegama, L.L.W.C., Karunaratne, D.N., Sivakanesan, R., & Jayasekara, C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of coconut kernel. *Food Chemistry*, 141, 124-130.
- Zhao, Y., Xu, C., Xing, C., Shi, X., Matuana, L. M., Zhou, H., & Ma, X. (2015). Fabrication and characteristics of cellulose nanofibril films from coconut palm petiole prepared by different mechanical processing, *Industrial Crops and Products*, 65, 96–101.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ภาคผนวก ก1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC., 2005

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert/USA
2. ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (Moisture can)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa Switzerland
5. ทีคีบ (Tongs)
6. ถุงมือ (Gloves)
7. ถาด (Tray)

วิธีการวิเคราะห์

1. หาน้ำหนักที่คงที่ของถ้วยเปล่า โดยนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำเข้าอบใหม่ ดำเนินการเหมือนครั้งแรก จนได้น้ำหนักคงที่และบันทึกค่า (น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม)

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนจำนวน 2 กรัม (บันทึกค่า) ใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วเกลี่ยตัวอย่างออกอย่างสม่ำเสมอให้มีเนื้อที่ที่มากที่สุดที่จะทำได้

3. อบตัวอย่างในถ้วยหาความชื้นให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำตัวอย่างเข้าอบใหม่อีกครั้ง ครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ (น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม) บันทึกค่าน้ำหนักหลังอบที่แน่นอน

4. นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

ภาคผนวก ก2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC., 2005

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน KJELTEC 2200 ยี่ห้อ FOSS
2. หลอดย่อยโปรตีน (Digestion tube)
3. ชุดกลั่นโปรตีน (Distillator)
4. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
5. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
6. บิวเรตต์ (Burette)
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa Switzerland
8. ปิเปต (Pipette)
9. บีกเกอร์ (Beaker)
10. ลูกยาง (Rubber bulb)
11. หลอดหยด (Dropper)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
2. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
3. โพตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
6. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3)
7. Methyl red ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)
8. Bromocresol green ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม
2. เติมคอปเปอร์ซัลเฟต 0.8 กรัม และโพตัสเซียมซัลเฟต 7 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร และเขย่าเบาๆ เพื่อให้ท่วมตัวอย่าง
4. ใส่หลอดย่อยใน Rack ปิดฝาหลอดย่อยด้วย Exhaust system เปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด (Scrubber unit) เปิดสวิทช์เครื่องย่อย (Digester) ตั้งอุณหภูมิที่ 420 องศาเซลเซียส
5. ย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใสในตู้ดูดควัน (ใช้เวลาประมาณ 30-60 นาที) ยก Rack หลอดย่อยขึ้นพักไว้บน Stand (ยังไม่ต้องเปิดฝาหลอดย่อย) ทิ้งให้เย็น
6. นำขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ไปตั้งทิ้งไว้ที่ตำแหน่งรองรับของเครื่องกลั่นและเลื่อนฐานขึ้นให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้สารละลาย รองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดบอริกเข้มข้น

ร้อยละ 4 ปริมาตร 25-30 มิลลิลิตร ที่ผสม Indicator ระหว่าง Methyl red 0.1 กรัม ผสมกับ Bromocresol green เรียบร้อยแล้ว

7. นำหลอดกลั่นใสให้ตรงกับหัวกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 80 มิลลิลิตรและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิด Safety door เครื่องจะทำงานทันที
หมายเหตุ: ก่อนจะเปิด Cooling bath ตั้งอุณหภูมิที่ 10-15 องศาเซลเซียส Warm เครื่องกลั่น ด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง โดยไม่ต้องเติม NaOH และ Boric acid และทำเช่นเดียวกันเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองทุกครั้ง

8. กลั่นไปประมาณ 4 นาที (สารละลายใน Flask รองรับจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว) ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงใน Flask รองรับ

9. ทำการไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N จนได้สีชมพู (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

10. ทำ Blank ด้วยวิธีการเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2-10

11. นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโปรตีนดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{T-B \times 14.007 \times 100 \times N}{W}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \% \text{ไนโตรเจน} \times 6.25$$

โดย T = ปริมาตรการไทเทรตตัวอย่าง

B = ปริมาตรการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

W = น้ำหนักตัวอย่าง (mg)

ภาคผนวก ก3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC., 2005

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxtec) ยี่ห้อ Soxtec 2050 Auto Extraction Unit/Sweden
2. หลอดบรรจุตัวอย่าง (Thimble) พร้อมที่จับ (Thimble holder)
3. ถ้วยสกัด (Extraction cup) พร้อมที่จับ (Extraction holder)
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert/USA
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa Switzerland
7. ถุงมือ (Gloves)
8. ถาด (Tray)

สารเคมี

เฮกเซน

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น (Cooling bath) ควบคุมอุณหภูมิที่ 12-15 องศาเซลเซียส
2. Warm เครื่อง Soxtec โดยกดเปิดปุ่ม Power ปรับอุณหภูมิและตั้งโปรแกรมการทำงานตามชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ ถ้าใช้ Hexane (Over temp. = 210 °C, Hot plate = 155 °C, Boiling time = 45min, Rinse = 15 min, Recovery = 15 min, Pre-drying = 30 min) ถ้าใช้ Petroleum (Over temp. = 210 °C, Hot plate = 135 °C, Boiling time = 45 min, Rinse = 15 min, Recovery = 15 min, Pre-drying = 30 min)
3. Pre-heat hot plate โดยกดปุ่ม
4. ชั่งตัวอย่างอาหารที่อบแห้งและบดละเอียดแล้ว 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ใน Thimble (ตัวอย่างที่มีความชื้น นำไปอบให้แห้งใน Hot air oven ที่ 110 องศาเซลเซียส, 20 นาที)
5. นำ Thimble มาใส่ในตัวเครื่อง Soxtec ด้วย Thimble holder
6. เติมตัวทำละลายประมาณ 50 มิลลิลิตร ลงใน Extraction cup ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง) นำไปต่อเข้ากับ Condenser
7. กดที่ปุ่ม Start 1 ครั้ง โดยตัวโปรแกรมจะเริ่มทำงานตั้งแต่ขั้นตอน Boiling จนถึงขั้นตอน Pre-drying
8. เมื่อครบเวลาการทำงานนำ Extraction cup ออบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนมีน้ำหนักคงที่
9. นำตัวทำละลายออกจากเครื่องใส่ในขวดตัวทำละลายที่ใช้แล้ว
10. คำนวณหาปริมาณไขมันที่สกัดได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไขมันของตัวอย่าง (ร้อยละ)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

โดย W_1 = น้ำหนักของ Extraction cup และน้ำหนักไขมันที่สกัดได้ภายหลังการอบแห้งแล้ว (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของ Extraction cup ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (กรัม)

ภาคผนวก ก4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC., 2005

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert/USA
2. เตาไฟฟ้า (Electric burner)
3. เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ F 6010/Thermolyne/USA
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa Switzerland
6. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible)
7. ที่คีบ (Tong)
8. ถุงมือ (Gloves)
9. ถาด (Tray)

วิธีการวิเคราะห์

1. อบ Crucible ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ Crucible
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 4-6 กรัม ใส่ลงไปใน Crucible แล้วนำไปเผาไฟอ่อน ๆ บน Electric burner จนหมดควัน
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 ± 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือเทา (ถ้ายังเป็นสีดำให้นำออกมาหยดน้ำกลั่นลงไปให้ท่วมแล้วเผาต่อจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว)
4. นำออกมालดอุณหภูมิใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ใน Desiccator ที่งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เเผาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จากนั้นนำมาคำนวณหาเถ้าด้วยสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณเถ้าของตัวอย่าง (ร้อยละ)} = \frac{(W_2 - W)}{(W_1 - W)} \times 100$$

- โดย
- W_1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
 - W_2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)
 - W = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

ภาคผนวก ก5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC., 2005

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (Fiber tec) ยี่ห้อ 1020 Kjelttec/Foss/Sweden
2. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert/USA
4. เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ F 6010/Thermolyne/USA
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa Switzerland
7. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible)
8. ปีกเกอร์ (Beaker)

สารเคมี

1. Celite
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. Octanol ($C_8H_{18}O$)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. อะซิโตน (C_3H_6O)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม และชั่ง Celite 1 กรัม เพื่อช่วยในการกรองแล้วนำเข้าเครื่อง Fiber extraction unit ในส่วน Hot extraction
2. Hot extraction step 1: วาง Crucible ในช่อง เติม H_2SO_4 ร้อยละ 1.25 ที่ร้อน ประมาณ 150 มิลลิลิตร และหยด Octanol 2-4 หยด เพื่อป้องกันการ Foaming ต้มให้เดือดและจับเวลา 30 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน 30 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งต้องระบายน้ำออกด้วย
3. Hot extraction step 2: เติม NaOH ร้อยละ 1.25 ที่ร้อน 150 มิลลิลิตรและหยด Octanol 2-3 หยด เพื่อป้องกันการ Foaming ต้มให้เดือดและจับเวลา 30 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน 30 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งต้องระบายน้ำออกด้วย
4. นำ Crucible เข้า Cold extraction เติม Acetone 25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที กรองแล้วทำซ้ำอีกครั้ง
5. นำ Crucible เข้า Hot air oven เพื่อระเหย Solvent และ Dry crucible ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง จากนั้นนำ Crucible มาเข้า Furnace ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาลดอุณหภูมิให้ได้ ประมาณ 250 องศาเซลเซียสใน Hot air oven จากนั้นนำมาเข้า Desiccator และชั่งน้ำหนัก
6. จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณใยอาหารดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเส้นใยของตัวอย่าง (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

โดย $W_1 =$ น้ำหนักตัวอย่าง
 $W_2 =$ น้ำหนัก Crucible + น้ำหนักตัวอย่างก่อน
 $W_3 =$ น้ำหนัก Crucible + น้ำหนักตัวอย่างหลัง

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ภาคผนวก ข1 การวัดค่าสี

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสี

1. เครื่องวัดค่าสี Handy colorimeter รุ่น NR-3000/Japan
2. จานเพาะเชื้อ (Plate)

การวัดสีของตัวอย่างจะวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี NR 3000 Handy Colorimeter ด้วยระบบสีของ (Hunter Color System) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรของสี 3 ตัว คือ

L คือ ค่าความแตกต่างของสี ซึ่งมีค่าจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือ สีขาว

a คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียว และสีแดงที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า a เป็นบวก แสดงถึงค่าความเป็นสีแดง ค่า a เป็นลบ แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียว

b คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า b เป็นบวก แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง ค่า b เป็นลบ แสดงถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน

วิธีการวัดค่าสี

1. นำตัวเครื่องทาบกับจานเพาะเชื้อใส่แล้วกดปุ่มที่มีรูปดวงไฟจนกว่าไฟสีน้ำเงินจะดับ
2. ตัวเลขจะปรากฏขึ้น ทำการบันทึกค่าสี L, a และ b ที่ได้

ภาคผนวก ข2 การตรวจสอบลักษณะสัญญาณ

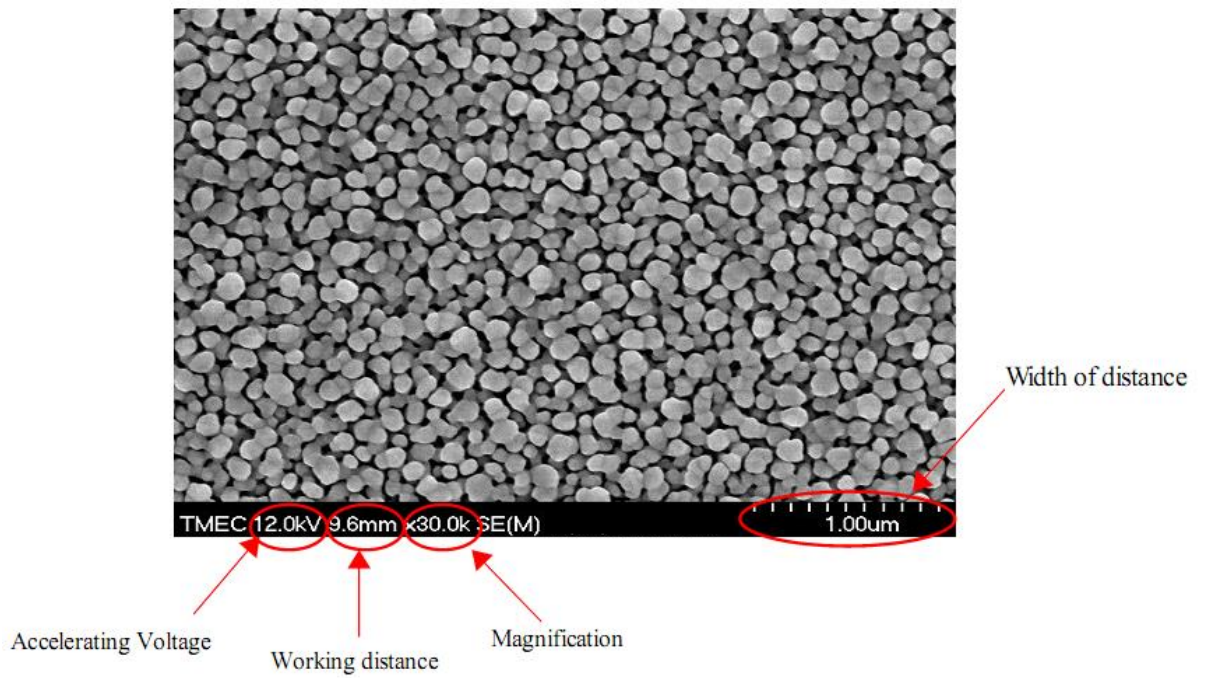
วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะสัญญาณ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope : FESEM)

วิธีการตรวจสอบลักษณะสัญญาณ

ทำการตรวจสอบลักษณะสัญญาณโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope : FESEM) ยี่ห้อ FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700





การตรวจดูค่าสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างจะสามารถตรวจดูค่าที่มีความสำคัญ ได้ได้รูปโดยตัวเลขต่างๆได้รูปภาพแสดงถึงค่าดังลูกศรในภาพ ซึ่งค่าขนาดในสเกลบาร์ด้านล่างขวาคือ ค่าของระยะทั้งหมด 10 ช่อง โดยตามตัวอย่างหมายถึงความกว้างทั้งหมด 10 ช่อง มีค่าเท่ากับ 1.00 ไมโครเมตร ในแต่ละช่องย่อยจึงมีความกว้างเท่ากับ 0.10 ไมโครเมตร หรือ 100 นาโนเมตร เป็นต้น

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตา พูเฒ่า
ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์
หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน
มหาวิทยาลัยสวนดุสิต 228-228/1-3 ถนนสิรินธร
เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
เบอร์โทรศัพท์ 02-4239435 มือถือ 080-6172529
E-mail: tita_foo@dusit.ac.th

ประวัติการศึกษา

Ph.D. Eng (Biotechnology) Osaka University, Osaka, Japan
M. Eng. (Biotechnology) Osaka University, Osaka, Japan
วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
(เกียรตินิยมอันดับที่ 2)

ผลงานวิจัย

1. วีรชน ภูหินกอง, จิตา พูเฒ่า และพุทธิธร แสงรุ่งเรือง (2559) การสังเคราะห์วัสดุเชิงซ้อนออกไซด์/คอปเปอร์ออกไซด์ นาโนคอมโพสิต เพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค สำหรับการประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร *วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 9(2): 95-118.
2. Foophow, T. and Tangjitjaroenkun, J. (2015). Protease producing bacteria isolated from mangrove forest sediments in Eastern Thailand: Screening, identification and optimization. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.* 17(4): 907-916.
3. จิตา พูเฒ่า, อัจฉรา พรหมแสง, พิชรา อันโต และวีระ พุ่มเกิด (2557) ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลล์ไลสจากกากเมล็ดมะรุม *วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 7(2): 43-55.
4. Sinsereekul, N*., Foophow, T.*., Yamanouchi, M., Koga, Y., Takano, K. and Kanaya, S. (2011) An alternative mature form of subtilisin homologue, Tk-SP, from *Thermococcus kodakaraensis* identified in the presence of Ca²⁺. *FEBS J.* 278(11): 1901-1911.
* These authors contributed equally to this work
5. Foophow, T., Tanaka, S., Angkawidjaja, C., Koga, Y., Takano, K. and Kanaya, S. (2010) Crystal structure of a subtilisin homologue, Tk-SP, from *Thermococcus kodakaraensis*: requirement of a C-terminal β -jelly roll domain for hyperstability. *J. Mol. Biol.* 400(4): 865-877.
6. Foophow, T., Tanaka, S., Koga, Y., Takano, K. and Kanaya, S. (2010) Subtilisin-like serine protease from hyperthermophilic archaeon *Thermococcus kodakaraensis* with N- and C-terminal propeptides. *Protein Eng. Des. Sel.*, 23(5): 347-355.
7. Noitang, S., Sooksai, S.A., Foophow, T. and Petsom, A. (2009) Proximate Analysis and Physico-Chemical Properties of Flour from the Seeds of the China Chestnut, *Sterculia monosperma* Ventenat. *PJBS.*, 12(19): 1314-1319.

ชื่อ-นามสกุล นายวีรชน ภูหินกอง
 ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งนักวิจัย
 หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต 228-228/1-3 ถนนสีรินธร
 เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
 เบอร์โทรศัพท์ 02-4239442-3
 E-mail: p_veerachon@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วท.ม. (เคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ศศ.บ. (สาขาวิทยาศาสตร์ เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานวิจัย

1. **Phoohinkong, W.**, Pavasupree, S., Wannagon, A., Boonyarattanakalin, K., Mekprasart, W., and Pecharapa, W. (2017). Electrochemical properties of nanopowders derived from ilmenite and leucosene natural minerals, *Ceramics International*, In Press, Corrected Proof.
2. Wattanawikkam, C., **Phoohinkong, W.**, and Pecharapa, W. (2017). Structural, Optical and Magnetic Properties of Diluted Magnetic Perovskite ZnTiO₃ Doped with Co and Mn Prepared by Sonochemical Method, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(5), 3620-3628(9).
3. **Phoohinkong, W.**, Foophow, T., and Sukonket, T. (2017). Structural Properties of Copper Zinc Oxide Nanoparticles prepared from Solid State Reaction, *Thai Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2(1), 1-11.
- 4 . **Phoohinkong, W.**, Foophow, T., and Pecharapa, W. (2017). Synthesis and characterization of copper zinc oxide nanoparticles obtained via metathesis process, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8(3), 035003.
5. **Phoohinkong, W.**, Pavasupree, S., Wannagon, A., Sanguanpak, S., Boonyarattanakalin, K., Mekprasart, W., and Pecharapa, W. (2017). Characterization and x-ray absorption spectroscopy of ilmenite nanoparticles derived from natural ilmenite ore via acidassisted mechanical ball-milling process, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 8, 035012.
6. **Phoohinkong, W.**, and Sukonket, T. (2016). Preparation of Nanosized Manganese Oxide Particles via Solid-State Route Reaction, *Key Engineering Materials*, 675-676, 146-149.
- 7 . **Phoohinkong, W.**, Mekprasart, W., and Pecharapa, W., (2 0 1 6). Photocatalytic Performance of Ball-Milled Anatase/Rutile Mixed Phase TiO₂ Composite Powders, *Key Engineering Materials*, 675-676, 593-596.
8. Junlabhut, P., Wattanawikkam, C., **Phoohinkong, W.**, Mekprasart, W., and Pecharapa, W. (2016). Effect of Cobalt Dopant on Structural and Optical Properties of Co-Precipitated TiO₂ Nanopowders, *Key Engineering Materials*, 675-676, 97-100.

ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ พิชัยวงศ์วงศ์ดี
 ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์
 หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน
 มหาวิทยาลัยสวนดุสิต 228-228/1-3 ถนนสีรินธร
 เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
 เบอร์โทรศัพท์ 02-4239435
 E-mail: pi_suwanna@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

Ph.D. (Food Science; IP) King Mongkut's Institute of Technology Ladkang
 วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผลงานวิจัย

1. Sutasinee, C. and **Pichaiyongvongdee, S.** (2016). Response surface methodology study on optimization on fish Tofu as affected by dietary powder from pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) albedo and tapioca starch. *Kasetsart University Fisheries Research Bulletin*, 40(3), 113-125.
2. พรทวิ ธนสัมพันธ์ และ **สุวรรณ พิชัยวงศ์วงศ์ดี** (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกเดือยพร้อมดื่มผสมน้ำใบย่านางเข้มข้น. *วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 8(2): 53-65.
3. **Pichaiyongvongdee, S.** and Rattanapun, B. (2015). Effect of Chemical Treatment to Reduce the Bitterness and Drying on Chemical Physical and Functional Properties of Dietary Fiber Pomelo Powder from *Citrus grandis* (L.) osbeck Albedo. *J. Kasetsart* (Nat. Sci.), 4(1): 122-132.
4. **Pichaiyongvongdee, S.**, Rattanapun, B. and Haruenkit, R. (2014). Total Polyphenol Contents and Antioxidant Properties in Different Tissues of Seven Pomelo [*Citrus maxima* Mer.] Cultivars. *J. Kasetsart* (Nat. Sci.), 48(6): 989-996.
5. **Pichaiyongvongdee, S.** and Haruenkit, R. (2011). Effect of Ethylene Treatments on Limonin Reduction in Thai Pummelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) Fruit. *J. Kasetsart* (Nat. Sci.), 45: 1105-1114.
6. **Pichaiyongvongdee, S.** and Haruenkit, R. (2009). Investigation of Limonoids, Flavanones, Total Polyphenol Content & Antioxidant Activity in Seven Thai Pummelo Cultivars. *J. Kasetsart* (Nat. Sci.), 43(3): 458-466.
7. **Pichaiyongvongdee, S.** and Haruenkit, R. (2009). Comparative Studies of Limonin & Naringin Distribution in Different Parts of Pummelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) Cultivars Grown in Thailand. *J. Kasetsart* (Nat. Sci.), 43 (1): 28-36.

ชื่อ-นามสกุล นายพิพัฒน์ เลิศโกวิทย์
ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์
หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธนบุรี 248 ซอยเพชร
เกษม 110 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กทม. 10160
เบอร์โทรศัพท์ 02-8090823-7 มือถือ 082-9561524
E-mail: pipatpop56@gmail.com

ประวัติการศึกษา

วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผลงานวิจัย

1. พิพัฒน์ เลิศโกวิทย์ และ บัณฑิต อินทรีมีศักดิ์ (2558). การออกแบบและสร้างเครื่องหัน
เอนกประสงค์. การประชุมวิชาการระดับชาติ เบญจมิตร วิชาการ ครั้งที่ 6
2. พิพัฒน์ เลิศโกวิทย์ และ เอกพล ทัพบร (2559). การจัดสมดุลสายการผลิตเครื่องเสียงรถยนต์.
การประชุมวิชาการระดับชาติ เบญจมิตร วิชาการ ครั้งที่ 7