รายงานการวิจัย
เรื่อง

การศึกษาวิธีการสกัดและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม
The study on cellulose extraction from Moringa seed cake

ดร.ฐิตา ฟูเผ่า
นายวีระ พุ่มเกิด
และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การศึกษาวิธีการสกัดและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม
The study on cellulose extraction from Moringa seed cake

ดร.ฐิตา ฟูเผ่า
(โรงเรียนการเรือน)
นายวีระ พุ่มเกิด
(โรงเรียนการเรือน)
และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปีงบประมาณ 2556)

หัวข้อวิจัย การศึกษาวิธีการสกัดและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม
ผู้ดำเนินการวิจัย ดร.ฐิตา ฟูเผ่า
อ.วีระ พุ่มเกิด
นางสาวอัจฉรา พรหมแสง
นางสาวพัชรา อ้นโต
หน่วยงาน หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปี พ.ศ. 2557

กากเมล็ดมะรุมเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม โดยหลังจากการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมจะมีส่วนของกากเมล็ดมะรุมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี พบว่า กากเมล็ดมะรุมเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดเซลลูโลส และวิเคราะห์คุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม โดยได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมของการสกัด เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเซลลูโลสทางการค้า โดยจากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดมะรุมประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และโปรตีน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.46 28.85 และ 22.96% โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม คือการสกัดด้วยวิธีทางเคมี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ซึ่งมีปริมาณผลผลิต 22.05% และปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ 94.75% โดยเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีสีเข้มกว่า (*L**ต่ำกว่า) เซลลูโลสทางการค้า (CMC) ปริมาณความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ และอุ้มน้ำมันใกล้เคียงกับเซลลูโลสทางการค้า อย่างไรก็ตามเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่า และความหนาแน่นจำเพาะต่ำกว่าเซลลูโลสทางการค้า ดังนั้นกากเมล็ดมะรุมจึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการนำมาสกัดเซลลูโลส ซึ่งเซลลูโลสที่สกัดได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารได้ในอนาคต

Research Title The study on cellulose extraction from Moringa seed cake
Researcher Dr.Tita Foophow
Mr.Weera Bhumgerd
Ms.Atchara Promsang
Ms.Phatchara Onto
Organization Food Processing Technology, School of Culinary Arts,
Suan Dusit Rajabhat University
Year 2014

Moringa seed cake is the residue from Moringa oil extraction. After oil extraction, the cake consists of dietary fiber. To examine whether Moringa seed cake can be applied in food as a source of dietary fiber, the seed cake was determined in chemical compositions. Cellulose from the seed cake was then extracted and characterized. To obtain the optimum methods and conditions for cellulose extraction, the chemical and biological methods were studied. Then, the properties of Moringa seed cake cellulose (MSC) were characterized and compared with those of commercial cellulose. The chemical compositions of cake consist of carbohydrate, fiber and protein, having an average value of 30.46, 28.85 and 22.96% dry basis, respectively. The suitable method and condition for cellulose extraction from Moringa seed cake was obtained using the chemical method with a pre-hydrolysis temperature at 90°C and 5%NaOH, which gave high in yield content (22.05%) and cellulose content (94.75%). The color of MSC was darker (lower L^*) than that of commercial cellulose (CMC). Moisture content, water and oil retention capacity of MSC were similar to those of commercial cellulose. However, MSC is high swelling capacity and low bulk density. Therefore, Moringa seed cake is a proper source for cellulose extraction, which can be applied for use as a food additive in the future.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาวิธีการสกัดและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยบุคคลหลายท่านได้กรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ และความคิดเห็น ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร.ศรินทิพ สุกใส และคุณปัญญา คูวิจิตรจารุ จากบริษัท World Agrotech. Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านวัตถุดิบกากเมล็ดมะรุมจากมูลนิธิชัยพัฒนาและเซลลูโลสทางการค้า (CMC) ขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์เซลลูโลส และขอขอบคุณทีมคณะผู้วิจัยทุกท่านที่ร่วมกันทำงานวิจัยอย่างขยันและตั้งใจจนงานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวิฒิสำหรับการประเมินงานวิจัยนี้ และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นและให้ทุนอุดหนุนในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย
2556

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
	ขอบเขตการวิจัย	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	**แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	3
	มะรุม	3
	ใยอาหาร	5
	เซลลูโลส	10
	การสกัด	19
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
	กรอบแนวคิดในการวิจัย	22
บทที่ 3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	23
	วัตถุดิบ	23
	วัสดุอุปกรณ์	23
	สารเคมี	23
	วิธีการทดลอง	24
	สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	32
บทที่ 4	**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**	33
	การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดมะรุม	33
	วิธีการสกัด และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม	34
	คุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า	39

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 45
สรุปผลการทดลอง 45
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ 45
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป 45

บรรณานุกรม 47
บรรณานุกรมภาษาไทย 47
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ 49

ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี 51
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ 72
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ 81

ประวัติผู้วิจัย 84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของฝักมะรุม	4
2.2	สรรพคุณทางยาของมะรุม	5
2.3	องค์ประกอบของโครงสร้างในใยอาหารชนิดต่าง ๆ	8
2.4	การใช้เซลลูโลสเพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร	12
2.5	คุณสมบัติของเซลลูโลสผงที่ความยาวของเส้นใยขนาดต่าง ๆ	13
2.6	คุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของเซลลูโลสผงตาม Food Chemical Codex	14
2.7	คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผง	15
2.8	การประยุกต์ใช้เซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์อาหาร	17
2.9	แผนผังการสกัดเซลลูโลสจากพืช	19
4.1	คุณสมบัติทางเคมีของกากเมล็ดมะรุม	33
4.2	ปริมาณผลผลิต และปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	34
4.3	ปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน	36
4.4	ปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวของการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพ	37
4.5	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ	38
4.6	คุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้า	40
4.7	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้า	41
4.8	ค่าสีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้า	42

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของมะรุม	3
2.2	ลักษณะของเมล็ดมะรุม	4
2.3	โครงสร้างของแอลกอฮอล์ในลิกนิน	7
2.4	โครงสร้างของเซลลูโลส	11
2.5	เส้นใยเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชชั้นสูง	11
2.6	ลักษณะเซลลูโลสผง	15
2.7	โครงสร้างของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	18
2.8	แผนผังการสกัดเซลลูโลสจากพืช	19
4.1	ลักษณะของกากเมล็ดมะรุม	33
4.2	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมี (ซ้าย) และวิธีทางชีวภาพ (ขวา)	39
4.3	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (ซ้าย) และเซลลูโลสทางการค้า (ขวา)	42
4.4	ลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ขนาด 100 เมช กำลังขยาย 250X	43
4.5	ลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสทางการค้า ขนาด 100 เมช กำลังขยาย 250X	43

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันจะเห็นว่าสมุนไพรไทยมีการประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นทุกปีไม่ว่าจะเป็นทางด้านอาหาร ยา เครื่องสำอาง สิ่งทอ เป็นต้น โดยมะรุมก็ถือว่าเป็นพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่มีความน่าสนใจ โดยมะรุมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera* จัดอยู่ในตระกูล Moringaceae จากการศึกษาโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันพบว่า มะรุมเป็นพืชที่มีสารจำพวก Polyelectrolyte อยู่ในเมล็ด มีคุณสมบัติในการช่วยตกตะกอน และในแถบทวีปแอฟริกาใช้เมล็ดมะรุมกำจัดความขุ่นในน้ำ (ภิญญ์ฑิตา มุ่งการดี, 2531) ต้นมะรุมปลูกได้ทุกภาคในประเทศไทย โดยมะรุมเป็นพืชมหัศจรรย์มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นพืชที่รักษาได้เกือบทุกโรค มีธาตุอาหารปริมาณสูงเป็นพิเศษที่ช่วยป้องกันโรค (สุธาทิพย์ ภมรประวัติ, 2550) นอกจากนั้นในปัจจุบันยังได้มีการนำเมล็ดมะรุมมาสกัดเป็นน้ำมัน เพื่อใช้ในการปรุงอาหาร และบำรุงผิวพรรณ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดมะรุม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเมล็ดมะรุมถูกสกัดเอาน้ำมันออกแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งที่เราเรียกว่ากากเมล็ดมะรุมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยในปัจจุบันมีการนำกากเมล็ดมะรุมมาใช้ในการกรอง หรือทำน้ำให้บริสุทธิ์เป็นน้ำดื่มได้ มีคุณสมบัติเป็นยาฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง (Bhatia et al., 2007) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบภายในของกากเมล็ดมะรุมจะพบว่าโดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเส้นใย (fiber) ซึ่งเส้นใยที่เราพบในพืชนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดของเส้นใยที่สนใจกันมากคือเซลลูโลส (cellulose) เนื่องจากเซลลูโลสมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารอย่างมากมาย เช่น สามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในน้ำผลไม้ ช่วยลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด และช่วยเพิ่มการพองตัวในขนมขบเคี้ยว เป็นต้น นอกจากนี้เซลลูโลสยังจำเป็นต่อร่างกายของคนเรา เนื่องจากเซลลูโลสสามารถช่วยในการขับถ่าย และป้องกันการเกิดโรคท้องผูกได้ เป็นต้น ในปัจจุบันเซลลูโลสผงที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาแพง ทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เซลลูโลสผงนี้มีราคาสูงตามไปด้วย ดังนั้นการศึกษาวิจัยการสกัดเซลลูโลสผงจากกากเมล็ดมะรุมจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าของกากเมล็ดมะรุมและอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการนำเข้าเซลลูโลสจากต่างประเทศลงได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของกากเมล็ดมะรุม
2. เพื่อศึกษาวิธีการสกัด และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า

ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลอง คือ เมล็ดมะรุมที่ได้สกัดน้ำมันออกแล้วจนเหลือแต่กากเมล็ดมะรุม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จากโครงการมูลนิธิชัยพัฒนา จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เช่น ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ศึกษาวิธีการสกัด และสภาวะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของเซลลูโลสที่สกัดได้ หลังจากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของเซลลูโลสที่สกัดได้ทั้งทางเคมี เชิงหน้าที่ และทางกายภาพ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ สี ความหนาแน่น และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสทางการค้า เพื่อสามารถนำเซลลูโลสผงที่สกัดได้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุเจือปนอาหารได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรอิสระ คือวิธีการสกัด และสภาวะที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสผงจากกากเมล็ดมะรุม
- ตัวแปรตาม คือปริมาณและคุณสมบัติของเซลลูโลสผงที่สกัดได้

<u>ตัวแปรอิสระ</u> <u>ตัวแปรตาม</u>

วิธีทางเคมี ดัดแปลงตามวิธีของ Sun et al. (2004)
สภาวะที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลส
- อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส
- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีทางชีวภาพ ดัดแปลงตามวิธีของ Sun & Hughes (1998)

→

- ปริมาณของเซลลูโลส
- คุณสมบัติของเซลลูโลส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงคุณสมบัติทางเคมีของกากเมล็ดมะรุม
2. ทราบถึงวิธีการสกัด และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดของเซลลูโลสของกากเมล็ดมะรุม
3. ทราบถึงคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะรุม (Moringa)

มะรุมเป็นพืชที่พบได้ในทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่เติบโตได้ง่ายในดินทุกชนิด ต้องการปริมาณน้ำปานกลาง ถิ่นกำเนิดของมะรุมอยู่แถบใต้เชิงเขาหิมาลัย ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย อยู่ในวงศ์ Moringaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera Lam.* ในประเทศไทยแต่ละภาคมีการเรียกชื่อมะรุมที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผักอีฮุม หรือผักอีฮึม (ภาคอีสาน) มะค้อมก้อน (ภาคเหนือ) เป็นต้น สำหรับชื่อทั่วไปในภาอังกฤษจะเรียกว่า Moringa หรือ Drumstick Tree เนื่องจากลักษณะของเมล็ดที่มีรูปร่างยาวเหมือนไม้ตีกลอง

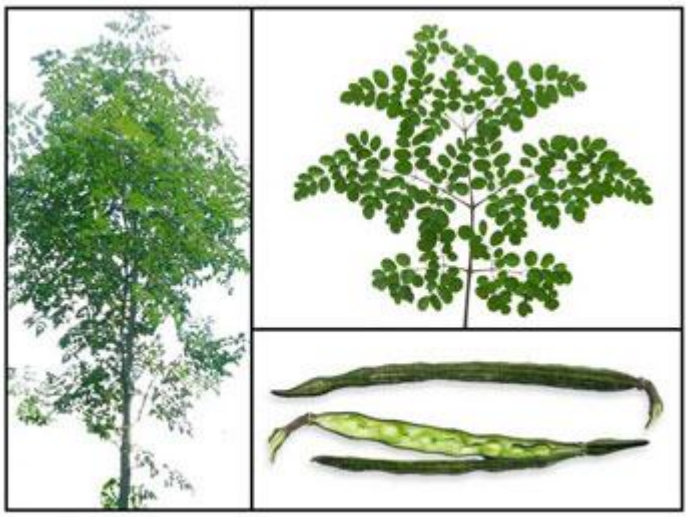
1. ลักษณะของมะรุม

มะรุมเป็นไม้ยืนต้นที่เติบโตเร็ว ลักษณะสูงโปร่ง ความสูงของต้นประมาณ 3-4 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ขยายพันธุ์ได้โดยการเพาะเมล็ดและการปักชำ ลักษณะของมะรุมมีดังนี้

ใบ: ใบมะรุมเป็นใบประกอบมีลักษณะคล้ายขนนก มีใบย่อย 3 ชั้น ยาว 20-40 เซนติเมตร มีใบย่อยยาว 1-3 เซนติเมตร รูปไข่ ที่ฐานและปลายใบโค้งมน สีของใบด้านบนจะเข้มกว่าด้านล่าง

ดอก: มะรุมออกดอกตลอดทั้งปี เป็นช่อสีขาว มีทั้งกลีบดอกและกลีบเลี้ยง โดยกลีบดอกจะมี 5 กลีบ แยกออกจากกัน ยาว 1.5-2.0 เซนติเมตร เรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ มักออกดอกตามซอกของใบตรงบริเวณปลายกิ่ง

ผล: ผลมะรุมมีลักษณะเป็นฝักคล้ายถั่ว ยาว 20-50 เซนติเมตร ฝักอ่อนจะมีเปลือกสีเขียว และเมื่อฝักแก่เปลือกจะแห้งและกลายเป็นสีน้ำตาล ภายในฝักจะประกอบด้วยเมล็ดอยู่เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของมะรุม

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535)

เมล็ด: เมล็ดมีลักษณะเป็นทรงสามเหลี่ยม โดยมีเปีกบาง ๆ หุ้มอยู่ 3 ด้าน ภายในมีเมล็ดสีน้ำตาลทรงกลม ลักษณะแข็ง ขนาด 0.6-0.8 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเมล็ดมะรุม
ที่มา: http://www.dd-health.com/default.asp

2. คุณค่าทางโภชนาการ

ผลหรือฝักมะรุมนิยมนำมาทำแกงส้มมะรุม ช่อดอกมะรุมสามารถนำไปดองและรับประทานแกมกับน้ำพริก ส่วนยอด ใบอ่อน ช่อดอก และฝักอ่อนของมะรุมสามารถนำมาลวกหรือต้มรับประทานคู่กับน้ำพริกชนิดต่าง ๆ ได้ ฝักมะรุม 100 กรัม จะมีเส้นใย 1.2 กรัม และให้พลังงานต่อร่างกาย 32 กิโลแคลอรี่ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของฝักมะรุม

100 กรัม น้ำหนักสัดส่วนที่กินได้	มิลลิกรัม						
	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	วิตามินเอ	วิตามินบีหนึ่ง	ไนอาซีน	วิตามินซี
ฝักมะรุม	9	26	1.5	532	0.05	0.6	262

ที่มา: สุธาทิพย์ ภมรประวัติ (2550)

นอกจากนี้มะรุมยังเป็นพืชที่มีสรรพคุณในทางยาอย่างมากมาย ที่สามารถรักษาได้หลายโรค เนื่องจากมะรุมเป็นพืชที่มีธาตุอาหารปริมาณสูงที่ช่วยป้องกันโรคได้ โดยสรรพคุณของมะรุมดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรรพคุณทางยาของมะรุม

ส่วนของมะรุม	สรรพคุณ
ใบ	ลดไข้ แก้เลือดออกตามไรฟัน แก้อักเสบ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ขับปัสสาวะ ลดความดันโลหิต และป้องกันมะเร็ง
ยอดอ่อน	ลดไข้
ดอก	แก้ไข้หัวลม ขับปัสสาวะ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และป้องกันมะเร็ง
ราก	แก้อาการบวม รักษาโรคไขข้อ โรคหัวใจ
เปลือกและลำต้น	ขับลมในลำไส้ ช่วยย่อยอาหาร ป้องกันมะเร็ง
ยาง	ฆ่าเชื้อไทฟอยด์ ซิฟิลิส แก้ปวดฟัน
เมล็ด	ลดไข้ แก้บวม แก้ปวดตามข้อ ป้องกันมะเร็ง

ที่มา: สุธาทิพย์ ภมรประวัติ (2550)

ในปัจจุบันได้มีการนำเมล็ดของมะรุมมาสกัดเป็นน้ำมันมะรุม ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ปฐม โสมวงศ์, 2552) น้ำมันมะรุมประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ ไลซีน ซิสเทอีน แวลีน เมไทโอนีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ฟีนิลอะลานีน ทรีโอนีน อยู่ที่ปริมาณ 3.21 2.09 3.05 1.09 4.01 5.74 4.24 และ 3.03 กรัมต่อ 100 กรัมของโปรตีน ตามลำดับ (สุธาทิพย์ ภมรประวัติ, 2550) นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่พบว่าในผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะรุมที่ใช้กับตา เมื่อนำมาทดสอบกับหนูทดลองสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของน้ำมันจากเมล็ดมะรุม จะประกอบไปด้วย Sterol ชนิดต่าง ๆ และกรดไขมัน C18:1 (67.90%-76.00%), C16:0 (6.04%-7.80%) C18:0 (4.14%-7.60), C20:0 (2.76%-4.00%) และ C22:0 (5.00%-6.73) ในเมล็ดมะรุมจะมีปริมาณน้ำมันประมาณ 26% และมีปริมาณฟอสโฟลิปิดค่อนข้างต่ำเพียง 0.17% ลักษณะสีของน้ำมันที่ได้จะเป็นสีเหลืองใส ไม่มีกรดไซโคลโพรพีน แต่มีโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่วและทองแดงเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยกระทรวงอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามสามารถลดปริมาณโลหะเหล่านี้ได้ ด้วยการผ่านกระบวนการรีไฟน์ (refining) (กรณ์อัฐชญา และคณะ, 2555และจันทนา ก่อนเก่า, 2539) จากคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันจากเมล็ดมะรุม จึงมีแนวโน้มทางการตลาดที่จะนำน้ำมันจากเมล็ดมะรุมมาทดแทนน้ำมันมะกอกได้ในอนาคต

ใยอาหาร (Dietary fiber)

ใยอาหาร เป็นส่วนที่รับประทานได้ของผนังเซลล์ที่มีอยู่ในผัก ผลไม้ และเมล็ดธัญพืช เมื่อผู้บริโภครับประทานเข้าไป ใยอาหารจะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก (ประภาศรี ภูวเสถียร และคณะ, 2533) ดังนั้นใยอาหารจึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายเนื่องจากไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร แต่ใยอาหารบางส่วนจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ และถูกดูดซึมกลับสู่ร่างกาย จะเห็นได้ว่าใยอาหารจะมีบทบาทที่สำคัญต่อการทำงานและการดูดซึมสารของลำไส้ใหญ่ (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534) โครงสร้างของใยอาหารที่พบในพืชจะประกอบด้วย

คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellolose) เพคติน (Pectin) และกัมส์ (Gums) เป็นต้น และสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non-polysaccharides) ได้แก่ ลิกนิน (Lignin) เป็นต้น (สันทนา อมรไชย, 2537 Baghurst et al., 1996 และ Eastwood, 1997)

1. ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารสามารถแบ่งตามคุณสมบัติการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ (insoluble Fiber) และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble Fiber) สำหรับผลรวมของปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะเรียกได้เป็นปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) (Prosky & DeVries, 1992)

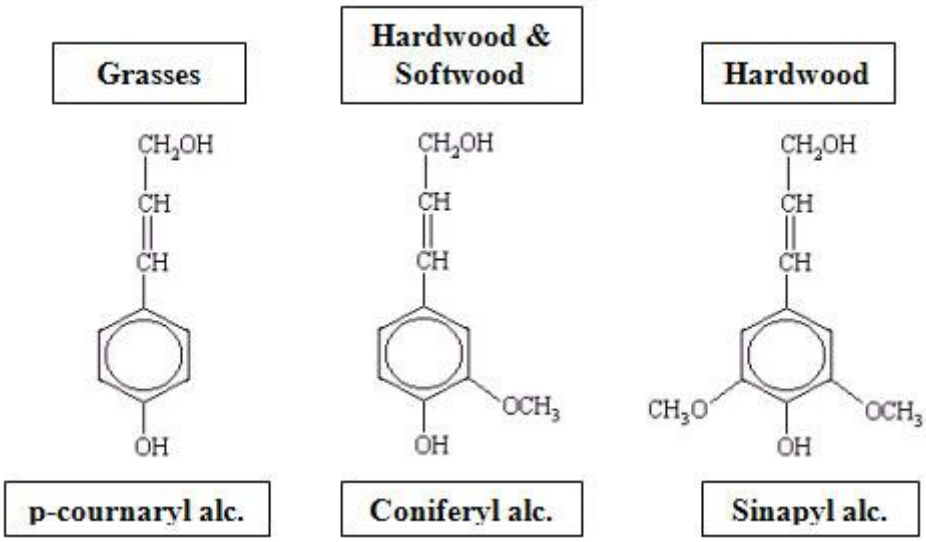
1.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ (Insoluble Fiber) เป็นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำแต่สามารถพองตัวในน้ำเหมือนฟองน้ำ ไม่ให้ความหนืด ทำให้ช่วยเพิ่มปริมาตรน้ำในกระเพาะอาหาร ผู้บริโภคจะรู้สึกอิ่มได้ง่ายขึ้นเมื่อรับประทานใยอาหารประเภทนี้เข้าไป ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้จะไม่ถูกย่อยด้วยแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ทำให้มวลของอุจจาระเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดปัญหาท้องผูกสำหรับผู้บริโภคได้ ชนิดของใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ ได้แก่

1.1.1 เซลลูโลส (Cellulose) โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิดเบต้า-1,4 เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 หน่วย แต่ละสายของเซลลูโลสเรียงตัวขนานกัน จับกันอย่างหลวม ๆ ทำให้มีพื้นที่ในการดูดซับน้ำได้ดี เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักที่พบมากในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง โดยเฉพาะในผัก ซึ่งจะพบมากกว่าในเมล็ดธัญพืชและผลไม้ (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2540)

1.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลในกลุ่มของเฮกโซส (hexose) และเพนโทส (pentose) ซึ่งมาจากน้ำตาลหลายชนิด โดยมีน้ำตาลไซโลส (xylose) เป็นน้ำตาลหลักที่เชื่อมต่อกับน้ำตาลชนิดอื่น ได้แก่ น้ำตาลแมนโนส (mannose) กาแลคโทส (galactose) หรือกลูโคส ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิดเบต้า-1,4 กลายเป็นโซ่หลักของเฮมิเซลลูโลส และมีโซ่สาขาซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลอะราบีโนส (arabinose) และ กรดกลูคิวโรนิค (glucuronic acid) ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันมากกว่า 250 โครงสร้าง โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสมักพบอยู่ด้วยกันกับเซลลูโลสและเพคติน โดยแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์พืช คุณสมบัติของเฮมิเซลลูโลสคือไม่สามารถละลายในน้ำได้ แต่สามารถละลายในด่างอ่อนได้ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากจนมีลักษณะคล้ายเจล รวมทั้งคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ โดยประจุจากแร่ธาตุในอาหารจะถูกดูดซับไว้ในใยอาหาร และร่างกายจะขับออกจากร่างกายพร้อมกับของเสียต่าง ๆ

1.1.3 ลิกนิน (Lignin) โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำประเภทฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ซึ่งเกิดจากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ที่มีวงแหวนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และไซนาพิล (sinapyl) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ลิกนินมักพบมากในไม้เนื้อแข็ง พืช และผลไม้ที่ค่อนข้างแก่ ดังนั้นในผลไม้สุกจะพบลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ คุณสมบัติของลิกนิน คือไม่มีความยืดหยุ่น จึงทำให้พืชมีความแข็งแรง ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ทั้งในกรดและด่าง รวมถึงในระบบทางเดินอาหารของคนเรา มีความสามารถในการดูดซับน้ำดี

(bile salt) และอาจส่งผลต่อการดูดซึมสารอาหารบางอย่างในลำไส้เล็กในช้าลงได้ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ในลิกนิน
ที่มา: http://www.buranapagroup.com/knowledge_chemical.php

1.2 ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Fiber) เป็นใยอาหารที่มีความสามารถในการละลายกับน้ำ เมื่อละลายน้ำแล้วจะดูดซับน้ำไว้กับตัว ทำให้เกิดความหนืดเพิ่มมากขึ้น ใยอาหารประเภทนี้ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ แต่แบคทีเรียที่อาศัยในสำไส้ใหญ่สามารถย่อยได้ ชนิดของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่

1.2.1 เพคติน (Pectin) โครงสร้างของเพคตินจะประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิค (galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิดแอลฟา-1,4 และมีน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลแรมโนส (rhamnose) อะราบิโนส ไซโลส และฟูโคส (fucose) เกาะอยู่เป็นโซ่สาขา เพคตินพบได้มากในผนังเซลล์และรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ของผักและผลไม้ ซึ่งจะรวมตัวอยู่ด้วยกันกับเซลลูโลส เพคตินพบได้มากที่สุดในผลไม้ตระกลูส้ม เช่น มะนาว ส้ม กากแอปเปิ้ล และเสาวรส เป็นต้น เพคตินสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งการละลายน้ำจะขึ้นกับการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ของหมู่คาร์บอซิล (carboxyl) ของกรดกาแลคทูโรนิค คุณสมบัติที่สำคัญของเพคติน คือความสามารถในการเกิดเจล ช่วยเพิ่มความหนืด ดังนั้นจึงมีการนำเพคตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่ม เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค นอกจากนั้นลักษณะที่เป็นวุ้นของเพคตินเมื่อละลายกับน้ำ

1.2.2 กัมส์ (Gums) ไม่ได้อยู่ที่ผนังเซลล์ของพืช แต่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืชและสัตว์ ซึ่งกัมส์มีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น กัมจากยางพืช ได้แก่ กัมอาราบิค (gum arabic) กัมจากเมล็ดพืช ได้แก่ กัวกัม (guar gum) โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และเบต้ากลูแคน (β-glucan)

กัมจากสาหร่าย ได้แก่ คาราจีแนน (carrageenan) วุ้น (agar) และอัลจิเนต (alginate) กัมจากจุลินทรีย์ ได้แก่ แซนแทนกัม (xanthan gum) และกัมจากสัตว์ ได้แก่ เจลาติน (gelatin) เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2552) โครงสร้างหลักของกัมส์จะประกอบไปด้วยน้ำตาลกาแลคโทส กรดกลูคิวโรนิคกับน้ำตาลแมนโนส และกรดกลูคิวโรนิคกับน้ำตาลแรมโนส และมีโซ่สาขาเป็นน้ำตาลไซโลส และกาแลคโทส คุณสมบัติของกัมส์ คือความสามารถในการอุ้มน้ำและเพิ่มความหนืด โดยมักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างมากมาย โดยใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening agent) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizing agent) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เป็นต้น

ใยอาหารแต่ละประเภทจะมีองค์ประกอบและลักษณะของโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบของโครงสร้างในใยอาหารชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงหน้าที่ที่ต่างกัน ส่งผลให้มีการนำใยอาหารแต่ละชนิดไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของโครงสร้างในใยอาหารชนิดต่าง ๆ

ชนิดของใยอาหาร	โครงสร้างหลัก	โครงสร้างสาขาหรือแขนง
เซลลูโลส	กลูโคส	
เฮมิเซลลูโลส		
Arabinoxylans	กาแลคโทส	อะราบีโนส
Xiloglucans	กลูโคส	ไซโลส
Galactomannans	แมนโนส	กาแลคโทส กลูโคส
ลิกนิน	Polyphenol และ Malliard Products	
เพคติน	D-galacturonic	แรมโนส อะราบีโนส ไซโลส ฟูโคส
กัมส์		
Guar	Galactomannan	
Alginates	β-(1,4)-D-manuronic acid และ α-(1,4)-L-gurulonic acid	
Carrageenans	α-(1,3)-galactose acid และ β-(1,4,3,6)-anhydro-D-galactose	
Agar	D-galactose และ (3,6)-anhydro-L-galactose	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jimenez-Escrid & Sanchez-Muniz (2000)

2. ใยอาหารและบทบาทต่อสุขภาพ

ใยอาหารเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยถูกจัดให้เป็น functional food ประเภทพรีไบโอติก (prebiotic) ใยอาหารประเภทที่ละลายน้ำได้ ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร แต่จะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรียกลุ่ม Probiotic ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ เช่น *Lactobacillus* นอกจากนั้นใยอาหารยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน ท้องผูก ริดสีดวงทวาร ลดไขมันในเลือด ลดน้ำตาลในเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็ง ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนักตัว และช่วยควบคุมการทำงานของอวัยวะในร่างกายให้เป็นปกติ เป็นต้น ดังนั้นใยอาหารจึงเป็นสารอาหารที่สำคัญและมีบทบาทต่อสุขภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1 โรคท้องผูก

การรับประทานอาหารที่มีใยอาหารสูงช่วยลดอาการท้องผูกได้ เนื่องจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะไปรวมตัวกับกากอาหาร ทำให้ช่วยเพิ่มน้ำหนักและปริมาณ ส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำจะดูดซับน้ำส่งผลให้กากอาหารอ่อนนุ่ม และเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ใหญ่ได้เร็วขึ้น (Stark & Madar, 1994) แต่อย่างไรก็ตามใยอาหารจากแหล่งอาหารต่าง ๆ จะให้ผลต่อปริมาณอุจจาระที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่อได้รับใยอาหารจากรำข้าวโอ๊ตจะเพิ่มปริมาณและน้ำหนักของอุจจาระน้อยเพียงร้อยละ 16-35 เนื่องจากในรำข้าวโอ๊ตมีใยอาหารที่ประกอบด้วยเพคติน และกัวกัม ซึ่งถูกจุลินทรีย์ในลำไส้ย่อยสลายจนเกือบหมด แต่หากได้รับใยอาหารจากรำข้าวสาลีบดหยาบ สามารถเพิ่มปริมาณและน้ำหนักของอุจจาระได้สูงมาก ดังนั้นรำข้าวสาลีจึงเป็นใยอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง (ประภาศรี ภูวเสถียร, 2534 และ Monro, 1996)

2.2 โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่

ผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่โดยส่วนใหญ่มักเริ่มต้นมาจากการเป็นโรคท้องผูกเป็นเวลานาน ซึ่งมักมีการบริโภคอาหารที่มีใยอาหารน้อย ดังนั้นการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ควรมีการบริโภคอาหารที่ใยอาหารสูง โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ รำข้าวสาลี ในขณะที่ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ไม่สามารถช่วยป้องกันโรคนี้ได้ (Stark & Madar, 1994) กลไกการป้องกันโรคมีการสันนิษฐานว่าใยอาหารอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแบคทีเรียที่สร้างสารก่อมะเร็งให้กลายเป็นสารที่ไม่ก่อมะเร็ง สามารถยับยั้งเอนไซม์ 7-α dehydroxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีผลต่อการสร้างสารก่อมะเร็ง ช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระทำให้สารก่อมะเร็งที่ปนเปื้อนเจือจางลง ใยอาหารทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนั้นในอาหารที่มีใยอาหารสูงมักจะมีวิตามินสูงด้วยเช่นกัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี ซึ่งวิตามินเหล่านี้สามารถช่วยป้องกันมะเร็งได้ เป็นต้น (ประภาศรี ภูวเสถียร, 2534 และ Baghurst et al., 1996)

2.3 โรคอ้วน

โรคอ้วนโดยส่วนใหญ่เกิดจากการรับประทานอาหารมากและไม่มีการออกกำลังกาย ดังนั้นหากต้องการลดน้ำหนักควรควบคุมปริมาณอาหารและมีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาหารที่มีใยอาหารสูงเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่ำ ได้แก่ ผักชนิดต่าง ๆ นักโภชนาการจึงมักให้ผู้ที่เป็นโรคอ้วนรับประทานผักในปริมาณมาก และทานอาหารที่มีน้ำตาลให้น้อยลง นอกจากนั้นอาจมีการทานใยอาหารที่มีการเตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการลดน้ำหนักได้ โดยใยอาหารที่ถูกเตรียมขึ้นจะมีด้วยกัน 3 ประเภท คือ พอลีเมอร์ของใยอาหารบริสุทธิ์ (purified fiber polymers) ใยอาหารเข้มข้น (fiber

concentrates) และอาหารที่มีใยอาหารสูง (high fiber diets) ใยอาหารที่ละลายน้ำ เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดเป็นเจล และมีความหนืดเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการเกาะตัวของสารอาหารในกระเพาะ ส่งผลให้ผู้บริโภคอิ่มเร็วและนานขึ้น (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนา, 2538)

2.4 โรคลำไส้ใหญ่โป่งพอง

โรคลำไส้ใหญ่โป่งพองเกิดขึ้นเนื่องจากผู้ป่วยมีปริมาณอุจจาระน้อย และแข็งบ่อยครั้ง ทำให้ขณะขับถ่ายต้องมีการเบ่ง ซึ่งแรงที่เกิดจากการเบ่งจะส่งผลต่อการผลักดันกากอาหารบริเวณผนังลำไส้ใหญ่ ทำให้ผนังลำไส้ใหญ่โป่งพองได้ วิธีในการป้องกันการเกิดโรคลำไส้ใหญ่โป่งพอง คือการรับประทานอาหารที่มีใยอาหารสูง ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณและน้ำหนักของอุจจาระเพิ่มมากขึ้น ลดความแข็งของอุจจาระ และทำให้อุจจาระเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ใหญ่ออกมาได้ง่ายขึ้น

2.5 โรคเบาหวาน

วิธีในการรักษาโรคเบาหวานที่ได้ผลที่ดีวิธีหนึ่ง คือการควบคุมอาหาร ซึ่งหากผู้ป่วยรับประทานอาหารที่มีใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง จะส่งผลต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในกระแสเลือด โดยใยอาหารที่ละลายน้ำจะสามารถรวมตับกับน้ำและน้ำตาลก่อให้เกิดเป็นวุ้นขึ้น ซึ่งวุ้นนี้จะทำหน้าที่เหมือนผนังกั้นการแพร่ของน้ำตาลไปสู่ผนังของลำไส้เล็ก ส่งผลให้น้ำตาลดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ช้าลง มีผลในการรักษาระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดให้เป็นปกติ ซึ่งใยอาหารที่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีและมีประสิทธิภาพ คือกัวกัมซึ่งได้มาจากพืชตระกูลถั่ว ซึ่งในปัจจุบันทางการแพทย์ได้มีการนำใยอาหารที่ละลายน้ำมาใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวาน (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนา, 2538)

2.6 ระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

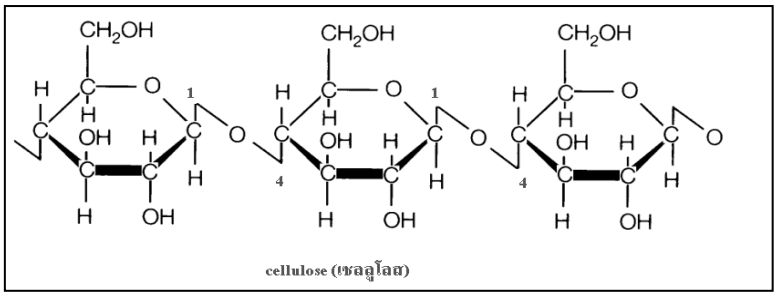
คอเลสเตอรอลที่มีในร่างกายของเราสามารถได้รับจากการบริโภคอาหารจากสัตว์ หรือจากการสังเคราะห์ขึ้นเองในร่างกายโดยตับ ร่างกายจะทำการสร้างคอเลสเตอรอล และเผาผลาญให้อยู่ในสภาพของกรดน้ำดี และกลายเป็นเกลือน้ำดี (bile salt) ต่อไป ซึ่งน้ำดีทำหน้าที่ในการย่อยและดูดซึมไขมันภายในลำไส้ หลังจากนั้นกรดน้ำดีจะถูกดูดซึมที่บริเวณปลายลำไส้เล็กให้กลับสู่ร่างกายอีกครั้ง หากมีการบริโภคอาหารที่มีใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง เช่น กัวกัม และเพคติน ใยอาหารเหล่านี้จะช่วยขัดขวางการดูดซึมของน้ำดี ทำให้น้ำดีที่มีคอเลสเตอรอลอยู่ถูกขับออกจากร่างกายพร้อมกับกากอาหารแทน ดังนั้นเมื่อร่างกายจะย่อยและดูดซึมไขมันก็จะดึงคอเลสเตอรอลที่มีอยู่ในร่างกาย มาเปลี่ยนให้เป็นกรดน้ำดีแทน ซึ่งส่งผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายลดลง อย่างไรก็ตามชนิดของใยอาหารจะมีผลต่อการจับหรือรวมตัวกับน้ำดี ซึ่งใยอาหารที่ใช้จะเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะไม่มีผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Stanley et al., 1973 และ Eastwood et al., 1976)

เซลลูโลส (Cellulose)

อาหารที่มีเส้นใย ได้แก่ ผัก ผลไม้และธัญพืชต่าง ๆ มักพบสารอินทรียที่เรียกว่าเซลลูโลส ประมาณ 20-50% ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งในส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชจะมีเซลลูโลสทำหน้าที่เสริมโครงสร้างของลำต้นและกิ่งก้านของพืชให้แข็งแรง นอกจากในพืชแล้วยังสามารถพบเซลลูโลสได้ในผนังเซลล์ของราและแบคทีเรีย เช่น *Acetobacter xylinum* เป็นต้น

1. โครงสร้างของเซลลูโลส

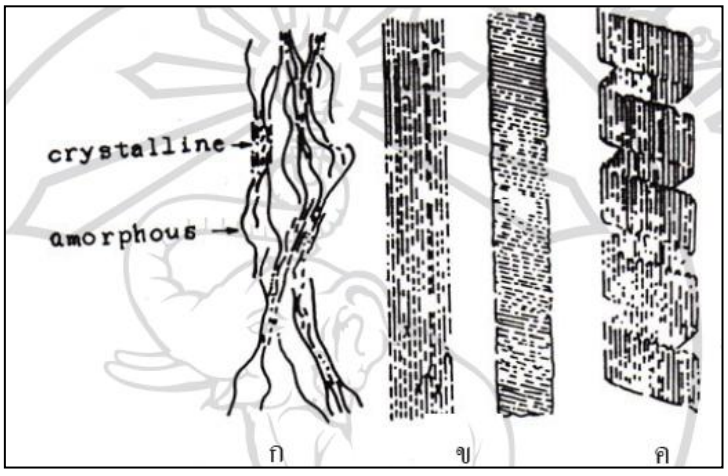
เซลลูโลสเป็นสารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรท ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลเชิงเดี่ยวยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล และเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ซึ่งเมื่อเกิดการย่อยสลายแล้วจะได้โมโนเมอร์ (monomer) ออกมาเพียงชนิดเดียว เซลลูโลสเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิดเบต้า-1, 4 เป็นสาย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,000-2,400,000 ดาลตัน (Dalton) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: สอิ้ง จักษุศิลา (2546)

โครงสร้างของเซลลูโลสมีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง ไม่มีโครงสร้างสาขาหรือแขนง มีสูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง เซลลูโลสมักพบอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกติน เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในผนังเซลล์ของพืช โดยโครงสร้างของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชชั้นสูง มีด้วยกัน 3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 คือ



ภาพที่ 2.5 เส้นใยเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชชั้นสูง

ที่มา: Goksoyr & Eriksen (1980)

1. โครงสร้างที่มีลักษณะเป็น Fringe micelle (ภาพที่ 2.5ก) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous)

2. โครงสร้างที่มีลักษณะม้วนหรือพับไปตามแกน โดยมีทั้งแกนแนวตั้งและแนวนอน (ภาพที่ 2.5ข) ของเส้นใยเซลลูโลส

3. โครงสร้างที่มีลักษณะม้วนเป็นเกลียว คล้ายริบบิ้น (ภาพที่ 2.5ค)

โครงสร้างเซลลูโลสในพืชชั้นสูงทั้ง 3 แบบ มีลักษณะที่แตกต่างกัน ภายในโครงสร้างยังมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลเกิดขึ้น ทำให้มีสารชนิดอื่นสามารถแทรกเข้าไปอยู่รวมตัวกับเซลลูโลสได้ ซึ่งสารเหล่านี้ได้แก่ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโตแซน กัม แทนนิน และไขมัน เป็นต้น ดังนั้นในสภาพธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสอยู่อย่างอิสระ จากโครงสร้างจะพบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสจะเป็นเส้นใยเล็ก ๆ สายยาว ที่เรียกว่า ไฟบริล (fibril) และอยู่รวมตัวเป็นมัดด้วยพันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่ใกล้กัน โครงสร้างมีการจัดเรียงตัวทั้งเป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ โดยในส่วนของโครงสร้างที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โมเลกุลจะเรียงตัวขนานกันและกัน ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งในส่วนนี้จะช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับพืช ส่วนโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบหมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนจะอยู่อย่างอิสระ ไม่ได้ถูกยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้โครงสร้างมีความยืดหยุ่น ซึ่งเซลลูโลสที่อยู่ในโครงสร้างบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบสามารถสลายตัวและแยกออกจากกันได้ง่าย เมื่อมีการทำปฏิกิริยากับของเหลว เช่น กรดแก่ เป็นต้น

2. คุณสมบัติของเซลลูโลส

เซลลูโลสจัดเป็นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและเบสที่เจือจาง ในแง่ของอาหาร เซลลูโลสจัดเป็นอาหารลดความอ้วน เพราะเมื่อคนเรารับประทานเข้าไปแล้วร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ช่วยเพิ่มปริมาตรกากอาหารในลำไส้ ทำหน้าที่กระตุ้นให้ลำไส้เกิดการขับถ่ายกากอาหารที่ไม่ย่อยและป้องกันท้องผูก นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมโรคเบาหวาน โดยลดระดับน้ำตาล ไขมัน และคลอเรสเตอรอลในเลือด (Elleuch et al., 2011) ในส่วนของคุณสมบัติและบทบาทเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การใช้เซลลูโลสเพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร

E-number	E460
ชื่อ	Cellulose
หน้าที่	สารให้ความข้นหนืด, anticaking agent
อาหาร	ขนมปังใยอาหารสูง, สแน็ค, อาหารแห้ง
คุณสมบัติ	เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช ไม่สามารถย่อยได้ในคน และใช้ในการเติมลงในอาหาร หรือที่รู้จักกันก็คือ ใยอาหาร หรืออาหารหยาบ ใช้ในการเพิ่มความใสให้กับเบียร์

ที่มา: The Food Additives and Ingredients Association (2008)

การเติมเซลลูโลสผงไม่เพียงแต่เป็นการเสริมเส้นใยอาหาร แต่ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารทางด้านต่าง ๆ เช่น ช่วยเพิ่มการพองตัวในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากเซลลูโลสผงมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถอุ้มน้ำไว้ที่ผิวได้ ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบไขมันต่ำ ช่วยเพิ่มปริมาตรและปรับปรุงเนื้อสัมผัสในเค้กเนื่องจากเซลลูโลสผงทำให้โครงสร้างที่เก็บกักก๊าซแข็งแรงขึ้น และช่วยลดการอมน้ำมันในอาหารทอดต่าง ๆ เป็นต้น สมบัติของเซลลูโลสมักมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำ โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสที่มีลักษณะแห้งจะดูดความชื้น ทำให้เซลลูโลสสามารถพองตัวหรือหดตัวได้ แต่ในบางสภาวะ เช่น เมื่อเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เซลลูโลสจะไม่เกิดการพองตัวเหมือนอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้ว โดยการดูดน้ำหรือความชื้นจะเกิดจากท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลส และพื้นที่ทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเซลลูโลสสามารถพองตัวได้ประมาณ 100 เท่าของวัสดุขณะแห้ง ซึ่งการพองตัวได้จะทำให้ตัวทำละลายต่างๆ เข้าทำลายโครงสร้างได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันต่างประเทศได้มีการนำพืชชนิดต่าง ๆ มาการสกัดเป็นเซลลูโลสผง และขายให้กับอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภทเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยเองก็มีพืชหลายชนิดที่มีส่วนประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งสามารถนำมาสกัดเป็นเซลลูโลสผงและใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น เปลือกกล้วย (Singanusong & Sodchit, 2011) ชานอ้อย ซังข้าวโพด กากมะพร้าว ก้านกล้วย ใบคะน้า ใบสับปะรด (วิทวัส จิรัฐพงศ์และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์, 2554) เป็นต้น

เซลลูโลสผงจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่นและรสชาติ ซึ่งได้จากการนำเซลลูลาจากพืชมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และฟอกสี (Robinson, 1981) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17 ไมครอน ความยาวของเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ซึ่งเซลลูโลสผงที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมความยาวอยู่ในช่วง 22-290 ไมครอน (Ang, 1991) คุณสมบัติของเซลลูโลสที่แบ่งตามความยาวของเส้นใยขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และคุณสมบัติของเซลลูโลสผงซึ่งกำหนดโดย Food Chemical Codex ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเซลลูโลสผงที่ความยาวของเส้นใยขนาดต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ความยาวเส้นใย (ไมครอน)			
	110	60	35	22
Bulk volume (cc/g)	5-5.5	2.8-3.2	2.1-2.3	2.1-2.3
Total dietary fiber (%)	>99	>99	>99	>99
Water retention (g H_2O/100 g sample)	950	550	420	420
Ash (%)	0.12	0.15	0.16	0.16
pH	5.0	5.4	5.8	5.8
water soluble substrance (%)	0.25	0.4	0.7	0.7

ที่มา: จันทร์รัตน์ เลิศมโนรัตน์ และคณะ (2539)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของเซลลูโลสผงตาม Food Chemical Codex

คุณสมบัติ	
Assay (%cellulose)	97-102
pH	5-7.5
Loss on drying (%)	≤7
Ash (tota) (%)	≤0.3
Heavy metals (ppm as Pb)	≤10
Fat (%)	0
Protein (%)	0
Starch	Negative
Total dietary fiber (%dry basis)	> 99
Caloric content (kcal/100 g)	0
Sulfile (ppm)	≤10
Water activity (25 °C)	0.1-0.3
Standard plate count (per g)	≤1000
Yeasts and molds (per g)	≤100
Staphylococcus aureus (per g)	Negative
Pseudomonas aerugenosa (per 25 g)	Negative
Escherichia coli (per 25 g)	Negative
Salmonella and Shigella (per 25 g)	Negative

ที่มา: Robinson (1981)

3. การใช้เซลลูโลสในผลิตภัณฑ์อาหาร

เซลลูโลสผงทางการค้า เป็นเซลลูโลสที่ได้จากการนำเซลลูโลสบริสุทธิ์มาทำให้เป็นผง ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ความยาวของเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แต่เซลลูโลสผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนมากจะมีความยาวของเส้นใยอยู่ในช่วง 22-290 ไมครอนโดยมี bulk volume ประมาณ 2-6 cm^3/g ผงเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส (D-glucose) ซึ่งต่อกันด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก มีชื่อทางเคมีว่า β-1,4-glucan ผลิตโดยการนำเซลลูโลสจากพืชมาทำให้เป็นผงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 17 μm. นอกจากไม้และฝ้ายแล้ววัตถุดิบอื่นๆที่สามารถนำมาผลิตเซลลูโลสผงได้และมีราคาที่ถูกกว่าคือ ซังข้าวโพดฟางข้าว ปอ ป่าน ชานอ้อย และวัสดุอื่นๆที่มีลักษณะเป็นเส้นใย อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นเซลลูโลสผงที่จะใช้สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารควรจะเป็นส่วนของพืชที่กินได้ จึงทดลองสกัดเซลลูโลสจากผลพลอยได้ทางการเกษตรซึ่งเป็นส่วนของพืชที่กินได้ เช่น soybean hull, pea hull, beet pulp, corn bran และ black-eyed pea hull เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีมูลค่าต่ำมากและถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งในปัจจุบันเส้นใยอาหารจากพืชหลายชนิดถูกนำมาทำเป็นผงเซลลูโลสเพื่อใช้ในการผลิตอาหาร reduced calorie

foods อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เส้นใยอาหารจากพืชชนิดใดนั้นจะต้องพิจาณาคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น dietary fiber contentความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ขนาดของอนุภาคของเส้นใย รวมทั้งสี กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีรสชาติและลักษณะปรากฏเป็นที่พอใจของผู้บริโภค (Thompson, 1984)

ภาพที่ 2.6 ลักษณะเซลลูโลสผง
ที่มา: http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=116169167323

คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผงโดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำมากกว่า 99% ซึ่งเส้นใยอาหารชนิดนี้จะไม่ให้พลังงานเนื่องจากไม่มีเอนไซม์ในระบบย่อย อาหารของมนุษย์ที่จะย่อยสลายได้ แต่มีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มปริมาณกากใยในอุจจาระทำให้ขับถ่ายสะดวกและลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผงแสดงในตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสผงไม่ใช่แหล่งวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญและมีปริมาณเถ้าเพียง 0.1% ทำให้เซลลูโลสผงมีปริมาณสารเจอปนที่ไม่ต้องการน้อยมาก (Ang, 1991)

ตารางที่ 2.7 คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผง

Component	Typical Value
Calories (kcal/g)	0
Total dietary fiber (%db)	>99.0
Total fat (%)	0
Cholesterol (%)	0
Protein (%)	0
Ash (%)	0.1
Moisture (%)	3-5
Sodium (ppm)	500-700
Calcium (ppm)	100
Iron (ppm)	100

ที่มา: Ang (1991)

เซลลูโลสผงถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ กันดังนี้

1. การเสริมเส้นใยในอาหาร

ปัจจุบันมีการเสริมเส้นใยลงในอาหารเพื่อสุขภาพหลายชนิดเนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพมากขึ้น แต่การเสริมเส้นใยปริมาณมากจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นการเลือกชนิดของเส้นใยที่เติมลงในอาหารจึงควนเลือกชนิดที่มีปริมาณ total dietary fiber (TDF) สูงๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเส้นใยอาหารในระดับที่ต้องการ โดยมีการเติมสารที่ให้เส้นใยน้อยที่สุด ด้วยเหตุผลนี้เซลลูโลสผงจึงเป็ นสารที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณ TDF สูงมาก (Ang, 1991)

2. การใช้เซลลูโลสผงในอาหารทอด

เซลลูโลสผงมีการอุ้มน้ำได้ดีส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอดลดลง ปริมาณน้ำมันที่เข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจึงลดลง ดังนั้นจึงได้มีการนำเซลลูโลสผงมาใช้ในแป้งชุบทอด (batter) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ดูดซับน้ำมันน้อยลงแต่มีความชื้นเพิ่มขึ้น (Ang and Miller (1990) นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งชุบทอดที่มีเซลลูโลสผงจะมีสีอ่อนกว่าและมีความสม่ำเสมอของสีมากกว่าแป้งชุบทอดที่ไม่มีเซลลูโลสผง เนื่องจากเซลลูโลสจะไม่เกิดปฏิกิริยา nonenzymatic browning นอกจากนั้นได้มีการทดลองเติมเซลลูโลสผงลงในโดนัทเค้ก ก็พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการอมน้ำมันน้อยลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันโดยโดนัทที่ไม่เติมเซลลูโลสจะมีปริมาตรสูงขึ้นและมีสีอ่อนลง ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสอื่นๆ นั้นไม่แตกต่างจากโดนัทสูตรปกติ (ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์, 2537)

3. การใช้เซลลูโลสผงเป็น noncaloric bulking agent

เซลลูโลสผลงถูกนำไปใช้เป็น bulking agent ในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ เครื่องดื่ม น้ำสลัด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญพืชชนิดต่างๆ เนื่องจากเซลลูโลสผงไม่ให้พลังงานและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี จึงสามารถใช้เป็น bulking agent ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบไขมันต่ำได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก (จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ และคณะ, 2544)

4. การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ

การเติมเซลลูโลสผงลงในขนมอบจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มอายุการเก็บรักษา และลดการสูญเชียความชื้นในระหว่างการเก็บ เพราะความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลส ดังนั้นผลิตภัณฑ์ขนมอบจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะในการเติมใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ (วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ, 2542 และ Macconnell et al., 1974)

5. การใช้เซลลูโลสเพื่อเพิ่มปริมาตรและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้ก

เซลลูโลสผงมีส่วนช่วยให้ส่วนผสมของแป้งที่จะทำเค้กมีความหนืดเพิ่มขึ้น เพราะเซลลูโลสไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งในเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นจะมีผลทำให้เค้กมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีการหดตัวของเค้กหลังการอบลดลง เนื่องจากโครงสร้างที่กักเก็บก๊าซภายในเค้กมีความแข็งแรงขึ้น ผนังของฟองอากาศมีความแข็งแรง ส่งผลให้ฟองอากาศไม่รวมตัวกันเป็นฟองขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีฟองละเอียด มีปริมาตรและความคงตัวมากขึ้น (Ang & Miller, 1989) สำหรับเนื้อ

สัมผัสของเค้กที่ได้มีการเติมเซลลูโลสผง พบว่าเนื้อสัมผัสจะแข็งขึ้น และมีผลต่ออายุการเก็บ ลักษณะปรากฏ และความสูญเสียจากการแตกของเค้ก เนื่องจากเค้กที่เติมเซลลูโลสผงจะมีความชื้นสูง ด้วยคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของเซลลูโลส ส่งผลให้เค้กมีความชุ่มมากขึ้น และสามารถเก็บได้นานขึ้นโดยไม่เกิดลักษณะแห้งและแข็งขึ้น

ในปัจจุบันมีการนำเซลลูโลสผงมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยและปริมาณของเซลลูโลสที่ใส่ลงในผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

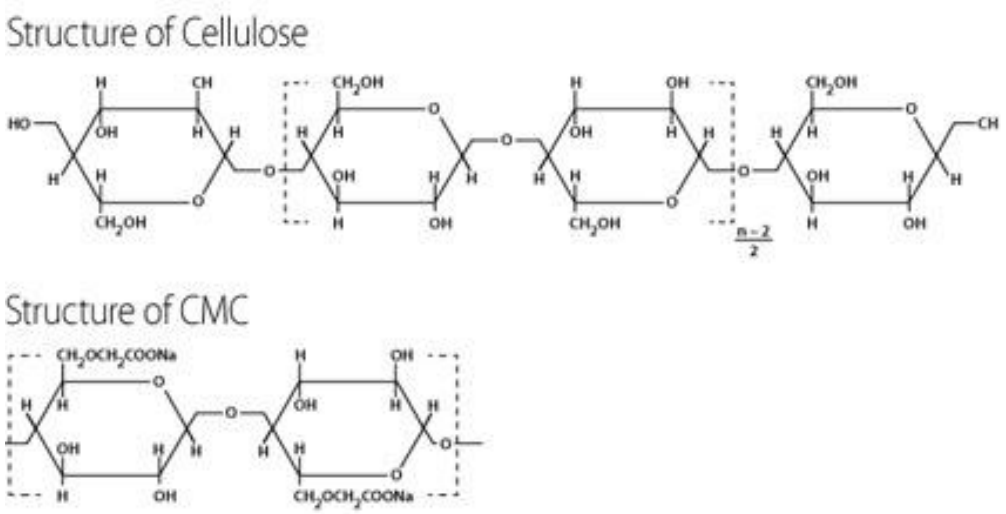
ตารางที่ 2.8 การประยุกต์ใช้เซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์	ประโยชน์	ความยาวของเส้นใย (ไมโครเมตร)	ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ (%)
Breads and pastries	Dietary fiber supplement caloric density control	35	7-10
Cereal	Dietary fiber supplement	40-50	3-7
Sauces and dressing	Texturing thickening	60-100	2-5
Pasta	Calonic control anti-sticking agent	60	6
Canned meat product	Prevents separation of fat and water	120	0.5
Imitation cheese product	Bulking agent binder antiblocking agent	22	5
Spice and flavor carrier	Bulking agent anti-cakeing agent	22	2
Imitation margarine	Bulking agent binder	22	25-30
Imitation ham paste Restructured pork and surimi	Bulking agent binder prevents separation of fat and water	22	3-25
Frying batter	Reduces fat absorption during frying	110	1
Cake and doughnuts	Increase volume bulking agent reduces fat absorption during frying improve texture Bulking agent caloric control	35-110	2-4
Powdered Beverage product	Dietary fiber supplement	22-35	5

ที่มา: ธีรนันท์ ประคองพันธ์ (2542)

4. อนุพันธ์ของเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งมีการดัดแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสที่ได้จากธรรมชาติ โดยมีแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่อยู่บนเซลลูโลสด้วยหมู่อื่น ๆ ได้แก่ การเติมหมู่เมทิล และหมู่คาร์บอกซีเมทิลเข้าไป ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ทำให้สามารถละลายน้ำได้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ที่มา: http://www.ashland.com/products/aqualon-sodium-carboxymethylcellulose

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) มีลักษณะเป็งผงสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส ไม่เป็นอันตราย ละลายน้ำได้ดี นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องด้วยคุณสมบัติในการเป็นสารที่ช่วยเพิ่มความหนืด ช่วยยึดเกาะและเป็นสารช่วยในการคงตัว ในปัจจุบันมีการนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืดในไอศกรีม

ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีการใช้เยื่อเซลลูโลสจากธรรมชาติที่มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสที่ได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ ที่สกัดด้วยวิธีทางเคมี ในบางวิธีมีการเตรียมจากแป้งผสม ได้แก่ แป้งผสมเบต้ากลูแคนจากข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์และยีสต์ หรืออาจเป็นโพลีแซคคาไรด์ในน้ำนมโปรตีน และเบต้ากลูแคนจากแป้งข้าวเจ้า เป็นต้น คุณภาพของเยื่อเซลลูโลสมีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งเยื่อที่นำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่คงที่ ในต่างประเทศมักนิยมใช้เยื่อจากไม้ยืนต้น พวกสนและยูคาลิปตัส สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำพืชไร่ หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นเยื่อเซลลูโลส ได้แก่ เปลือกทุเรียน ผักตบชวา ชานอ้อย และเยื่อฟางข้าว เป็นต้น เมื่อได้เยื่อแอลฟา-เซลลูโลสแล้วจะมีการเติมกรดคลอโรอะซีติก เพื่อทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่อยู่บนเซลลูโลส ให้กลายเป็นหมู่เมทิล ($-CH_3$) และหมู่คาร์บอกซีเมทิล ($-CH_2-COOH$) (สอิ้ง จักษุศิลา, 2546)

การสกัด (Extraction)

การสกัดเป็นกระบวนการแยกสารออกจากการกันโดยมีการใช้ตัวทำละลาย ในการแยกสารที่ต้องการออกมา สำหรับตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัด ได้แก่ อะซิโตน เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล เฮกเซน และเอทิลอะซิเตด เป็นต้น ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้ก็ได้มีการนำมาใช้ในการสกัดในกระบวนการแปรรูปอาหารอย่างมากมาย เช่น น้ำมันพืช น้ำกะทิ กาแฟ ชา สารให้กลิ่นรส น้ำมันหอมระเหย และสีผสมอาหาร เป็นต้น หลักการของการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยมากนิยมพิจารณาจากความมีขั้วและไม่มีขั้วของสารที่ต้องการแยก หลังจากนั้นนำมาละลายกับสารที่ต้องการแยกให้ออกมาจากสารผสม วิธีที่ใช้ในการสกัดสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีดังนี้

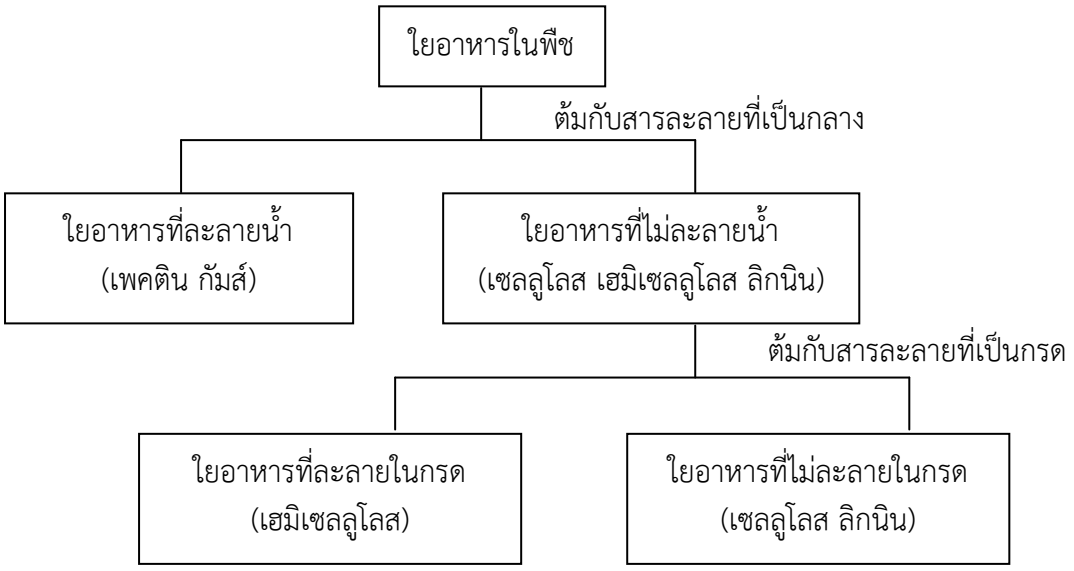
1) Solid/Liquid Extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง หลักการของการสกัดแบบนี้คล้ายกับการหาตัวทำละลายเพื่อตกผลึกสาร

2) Liquid/Liquid Extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของเหลว

3) Acid/Base Extraction เป็นการใช้ปฏิกิริยากรดเบสเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ กรดอ่อน กลาง และเบสออกจากกัน

การสกัดเซลลูโลสจากพืชสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีการทางเคมี หรือการย่อยสลายด้วยกรดเข้มข้นหรือกรดเจือจาง (acid hydrolysis) เช่น กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งต้องทำภายใต้อุณหภูมิสูง ซึ่งวิธีนี้เป็นการสกัดเซลลูโลสตามความสามารถในการละลายดังแสดงในภาพที่ 2.8 แต่อย่างไรก็ดีวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ให้ปริมาณกลูโคสต่ำ และเกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการด้วย



ภาพที่ 2.8 แผนผังการสกัดเซลลูโลสจากพืช

2. วิธีการทางชีวภาพ หรือการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis) ที่ได้จากจุลินทรีย์เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์จะทำให้ปฏิกิริยาการย่อยเกิดภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงคือ ที่อุณหภูมิประมาณ 50°C ความดันบรรยากาศ เพราะเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารประกอบเซลลูโลสมาก ทำให้ไม่สูญเสียกลูโคสระหว่างเกิดปฏิกิริยา และไม่เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิติพร จำรัสจำเริญดี และบัณฑิต อินณวงศ์ (2550) ได้ทำการศึกษาผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดต่อคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเซลลูโลส วิธีที่ใช้เพื่อสกัดเซลลูโลสออกมาจากเปลือกข้าวโพดโดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ เพื่อให้ได้ปริมาณเซลลูโลสที่ต้องการ

นิลเนตร ปุณณะวรกุล และอาภัสรา แสงนาค (2552) ได้ทำกาศึกษาการผลิต และการเสริมเซลลูโลสจากกากอ้อยในขนมปุยฝ้าย โดยศึกษาอุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคลอไรต์ที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสผงจากกากอ้อยพบว่า การใช้สารละลายคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.2 (w/v) ทำให้เซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสว่าง (L*) มากที่สุด ส่วนอุณหภมิพรีไฮโดรไลซิสไม่มีผลปริมาณ และคุณสมบัติของเซลลูโลสที่ผลิตได้ แล้วเติมเซลลูโลสที่ผลิตได้ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้งสาลี และเพิ่มน้ำในสูตรในร้อยละ 44 โดยน้ำหนักแป้งสาลีในขนมปุยฝ้าย ซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) ได้ทำการศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ของเหลือทิ้งจากพืชที่นำมาศึกษาคือ ต้นกก ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และกาบมะพร้าว โดยวิธี Detergent ในการสกัด และวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจากผลการทดลองชานอ้อยมีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร (2554) ได้ทำศึกษาการสกัดเซลูโลสจากกล้วย ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการสินค้า OTOP จากกล้วยในจังหวัดพิษณุโลก โดยเปลือกกล้วยที่ใช้ในการทดลองคือ เปลือกกล้วยระยะ 5 6 และ 7 พบว่า เปลือกกล้วยสุกระยะ 5 มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุดจึงนำมาสกัด การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ได้แก่ เอทานอล 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการสกัดด้วยด่างใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 12 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการฟอกสีคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้าใยอาหาร และปริมาณเซลลูโลส เท่ากับ 8.07, 0.40, 0.83, 47.77, 9.36, 33.52, และ 78.90% มีพีเอช ค่า aW ค่า L* ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 6.30 0.57 86.06 10.26 และ 1.47 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้งเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกับเซลลูโลสทางการค้า

Sun & Hughes (1998) ได้ทำการศึกษาการสกัดแยกส่วน และคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสจากกากผักกาดหวาน ในส่วนของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสถูกสกัดกับ KOH 10% หรือ NaOH 7.5% ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และ KOH 24% หรือ

NaOH 17.5% ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากกำจัดไขมัน โปรตีน เพคติน ลิกนิ นพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำตาล การสกัดด้วย NaOH 7.5% ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าเล็กน้อย (10.96%) ในขณะที่การสกัดด้วย KOH 24% ที่ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงได้ปริมาณ เซลลูโลสที่สูงที่สุด (18.35%)

Prakongpon et al. (2002) ได้ศึกษาการสกัดและใช้ใยอาหารและเซลลูโลสจากแกน สับปะรด โดยทำการสกัดใยอาหารด้วยแอลกอฮอล์ และสกัดเซลลูโลสด้วยด่างแล้วฟอกสี พบว่าใย อาหารและเซลลูโลสจากแกนสับปะรดมีปริมาณใยอาหารรวม 99.8 และ 95.2% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เส้นใยทั้งสองที่ได้สามารถนำไปเสริมในอาหาร โดยช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นและลดการอม น้ำมันระหว่างทอดของโดนัท ช่วยเพิ่มปริมาตรและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเค้ก และเพิ่มน้ำหนักหลัง การทอดและทำให้เนื้อแฮมเบอร์เกอร์นุ่มขึ้น

Sun et al. (2004) ได้ศึกษาการแยกและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากชานอ้อย โดยทำการ แยกเซลลูโลสจากชานอ้อย 3 วิธี คือ 1. สกัดด้วย alkaline และ alkaline peroxide (NaOH) 2. สกัดลิกนินออกโดยใช้ acidic sodium chloride และสกัดเฮมิเซลลูโลสออกด้วย alkaline 3. สกัด ด้วย acetic acid และ nitric acid หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณเซลลูโลสจากวิธีต่าง ๆ พบว่าทั้ง 3 วิธีให้ปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกัน ประมาณ 43-46% โดยน้ำหนักแห้ง

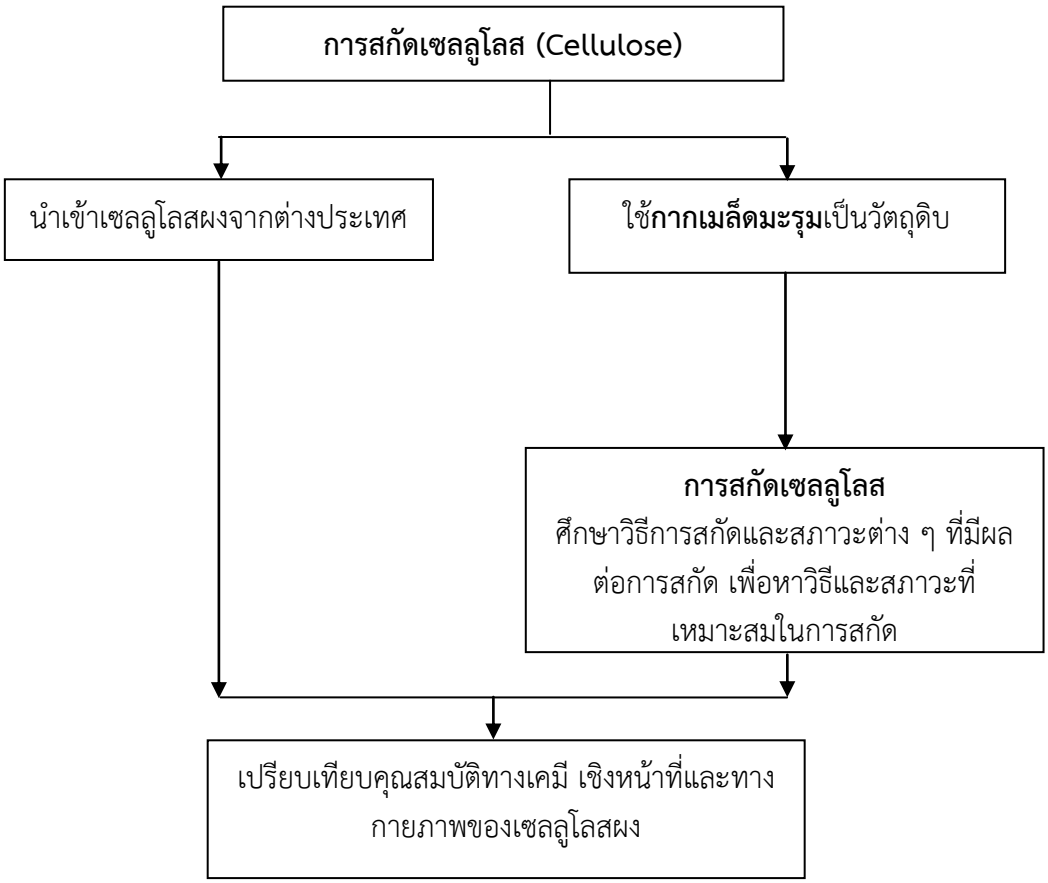
Sun & Tomkinson (2004) ได้ศึกษาการแยกและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากฟางข้าวสาลี พบว่าสภาวะที่ให้เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ที่สุด คือ ใช้ฟางข้าวที่นำไขมันออกแล้วไปสกัดโดยใช้ 0.5M KOH ที่ 35 °C เวลา 2.5 ชั่วโมง ภายใต้ ultrasonic irradiation 0-35 นาที หลังจากนั้นสกัดโดยใช้ 2%H_2O_2-0.2%TAED ที่ pH 11.8 เวลา 12 ชั่วโมง ที่ 48 °C และ 80% acetic acid-70%nitric acied (10/1, v/v) ที่ 120 °C นาน 15 นาที

Bicu & Mustata (2011) ได้ศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกส้มโดยใช้สารช่วยย่อยซัล ไฟต์ พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้คือ 40.4% และ 45.2% เมื่อใช้โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium matabisulfite) ในการย่อย ตามลำดับ หลังจากนั้นสารสกัด เซลลูโลสถูกนำไปฟอกขาวโดยใช้ไฮโปคลอไรด์ (Hypochloride) และออกซิเจน สำหรับการวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่าความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ความสามารถในการ อุ้มน้ำดี

Elleuch et al. (2011) ได้รายงานเกี่ยวกับใยอาหารและเส้นใยที่ได้จากผลพลอยได้ (by product) ของกระบวนการทางอาหาร ในด้านคุณสมบัติ หน้าที่และการประยุกต์ใช้ทางการค้า โดย พบว่าผลิตผลที่ได้จากอุตสาหกรรมหรือผลิตภัณฑ์จากพืช เช่น ธัญพืช ผัก ผลไม้ หรือแม้แต่สาหร่าย เป็นแหล่งที่มีใยอาหารสูงมาก ซึ่งผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีเส้นใยสูงสามารถนำไปใช้เพิ่ม คุณค่าทางโภชนาการในอาหารได้ โดยช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหารและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ โดยมีแคลลอรี่ คลอเรสเตอรอส และไขมันต่ำ นอกจากนั้นยังช่วยทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพและ โครงสร้างของการ hydration ลดการอมน้ำมัน ความหนืด เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษา

Singh et al. (2012) ได้ศึกษาผลของการเสริมรำข้าวโพดที่ถูกใช้เป็นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยได้ทำการเสริมใยอาหารทดแทนแป้งสาลีในเค้กที่ 0-30% และตรวจวัดความหนืดของเนื้อเค้ก ปริมาตรเค้ก สีและเนื้อสัมผัสเค้ก พบว่าใยอาหารที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ 20% ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และลักษณะทั้งหมดของเค้ก

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา
2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmer/USA
2. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ยี่ห้อ 2200 Kjeltec/Foss/Sweden
3. ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ยี่ห้อ Soxtec 2050 Auto Extraction Unit/Sweden
4. ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ยี่ห้อ 1020 Kjeltec/Foss/Sweden
5. เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ F 6010/Thermolyne/USA
6. เครื่องวัดสี (Portable colorimeter) ยี่ห้อ CR300/Minolta/China
7. กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ FE-SEM Model: HITACHI-S4700
8. เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง (Centrifuge) ยี่ห้อ Beckman/American
9. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Hot plate stirrer) ยี่ห้อ IKA-MAG H57/China
10. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/Switzerland
11. เครื่องวัดความเป็นกรด ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Percisa/Switzerland
12. ตู้บ่ม (Incubator)

สารเคมี

1. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_20$)
2. โปตัสเซียม (K_2SO_4)
3. ออกทานอล ($C_8H_{18}O$)
4. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
5. กรดบอริก (H_3BO_3)
6. เมทิลเรด (Methyl red)
7. Bromocresol green ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)
8. กรดอะซิตริก ($C_2H_4O_2$)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
10. ไฮโดรคลอริก (HCl)
11. เฮกเซน (C_6H_{14})

12. Celite
13. อะซิโตน (C_3H_6O)
14. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4.FeSO_4.6H_2O$)
15. เฟอโรอีน (Ferrion)
15. น้ำมันปาล์ม
16. เพคติเนส (Novo, Japan)
17. โปรติเอส (Sigma-aldrich, Germany)
18. Ethylene diamine tetra-acetic acid ($C_{10}H_{16}N_2O_8$)
19. โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Sodium phosphate buffer)
20. เอทานอล (C_2H_5OH)
21. โซเดียมอะซิเตดบัฟเฟอร์ (Sodium acetate buffer)

วิธีการทดลอง

1. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดมะรุม

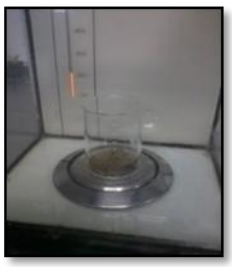
นำตัวอย่างกากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยมาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการได้แก่

1.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก1
1.2 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก2
1.3 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก3
1.4 ปริมาณเส้นใย (AOAC, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก4
1.5 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก5
1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2005) หาได้จาการคำนวณสูตรดังต่อไปนี้

%Carbohydrate = 100-[%Moisture+%Ash+%Protein+%Fat+%Fiber]

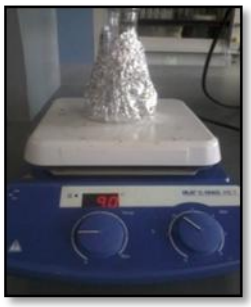
2. ศึกษาวิธีการสกัด และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

2.1 การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมีดัดแปลงตามวิธีของ Sun et al. (2004)



ชั่งกากเมล็ดมะรุม 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร

↓



ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียส กวนผสม 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

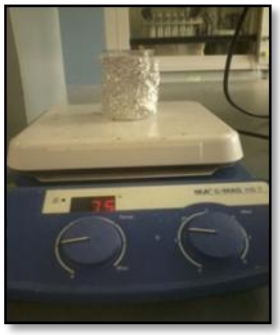
↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

↓

ปรับ pH ให้ได้ 3.5-4.0 ด้วยสารละลายกรดอะซิติก 10 % (v/v)

↓



\

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กวนผสม 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

↓

เติมสารละลาย NaOH 2-10% ปริมาณ 150 มิลลิลิตร

↓

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กวนผสม 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

↓

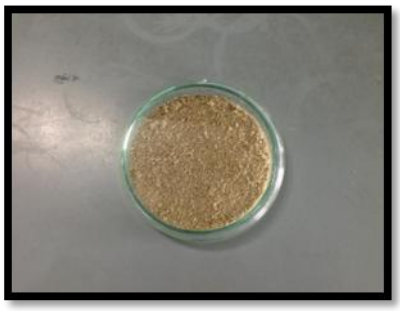
ล้างด้วยน้ำกลั่น จนได้ pH อยู่ในช่วง 6-7.5

↓

อบแห้งในเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

↓

บดโดยใช้โกร่ง เก็บในถุงซิปล็อค



2.2 การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพดัดแปลงตามวิธีของ Sun & Hughes (1998)

ชั่งกากเมล็ดมะรุม 10 กรัม

↓

การย่อยโปรตีน: เติม protease 2.8 มิลลิลิตร (22.5 units) ใน 0.1 M sodium phosphate buffer pH 7.5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓

เติม Ethyl alcohol 95% ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (ช่วยในการตกตะกอน)

↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

↓

การสกัดของเพคติน: เติม EDTA 0.2 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร pH 3.3 บ่มที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

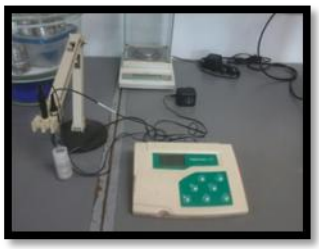
↓

กำจัดเพคตินส่วนที่เหลือ: เติม pectinase 2.89 กรัม (3,500 units) ใน 0.1 M acetate buffer pH 4.4 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง

↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

↓



ปรับ pH ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรกับ NaOH
โดยใช้ hot plate strrier ให้อยู่ในช่วง 6-7.5

↓

กรองด้วยผ้าขาวบาง

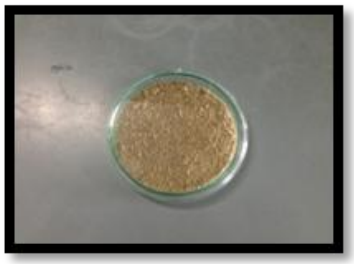
↓

อบแห้งในเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

↓

บดโดยใช้โกร่ง เก็บในถุงซิปล็อค

↓



3. การศึกษาคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า

โดยนำเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดจากกากเมล็ดมะรุมในสภาวะที่มีปริมาณและความบริสุทธิ์สูงที่สุดมาทำการศึกษา และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้าในด้านคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.1 คุณสมบัติทางเคมี

3.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Cellulose content) ดัดแปลงตามวิธีของ Robinson (1981) ดังแสดงในภาคผนวก ก6

3.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2005) ดังแสดงในภาคผนวก ก1

3.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่

3.2.1 การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity: WHC) ตามวิธีของ Robinson (1981) ดังแสดงในภาคผนวก ข1

3.2.2 การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity: OHC) ตามวิธีของ Robinson (1981) ดังแสดงในภาคผนวก ข2

3.2.3 การวัดความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity: SC) ดัดแปลงตามวิธีของ ดุษฎี สริยพรรณพงศ์ และคณะ (2552) ดังแสดงในภาคผนวก ข3

3.2.4 การวัดความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density: BD) ดัดแปลงตามวิธี Kaur et al. (2007) ดังแสดงในภาคผนวก ข4

3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.3.1 การวัดค่าสี วัดค่าสีด้วยระบบCIE (L*, a*, b*) ดังแสดงในภาคผนวก ค1

3.3.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสผงที่ผลิตได้จากกากเมล็ดมะรุมเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SEM: Scanning Electron Microscope) ดังแสดงในภาคผนวก ค2

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ทั้ง 3ส่วน ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดมะรุม การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า ได้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมได้ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส และเมื่อได้อุณหภูมิที่มีความเหมาะสมจึงได้ทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยทำการศึกษา 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 70 และ 90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 ระดับคือ 2 5 และ 10% และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีแบบ F-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนของการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมี กับวิธีทางชีวภาพ และการเปรียบเทียบเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (MSC) กับเซลลูโลสทางการค้า (CMC) ทำการวิเคราะห์

ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีแบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ SPSS version 17.0

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการทางเคมี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดมะรุม

กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนามีลักษณะเป็นแผ่นสีเขียวอมน้ำตาล แข็งและค่อนข้างแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งได้มาจากการสกัดน้ำมันมะรุม

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของกากเมล็ดมะรุม

กากที่ได้เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งที่มีการสกัดเอาไขมันออกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการอื่นๆ เหลืออยู่ จึงได้มีการนำกากเมล็ดมะรุมที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC., 2005 เพื่อทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่เหลืออยู่ในกากเมล็ดมะรุม จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดมะรุมได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีหลักของกากเมล็ดมะรุม ได้แก่ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณเส้นใย โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 30.46 และ 28.85% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเถ้า 22.96 8.08 4.99 และ 4.71% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของกากเมล็ดมะรุม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	4.99 ± 0.12
ไขมัน	8.08 ± 0.45
โปรตีน	22.96 ± 0.34
เส้นใย	28.85 ± 0.73
เถ้า	4.71 ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต	30.46

จากผลการทดลองจึงพบว่า กากเมล็ดมะรุมเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการสกัดเซลลูโลส เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยอยู่ในปริมาณสูงถึง 28.85% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารเช่นเดียวกับรำข้าว รำข้าวโพด รำถั่วเหลือง ซังข้าวโพด ซังอ้อย แต่อาจมีปัญหาด้านสี กลิ่น รส ที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์ จึงควรมีการสกัดเส้นใยให้อยู่ในรูปเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ โดยปกติเซลลูโลสที่นำมาบริโภคควรสกัดมาจากพืช หรือส่วนของพืชที่บริโภคได้ และควรมีปริมาณเส้นใยอย่างต่ำ 15% โดยน้ำหนัก (Thompson, 1984) ซึ่งเซลลูโลสมักเป็นองค์ประกอบหลักของพืช โดยมีเฮมิเซลลูโลส และลิกนินเพียงเล็กน้อย (วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ, 2541) อย่างไรก็ตามในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของพืชควรมีการกำจัดออกไป เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ (Whistler, 1963) ดังนั้นกากเมล็ดมะรุมควรมีการสกัดเพื่อแยกส่วนประกอบอื่นๆ ออกให้เหลือเพียงเซลลูโลสบริสุทธิ์ เพื่อนำไปพัฒนาหรือเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

ผลการศึกษาวิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

1. การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมีดัดแปลงตามวิธีของ Sun et al. (2004)

ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี ดัดแปลงตามวิธีของ Sun et al. (2004) โดยทำการศึกษาตัวแปร 2 ชนิด คือ อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.1 ผลของอุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิสที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

โดยนำกากเมล็ดมะรุมมาสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% เพื่อกำจัดองค์ประกอบและใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัมส์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) โดยสารสกัดที่ได้มีปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วง 20.50-20.81% แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ของสารสกัดในแต่ละสภาวะ จะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$) โดยปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (96.54%) มีปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (94.75%) แต่ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์จากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์เพียง 24.05%

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิต และปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณผลผลิต^{ns} (%)	ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ (%)
50	20.50±1.58	24.05±4.81^{b}
70	20.65±0.70	96.54±0.22^{a}
90	20.81±2.18	94.75±2.10^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิสควรสูงกว่าหรือเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิสจะส่งผลให้เซลลูโลสมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น หากยิ่งอุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรก และแยกองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ในขั้นตอนดังกล่าวนี้อาจยังส่งผลให้เกิดการพองตัว ทำให้สารสกัดที่ได้สามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีขึ้น (จันทร์รัตน์ เลิศมโนรัตน์ และคณะ, 2539) ดังนั้นจึงได้เลือกอุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มาทำการศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อไป

1.2 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการศึกษา คือที่ความเข้มข้น 2 5 และ 10% ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสกัดที่ช่วยในการกำจัดโปรตีนและสารอื่นๆ เช่น เพคติน เฮมิเซลลูโลส สารประกอบพวกฟีนอลิค และสารในกลุ่มไขมันที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic lipid material) ออก (ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์, 2537) ซึ่งก่อนที่จะทำการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำการพรีไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียสก่อน หลังจากนั้นจึงสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 2-10% และมีการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวที่สภาวะต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่าง 2 ปัจจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณผลผลิต ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% มีปริมาณผลผลิตสูงที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 19-22% แต่ที่สภาวะอื่นปริมาณผลผลิตค่อนข้างต่ำ (11-15%) สำหรับปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% มีปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์สูงสุดประมาณ 96% และรองลงมาก็คือ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ประมาณ 94% ซึ่งทั้งสองสภาวะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของเซลลูโลสในด้านความสามารถในการพองตัว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% มีความสามารถในการพองตัวสูงสุดถึง 19.94 กรัม/ มิลลิลิตร แต่ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 85% รองลงมาก็จะเป็นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และ 10 % มีความสามารถในการพองตัวประมาณ 15 กรัม/ มิลลิลิตร แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และ 10 % และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% มีความสามารถในการพองตัวต่ำที่สุด อยู่ที่ประมาณ 11 กรัม/ มิลลิลิตร ซึ่งความสามารถในการพองตัวเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลส เพื่อช่วยในการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมคือที่อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวในระดับที่ดี

ตารางที่ 4.3 ปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิ และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณผลผลิต (%)	ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ (%)	ความสามารถในการพองตัว (กรัม/ มิลลิลิตร)
70	2	19.87±3.48^{a}	85.04±2.02^{b}	19.94±1.39^{a}
	5	20.26±0.27^{a}	96.52±0.26^{a}	11.43±0.93^{c}
	10	11.71±0.63^{b}	91.95±2.13^{ab}	11.02±1.59^{c}
90	2	12.05±1.07^{b}	76.35±2.02^{b}	11.01±2.35^{c}
	5	22.05±0.42^{a}	94.75±0.26^{ab}	15.07±1.51^{b}
	10	14.74±0.37^{b}	89.57±2.13^{ab}	15.74±1.32^{b}

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

อย่างไรก็ตามเซลลูโลสที่สกัดได้จากกากเมล็ดมะรุมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% มีความสามารถในการพองตัวมากที่สุด 19.94 กรัม/ มิลลิลิตร แต่มีปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ต่ำเพียง 85.04% อาจจะเกิดจากการปนเปื้อนขององค์ประกอบอื่นๆ ที่มีรูปร่างหรือพื้นผิวที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการพองตัวสูงขึ้นได้ ทั้งนี้การสกัดเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ (22%) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยที่วิเคราะห์ได้ในตารางที่ 4.1 (28.85%) เนื่องจากขั้นตอนในกระบวนการสกัด ซึ่งต้องมีการล้างสารสกัดด้วยน้ำกลั่นเพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่าง รวมถึงในแต่ละขั้นตอนจะมีการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป และมีการกรองด้วยผ้าขาวบาง ดังนั้นปริมาณผลผลิตที่ได้จึงลดลงตามขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น ในกระบวนการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกำจัดโปรตีนออกและยังช่วยสกัดสารอื่นๆ เช่น เพคติน เฮมิเซลลูโลส สารประกอบพวกฟีนอลิค และ สารในกลุ่มไขมันที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic lipid material) (ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์, 2537) นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดลิกนิน และสารที่ไม่ใช่เซลลูโลส (Wallter et al., 1997) แต่เซลลูโลสไม่ถูกย่อยสลาย เพราะเซลลูโลสไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นจึงสามารถใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการสกัดแยกเซลลูโลสจากสารอื่นๆ ได้ (Chan & Moy, 1997)

2. การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพดัดแปลงตามวิธีของ Sun & Hughes (1998)

ได้ทำการศึกษาการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพ ดัดแปลงตามวิธีของ Sun & Hughes (1998) โดยนำกากเมล็ดมะรุมมาสกัดเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ โดยมีการใช้เอนไซม์โปรติเอส 22.5 units ใน 0.1 M โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.5 เพื่อเป็นการกำจัดโปรตีน หลังจากนั้นใช้เอทานอลที่ 95% ช่วยในการตกตะกอนสารที่สกัดได้ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการกำจัดเพคติน โดยแบ่งเป็นการสกัดเพคตินเป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งเริ่มจากการใช้ EDTA 0.2 % pH 3.3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น co-factor สามารถสร้าง

พันธะจับกับโลหะได้ ช่วยชะลอการเกิดปฏิกริยา และหยุดการทำงานของโปรตีเอส และกำจัดเพคตินด้วยเอนไซม์เพคติเนส 3,500 units ใน 0.1 M อะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 4.4 ก่อนจะทำการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณผลผลิต (31.51%) และปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์มีปริมาณที่ค่อนข้างสูง (95.37%) เนื่องด้วยเอนไซม์ที่ใช้ในการสกัดมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นสูง ทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์สูง นอกจากนั้นวิธีการสกัดทางชีวภาพไม่ต้องผ่านกระบวนล้างด้วยน้ำกลั่นเช่นเดียวกับวิธีทางเคมี จึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียปริมาณผลผลิต แต่ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสที่สกัดได้ค่อนข้างต่ำ (9.45 g/ml) อาจเนื่องมาจากรูปร่าง ขนาดอนุภาค หรือรูพรุนของเซลลูโลส ส่งผลให้มีความสามารถในการพองตัวต่ำ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวของการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพ

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
ปริมาณผลผลิต (%)	31.51±1.51
ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ (%)	95.37±0.00
ความสามารถการพองตัว (g/ml)	9.45±0.13

3. ผลการศึกษาการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ

ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่สกัดได้ด้วยวิธีทางเคมีที่อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส 90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่สกัดได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ ได้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่า

คุณสมบัติทางเคมี: ปริมาณผลผลิตวิธีทางเคมีให้ปริมาณที่ต่ำกว่าวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากวิธีการสกัด และสภาวะการสกัดที่แตกต่างกัน โดยวิธีทางเคมีมีกระบวนการล้างด้วยน้ำกลั่นในขั้นตอนก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งอาจส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์มีความใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 94-95% แสดงว่าไม่ว่าจะใช้วิธีทางเคมี หรือทางชีวภาพก็สามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นๆออกไปได้จนทำให้เหลือเพียงเซลลูโลสบริสุทธิ์ โดยแต่ละวิธีก็จะมีวิธีการสกัด และสภาวะที่แตกต่างกัน และปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปตามมาตรฐาน ซึ่งกำหนดโดย Food Chemical Codex ให้ค่าความชื้นหลังจากการอบแห้ง $\leq$7% โดยทั้งสองวิธีการสกัดเป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นจึงไม่นำมาศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสม

คุณสมบัติเชิงหน้าที่: ความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วง 9-10 และความสามารถในการอุ้มน้ำมันประมาณ 8 โดยสังเกตได้ว่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะมีค่ามากกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เนื่องจากเซลลูโลสมีสมบัติเป็น hydrophilic มากกว่า hydrophobic เป็นผลให้เซลลูโลสสามารถสร้างพันธะกับไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างน้ำกับเซลลูโลส ความสามารถในการพองตัว และ

ความหนาแน่นจำเพาะของวิธีทางเคมีมีค่าสูงกว่าวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากลักษณะโครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความแตกต่างกัน (วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ, 2541) ความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของเส้นใยเซลลูโลสได้มาจากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน รวมทั้งรูปร่าง และขนาด นอกจากนี้โครงสร้างของเซลลูโลสถูกทำให้หลวมขึ้นจากการกวนผสม ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และความหนาแน่นที่ดีขึ้น

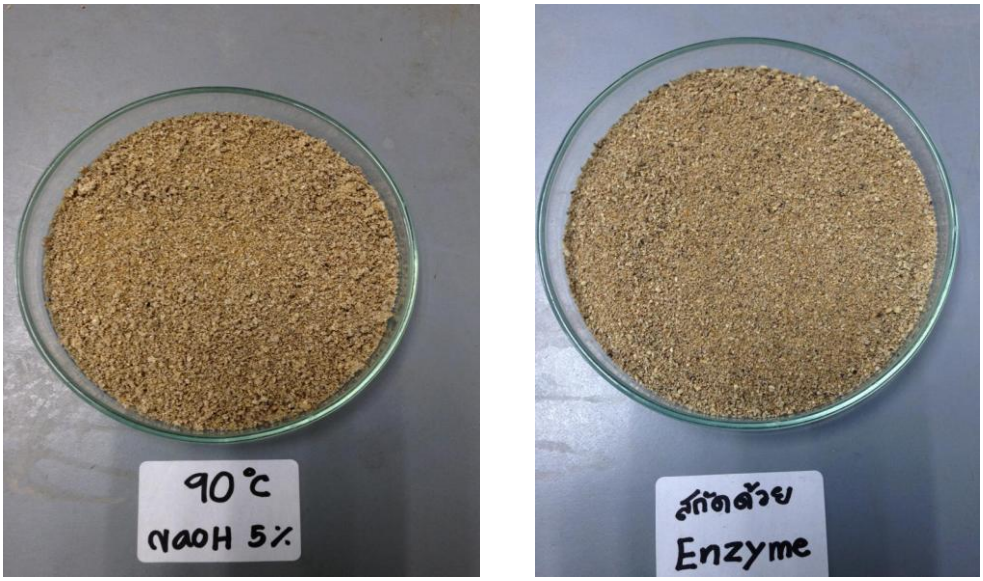
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ

คุณสมบัติ	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม	
	วิธีทางเคมี	วิธีทางชีวภาพ
ปริมาณผลผลิต	22.05±0.42[b]	31.51±1.51[a]
ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์(%)[ns]	94.75±2.10	95.37±0.00
สี		
*L** [ns]	48.43±0.59	47.50±1.05
*a**	6.83±0.40[a]	5.40±0.52[b]
*b**	22.50±0.10[a]	17.83±0.84[b]
ปริมาณความชื้น (%)	5.58±0.21[a]	1.98±0.06[b]
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (w/w) [ns]	9.84±0.80	10.45±0.90
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (w/w) [ns]	8.52±0.05	8.90±0.17
ความสามารถในการพองตัว (g/ml)	15.07±1.51[a]	9.45±0.13[b]
ความหนาแน่นจำเพาะ (g/ml)	0.29±0.00[a]	0.26±0.00[b]

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

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพ: ค่าสี ซึ่งค่า *L** มีความใกล้เคียงกันประมาณ 47-48 เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี แต่ค่า *a** และ *b** วิธีทางเคมีมีค่าสูงกว่าวิธีทางชีวภาพ ซึ่งค่าทั้งสองไม่สามารถนำมาศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมได้ เนื่องจากไม่สามารถบอกค่าสีที่แท้จริงได้ โดยค่า *a** แสดงค่าสีแดง เขียว และ *b** แสดงค่าสีเหลือง และเมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏของเซลลูโลสจากวิธีการสกัดทั้งสองวิธี ดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่าลักษณะภายนอกเป็นเกล็ด เม็ดๆ เนื่องจากไม่ผ่านการร่อนด้วยเมช สีเหลือง จนถึงน้ำตาลอ่อน โดยสีของเซลลูโลสทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี และไม่มีกลิ่น



ภาพที่ 4.2 เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมด้วยวิธีทางเคมี (ซ้าย) และวิธีทางชีวภาพ (ขวา)

จากผลการศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเซลลูโลสจากการเมล็ดมะรุมที่สกัดด้วยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ พบว่าคุณสมบัติที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ได้แก่ ด้านค่าสี L^* ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน แต่คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ได้แก่ ปริมาณผลผลิต ปริมาณความชื้น ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ ซึ่งเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่สกัดด้วยวิธีทางเคมีมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะที่ดีกว่าเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่สกัดด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งคุณสมบัติเชิงหน้าที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำเซลลูโลสที่สกัดได้ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จึงได้เลือกเซลลูโลสที่สกัดด้วยวิธีทางเคมีไปทำการเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้าต่อไป

ผลการศึกษาคุณสมบัติของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า

ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่สกัดได้ที่อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส 90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

1. คุณสมบัติทางเคมี

นำเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้ามาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และปริมาณความชื้น ได้ผลดังตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีปริมาณ 94.75% ซึ่งมากกว่าความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสทางการค้า

(88.04%) เนื่องมาจากเซลลูโลสทางการค้าที่นำมาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ แต่เป็นเพียงอนุพันธ์ของเซลลูโลสคือ Carboxy methyl cellulose: CMC จึงอาจส่งผลต่อปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ โดยการสกัดเซลลูโลสดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือเกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส มักผลิตมาจากไม้หรือฝ้าย วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกสกัดโดยใช้กรด หรือด่างภายใต้อุณหภูมิ และความดันสูง จากนั้นนำกากที่ได้มาฟอกสี และล้างน้ำหลายๆครั้ง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเซลลูโลส ซึ่งกรด และด่างที่ใช้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ช่วยทำลายลิกนิน และสิ่งที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป โดยเซลลูโลสยังคงอยู่เหมือนเดิม โดยทั่วไปตามมาตรฐานกำหนดโดย Food Chemical Codex ปริมาณเซลลูโลสควรมีอยู่ประมาณ 97-102% สำหรับปริมาณความชื้นของเซลลูโลสทั้งสองชนิด มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 5% ซึ่งปริมาณความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงไม่นำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเซลลูโลสทางการค้า

คุณสมบัติ	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (MSC)	เซลลูโลสทางการค้า (CMC)
ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ (%)	94.75±2.10 [a]	88.04±2.37 [b]
ปริมาณความชื้น (%)[ns]	5.58±0.21	5.13±0.25

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

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. คุณสมบัติเชิงหน้าที่

นำเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้ามาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำเซลลูโลสที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่อไป ผลคุณสมบัติเชิงหน้าที่ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าคุณสมบัติที่เซลลูโลสทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (9.84 w/w) ต่ำกว่าเซลลูโลสทางการค้า (9.99 w/w) เล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเซลลูโลสทางการค้า (Carboxymethyl cellulose CMC) ที่นำมาทำการศึกษาเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการเติมหมู่ไฮโดรเจน ทำให้ลักษณะโครงสร้างแตกต่างจากเซลลูโลสโดยทั่วไป ซึ่งส่งผลทำให้ละลายน้ำดีขึ้น นอกจากนั้นการที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะส่งผลทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้เส้นใยสามารถอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (15.07 g/ml) สูงกว่าเซลลูโลสทางการค้า (12.11 g/ml) เนื่องจากลักษณะโครงสร้าง

และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความแตกต่างกัน ความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาคของเส้นใยเซลลูโลสได้มาจากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน รวมทั้งรูปร่างและขนาด และอนุภาคของเซลลูโลส ความหนาแน่นจำเพาะของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (0.29 g/ml) ต่ำกว่าเซลลูโลสทางการค้า (0.54 g/ml) อาจเนื่องมาจากรูปร่างและขนาด และอนุภาคของเซลลูโลสที่แตกต่างกัน ทั้งนี้คุณสมบัติของเซลลูโลสด้านความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีจะช่วยเพิ่มปริมาณ bound water ในอาหาร ทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่จะระเหยออกไปในขณะที่ทอดลดลง จึงส่งผลให้น้ำมันแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างได้น้อยลง จึงลดการดูดซับน้ำมัน และยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นต่ำกว่า ความหนาแน่นของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง และขนาดของอนุภาค เม็ดพาติเคิลขนาดใหญ่ของใยอาหารจะให้ความหนาแน่นสูงกว่าเม็ดพาติเคิลขนาดเล็ก แต่ยกเว้นความหนาแน่นของเซลลูโลสที่มีเม็ดพาติเคิลขนาดเล็กจะให้ความหนาแน่นที่สูงกว่าเม็ดพาติเคิลขนาดใหญ่ (Prakongpan et al., 2002) ดังนั้นความหนานแน่น และความสามารถในการอุ้มน้ำยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ซึ่งขนาดเล็กลงทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยสามารถอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น โดยความแตกต่างของของวิธีการสกัด สภาวะการสกัด และพืชที่ใช้ในการสกัด อาจจะส่งผลให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันได้

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเซลลูโลสทางการค้า

คุณสมบัติ	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (MSC)	เซลลูโลสทางการค้า (CMC)
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (w/w)	9.84±0.80^{b}	9.99±0.60^{a}
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (w/w)^{ns}	8.52±0.05	9.99±0.75
ความสามารถในการพองตัว (g/ml)	15.07±1.51^{a}	12.11±0.74^{b}
ความหนาแน่นจำเพาะ (g/ml)	0.29±0.00^{b}	0.54±0.10^{a}

หมายเหตุ: ค่าฉลี่ยตามตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

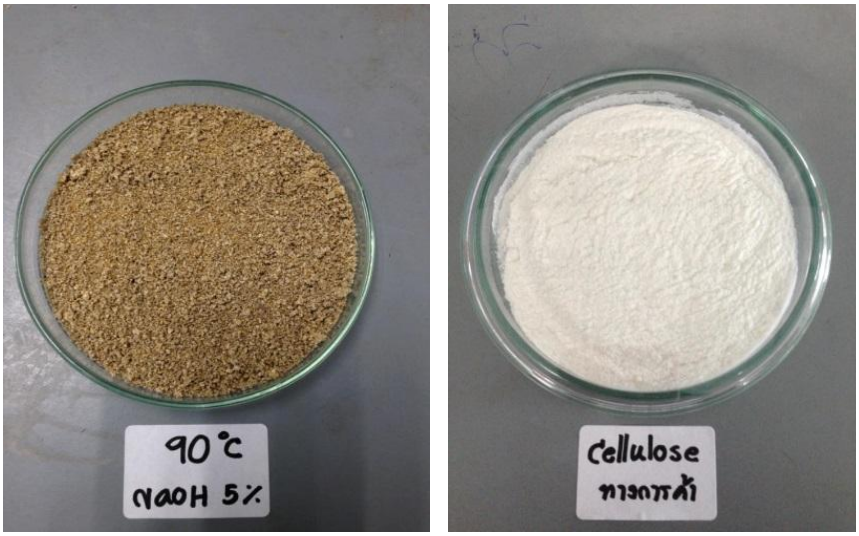
^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. คุณสมบัติทางกายภาพ

นำเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมและเซลลูโลสทางการค้ามาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* และ b^*) และลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SEM)

3.1 ค่าสี

เมื่อพิจารณาลักษณะและสีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะมีลักษณะเป็นเกล็ด สีเหลืองอมน้ำตาล ไม่มีกลิ่น แต่เซลลูโลสทางการค้าจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่มีกลิ่น เนื่องจากเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมผ่านการลดขนาดด้วยเมชที่มีขนาดที่ใหญ่กว่าและไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี



ภาพที่ 4.3 เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (ซ้าย) และเซลลูโลสทางการค้า (ขวา)

เมื่อทำการวัดค่าสีของเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีสีที่เข้มกว่าเซลลูโลสทางการค้า (ค่า *L** ต่ำกว่า โดยค่า *L** แสดงถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว) และค่า *a** และ *b** ของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีค่าที่สูงกว่าเซลลูโลสทางการค้า (โดยค่า *a** แสดงถึงสีแดง-เขียว ซึ่งถ้าเป็นบวกแสดงถึงค่าความเป็นสีแดง ถ้าเป็นลบแสดงถึงค่าความเป็นสีเขียว และ *b** แสดงถึงสีเหลือง-น้ำเงิน ซึ่งถ้าเป็นบวกแสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง ถ้าเป็นลบแสดงถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน) ซึ่งค่าที่ได้ตรงกับลักษณะปรากฏที่มองเห็นว่าสีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมจะมีสีออกเหลืองอมน้ำตาล เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี หากต้องการฟอกสีเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร, 2554) เพื่อช่วยในการฟอกสีแล้วยังช่วยในการกำจัดลิกนิน แป้ง และสารที่ไม่ใช่เซลลูโลส (ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์, 2537) หรือใช้สารละลายโซเดียมคลอไรต์ (นิลเนตร ปุณณะวรกุล และอาภัสรา แสงนาค, 2552) เนื่องด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรต์มีสมบัติในการฟอกสี และยังช่วยในการกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกไปมีผลให้เซลลูโลสที่ได้มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น

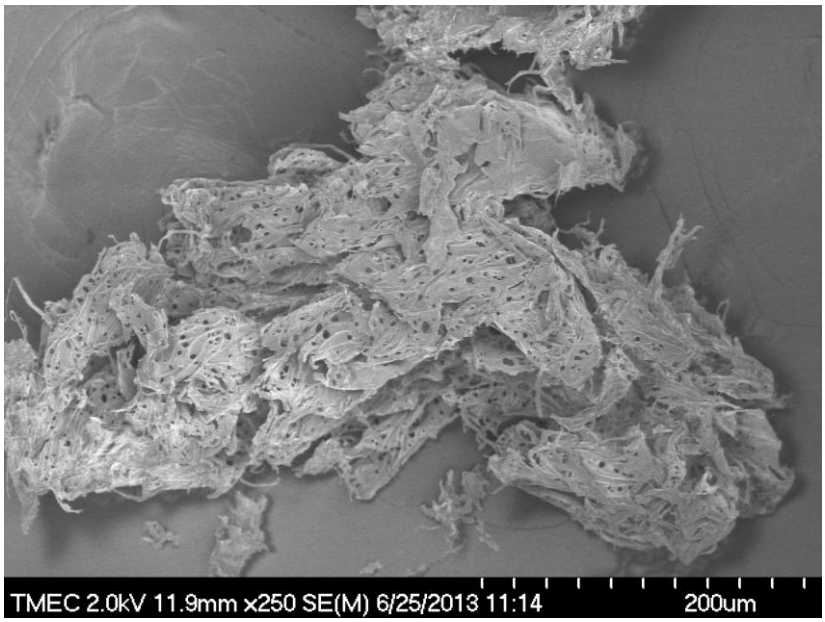
ตารางที่ 4.8 ค่าสีของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม และเซลลูโลสทางการค้า

ค่าสี	เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (MSC)	เซลลูโลสทางการค้า (CMC)
*L**	48.43±0.59 [b]	90.05±0.15 [a]
*a**	6.83±0.40 [a]	2.97±0.21 [b]
*b**	22.50±0.10 [a]	3.27±0.51 [b]

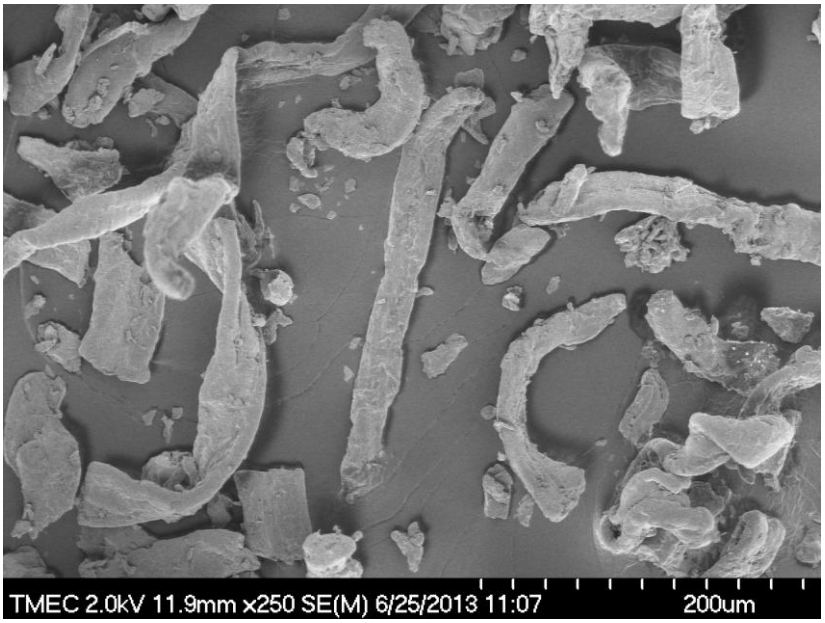
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ลักษณะสัณฐาน

เพื่อทราบถึงลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลสจากการเมล็ดมะรุม จึงได้นำเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมาทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SME) ที่กำลังขนาด 250 ไมโครเมตร ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.4-4.5



ภาพที่ 4.4 ลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ขนาด 100 เมช กำลังขยาย 250X



ภาพที่ 4.5 ลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสทางการค้า ขนาด 100 เมช กำลังขยาย 250X

จากภาพจะพบว่า เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีลักษณะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเป็นเกล็ด จับตัวกันหนาทึบ โมเลกุลเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ มีรูพรุนจำนวนมาก จึงอาจส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และการกักเก็บน้ำได้ดี มีผลทำให้สามารถพองตัวได้มาก และเมื่อรวมตัวเป็นก้อนจะมีผลต่อความหนาแน่นได้ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ทำให้ความหนาแน่นจำเพาะต่ำ สำหรับเซลลูโลสทางการค้ามีลักษณะเป็นเส้นใยผิวค่อนข้างเรียบแพร่กระจายอย่างชัดเจน โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ จับตัวกันหลวมๆ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ และเกิดการพองตัว ลักษณะของเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมแตกต่างจากเซลลูโลสทางการค้า เนื่องจากมีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ซึ่งอาจมีผลต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นควรมีขั้นตอนในการทำให้เส้นใยเซลลูโลสแยกออกจากกัน ไม่เกิดการเกาะกลุ่ม ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสได้

จากผลการศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเซลลูโลสจากการเมล็ดมะรุม และเปรียบเทียบกับเซลลูโลสทางการค้า พบว่าคุณสมบัติที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ได้แก่ ปริมาณความชื้น และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน แต่คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และค่าสี L^* a^* และ b^* ซึ่งเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์และความสามารถในการพองตัวที่ดีกว่าเซลลูโลสทางการค้า

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีหลักของกากเมล็ดมะรุมจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เส้นใย และโปรตีน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.46 28.85 และ 22.96% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากากเมล็ดมะรุมเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการนำมาสกัดเซลลูโลส เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอยู่สูง

วิธีการสกัดและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมคือการสกัดด้วยวิธีทางเคมีที่ดัดแปลงตามวิธีของ Sun et al. (2004) ที่อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ และความสามารถในการพองตัวในระดับที่ดี

เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีคุณสมบัติที่แตกต่างกับเซลลูโลสทางการค้า คือปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และค่าสี *L** *a** และ *b** ซึ่งเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมมีปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์และความสามารถในการพองตัวที่ดีกว่าเซลลูโลสทางการค้า แต่คุณสมบัติที่ไม่มีความแตกต่างกัน คือปริมาณความชื้น และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์ต่อนักวิจัย และนักพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อนำไปพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพเชิงพาณิชย์ ซึ่งหากต้องการนำเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีการพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส หรืออาจมีการเลือกผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะสมกับเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

2. ขนาดอนุภาคของเซลลูโลสมีความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นหากต้องการนำเซลลูโลสที่สกัดได้ไปใช้ ควรร่อนผ่านตะแกรงขนาดประมาณ 100-150 เมช เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงละเอียด

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตของเซลลูโลส ในขั้นตอนการกรองและการล้างด้วยน้ำกลั่นซึ่งจะมีผลต่อปริมาณผลผลิต ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตได้ ดังนั้นจึงควรมีการระมัดระวัง และเกลี่ยสารที่สกัดได้ให้ได้มากที่สุด โดยอาจมีการใช้กระดาษกรองแทนผ้าขาวบาง จะทำให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นและมีปริมาณที่สม่ำเสมอกัน

2. หากต้องการนำเซลลูโลสที่สกัดได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความสว่างสูง ควรมีการศึกษาถึงสภาวะในกระบวนการฟอกสีเพิ่มเติม โดยอาจใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือสารละลายโซเดียมคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น และปริมาณที่มีความเหมาะสม

3. ในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมอาจใช้วิธีการสกัดอื่นๆ ที่มีความเหมาะสม ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิต ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์ คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงหน้าที่ได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

กรณ์อัฐชญา วีณุตตรานนท์ มาริสา คงเอื้อสิริกุล รุ่งนภา กองทุ่งมน และวสันต์ อินทร์ตา. (2555) *ผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมะรุมส่วนทั้งเมล็ดและเมล็ดใน*. 10 ตุลาคม 2556. http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/000270

กองโภชนาการ, กรมอนามัย. (2530). *คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย.* กรุงเทพฯ: กองโภชนาการ กรมอนามัย.

จันทนา ก่อนเก่า. (2539). *การพัฒนาน้ำมันพืชชนิดใหม่เพื่ออุตสาหกรรม.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

จันทร์รัตน์ เลิศมโนรัตน์ ธิติตนนท์ ราศีวิสุทธิ์ และธัญญารัตน์ พงษ์ทรางกูล. (2539). *การใช้เซลลูโลสที่สกัดจากกากอ้อยในผลิตภัณฑ์เค้กชอคโกแลตแคลลอรี่ต่ำ***.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ ฐิติสิริ โฆวัฒนะกุล และบุญญาสิทธิ์ ดุลยศักดิ์. (2544). *การใช้เซลลูโลสผงที่ผลิตจากเปลือกถั่วเหลือง และเปลือกถั่วเขียว เพื่อลดการอมน้ำมันในปาท่องโก๋*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์. (2537). *การเปรียบเทียบการใช้เซลลูโลสผงจากกากอ้อยกับเซลลูโลสอื่นในแป้งชุบทอดและโดนัทเพื่อลดการอมน้ำมัน.* วิทยาศาสตรปริญญาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดุษฎี สริยพรรณพงศ์ ศุจิมน ตันวิเชียร จิตติมา มานะกิจ และดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล. (2552**).** *การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชานอ้อย ผักตบชวา และธูปฤาษี.* คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ.

ธีรนันท์ ประคองพันธ์. (2542*). การสกัด และใช้ประโยชน์เส้นใยอาหาร และเซลลูโลสจากแกนสับปะรด.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล. นครปฐม.

นิติพร จำรัสจำเริญดี และบัณฑิต อินณวงศ์. (2550). ผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส. *การประชุมทางวิชาการเฉลิมพระเกียรติศิลปากรวิจัยครั้งที่ 1*, 22 พฤศจิกายน 2550 ณ กลุ่มสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จังหวัดนครปฐม. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นิลเนตร ปุณณะวรกุล และอาภัสรา แสงนาค. (2552)**.** การผลิต และการเสริมเซลลูโลสจากกากอ้อยในขนมปุยฝ้าย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(1), 417-420.

ปฐม โสมวงศ์. (2552). *คุณค่าทางอาหารและทางยาของสมุนไพรมะรุม.* 15 ตุลาคม 2556. http://www. pharm.chula.ac.th

ประภาศรี ภูวเสถียร อุรุวรรณ วลัยพัชรา และรัชนี คงคาฉุยฉาย. (2533). ใยอาห**า**รในอาหารไทย. *โภชนาการสาร*, 24(2), 43-68.

ประภาศรี ภูวเสถียร. (2534). ใยอาหาร ชนิด คุณสมบัติของใยอาหาร และแหล่งอาหาร. *เอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ*, 13-15 ธันวาคม 2532 ณ สถาบันวิจัยโภชนาการ คณะแพทยศาสตร์ จังหวัดนครปฐม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2540). *คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค* 2. กรุงเทพฯ: รวมทรรศน์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2552). *Carboxymethyl cellulose*. 4 ตุลาคม, 2556. http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารเพื่อสุขภาพ*, 2(8), 63-68.

ภิญญ์ทิตา มุ่งการดี. (2531). การกำจัดความขุ่นของน้ำโดยใช้เมล็ดมะรุม. *วิศวกรรมสาร มข*, 15(2), 39-43.

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์. (2554). การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินผงที่สกัดจากผลส้มโอ. *การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*, 10–11 พฤศจิกายน 2554 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิภา สุโรจนะเมธากุล ตวิษา โลหะนะ พยอม อัตถวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. (2541). การใช้กากดอกกระเจี๊ยบ และเปลือกถั่วเหลือง เพื่อผลิตเซลลูโลสผง. *อาหาร*, 28(47), 255-2667.

วิภา สุโรจนะเมธากุล ตวิษา โลหะนะ พยอม อัตถวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. (2542). การใช้เซลลูโลสผงเป็นแหล่งของใยอาหารในผลิตภัณฑ์ซิพฟ่อนเค้ก และคุกกี้. *อาหาร*, 29(1), 16-28.

สอิ้ง จักษุศิลา. (2546). *การศึกษาวิธีวิเคราะห์เซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส (CMC).* เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

สันทนา อมรไชย. (2537). ใยอาหาร. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 42(135), 27-33.

สุธาทิพย์ ภมรประวัติ. (2550). มะรุม ลดไขมันป้องกันมะเร็ง. *นิตยสารหมอชาวบ้าน,* 29, 338.

สุรัตน์ โคมินทร์. (2534). ผลกระทบของใยอาหาร และไฟเตตต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ. *การประชุมวิชาการโภชนาการเรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ,* 13-15 ธันวาคม 2532 ณ สถาบันวิจัยโภชนาการ คณะแพทยศาสตร์ จังหวัดนครปฐม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร. (2554). การผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 42 (3), 741-744.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Ang, J. F. (1991). Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science,* 56(6), 1682-1684.

Ang, J. F., & Miller, W. B. (1989). Enhancement of cake volume by a new form of powdered cellulose. *AACC Annual Meeting*, 74(3), 162.

Ang, J. F., & Miller, W. B. (1990). *Reduction of fat in donuts containinh a new form of powder cellulose.* Solka-Flou Division: James River Corporation.

AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International (18th ed.)*. Gaithersburg MD USA: AOAC International.

Baghurst, P. A., Baghurst, K. I., & Record, S. J. (1996). Dietary Fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch-A. *Food Australia*, 48(3), 3-35.

Bhatia, S., Othman, Z., & Ahmas, A. L. (2007). Influence of powdered Moringa oleifera seeds and natural filter media on the characteristics of tapioca starch waste water. *Chemistry Engineering*, 133, 205-212.

Bicu, I., & Mustata, F. (2011). Cellulose extraction from orange peel using sulfite digestion reagent. *Bioresource Technology,* 102, 10013-10019.

Chan, J. K. C., & Moy, J. H. (1977). Hemicellulose-b- from commercial pineapple juice underflow. *Food Science*, 42(6), 1451-1453.

Eastwood, M. A., Anderson, R., & Mitchell, W. D. (1976). A method to measure the absorption of bile salt to vegetable fiber of differing water-holding capacity. *Journal of Nutrition,* 106, 1429-1432.

Eastwood, M. (1997). Principles of Human Nutrition. London: Chapman & Hall.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterization, technological functionality and commercial applications. *Food Chemistry,* 124, 411-421.

Goksoyr, J., & Eriksen, J. (1980). *Cellulase in economic microbiology*. New York: Academic Press.

Jimenez-Escrid A., & Sanchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicalchemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nursing Research*, 20: 585-598.

Kaur, M., Sandhu, S. K., & Singh, N. (2007). Comparative study of the functional thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 104, 259-267.

Mcconnell, A. A., Easrwood, M. A., & Mitchell, W. D. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel fuction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(4), 1457-1461.

Monro, J. A. (1996). Dietary fiber. *Food Analysis*, 1, 1051-1088.

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.

Robinson, W.B. (1981). *Food Chemical Codex (3rd ed).* Washington DC: National Academy Press, 3, 1041-1122.

Singanusong, R., & Sodchit, C. (2011) Production of cellulose from banana peels. *Agricultural Scince Journal*, 42 (Suppl.), 741-744.

Singh, M., Liu, S. X., & Vaughn, S. F. (2012). Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1(4), 348-352.

Stanley, M. M., Paul, D., Gackek, D., & Murphy, J. (1973). Effect of cholestyramine Metamucil and cellulose on fecal bile excretion in man. *Gastroenterology,* 65(6), 889-894.

Stark, A., & Madar, Z. (1994). Dietary fiber. *Functional Foods*, 1, 183-201.

Sun, R. C., & Hughes, S. (1998). Fractional extraction and physico-chemical characterization of hemicelluloses and cellulose from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers,* 36, 293–299.

Sun, J. X., Sun, X. F., Zhao, H., & Sun, R. C. (2004). Isolation and charasterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stabillity,* 84, 331-339.

Sun, R. C., & Tomkinson, J. (2004). Separation and characterization of cellulose from wheat straw. *Seperation Science and Technology*, 39, 391-411.

The Food Additives and Ingredients Association. (2008). *เซลลูโลส*. 6 มีนาคม 2556. http://www.understandingfoodadditives.org/pages/Ch6E400Frameset.htm.

Thompson, J. B. (1984). Process Preparaing cellulose. *Journal of Food Science,* 80, 655-674.

Walter, R. H. (1977). Development and characterization of an apple cellulose gel. *Food Science*, 42(6), 241-243.

Whistler, R. L. (1963). *Method in carbohydrate chemistry Vol3 cellulose*. New York: Academic Press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

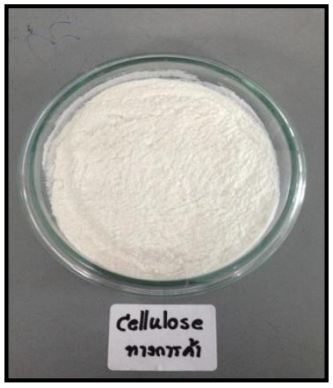
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ภาคผนวก ก1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธี AOAC, 2005

วัตถุดิบใช้ในการหาปริมาณความชื้น

1. กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา

2. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



3. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้น

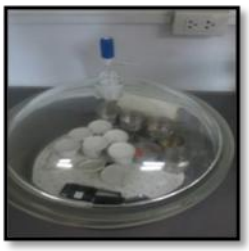
1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmer/USA
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland

4. ถ้วยอะลูมิเนียม พร้อมฝา (Moisture cans)
5. บีกเกอร์ (Beaker)
6. ที่คีบ (Tong)
7. ถุงมือ (Gloves)
8. ถาด (Tray)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

อบ Aluminum can พร้อมฝาใน Hot air oven 105 ℃ 3 hr.

↓



ใส่ใน Desiccator 30 min.

↓

ชั่งน้ำหนัก Aluminum can

↓

ชั่งกากเมล็ดมะรุม 2 g (ลดขนาด)

↓

อบใน Hot air oven 105 °C

↓

ใส่ใน Desiccator 30 min

↓

ชั่งจนได้น้ำหนักคงที่

วิธีการคำนวณปริมาณความชื้น

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

ภาคผนวก ก2 ปริมาณไขมัน **(**Fat content**)** ตามวิธี AOAC, 2005

วัตถุดิบที่ใช้ในการหาปริมาณไขมัน

กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณไขมัน

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 Memmer/USA
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
7. ถุงมือ (Gloves)
8. ถาด (Tray)

สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไขมัน

1. เฮกเซน (C_6H_{14})

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

อบ ใน Extraction cup 105 °C 3 hr.

↓

นำเข้า Desiccator 30 min.

↓

ชั่งน้ำหนัก

↓

ชั่งกากเมล็ดมะรุม 1 g ใส่ Thimble

↓

นำ Thimble มาใส่เครื่อง Soxtec ด้วย Thimble holder

↓

เติมตัวทำละลาย 50 ml ใน Extraction cup

↓

ต่อเข้ากับเครื่อง

↓

เมื่อครบเวลาการทำงานนำ Extraction cup อบใน Hot air oven 100°C 30 min.

↓

นำเข้า Desiccator 30 min.

↓

ชั่งน้ำหนัก

วิธีการคำนวณปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W1 - W2)}{W} \times 100$$

W_1= น้ำหนักตัวอย่างถ้วยสกัด และน้ำหนักที่สกัดได้ภายหลังการอบแห้งแล้ว (g)
W_2= น้ำหนักของสกัด (g)
W= น้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่อบแห้งแล้ว (g)

ภาคผนวก ก3 ปริมาณโปรตีน (Protein content) ตามวิธี AOAC, 2005

วัตถุดิบที่ใช้ในปริมาณโปรตีน

กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในปริมาณโปรตีน

1. เครื่องย่อยโปรตีน (Digester and Scrubber)
2. เครื่องกลั่นโปรตีน (Distillator)
3. หลอดย่อยโปรตีน (Digestion tube)
4. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
5. บิวเรตต์ (Burette)
6. ปิเปต (Pipette)
7. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
8. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
9. บีกเกอร์ (Beaker)
10. ลูกยาง (Rubber bulb)
11. หลอดหยอด (Dropper)

สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณโปรตีน

1. คอปเปอร์ซัสเฟต ($CuSO_4.5H_20$)
2. โปตัสเซียม (K_2SO_4)
3. ออกทานอล ($C_8H_{18}O$)
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4)
5. กรดบอริก (H_3BO_3)
6. เมทิลเรด ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)
7. Bromocresol ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)
8. น้ำกลั่น (Distillation water)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
10. ไฮโดรคลอริก (HCl)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

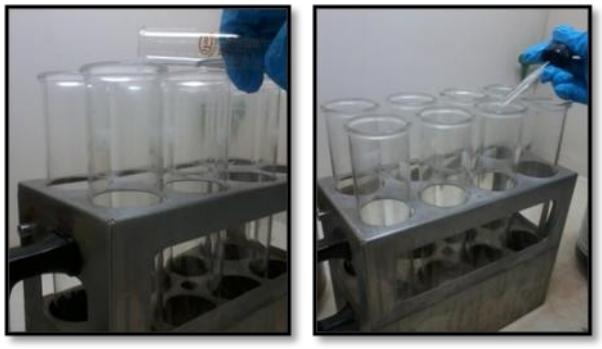
1. การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งกากเมล็ดมะรุม 1 g ใส่ใน Digestion tube

↓

เติม $CuSO_4.5H_2O$ 0.8 g+K_2S0_4 7 g

↓

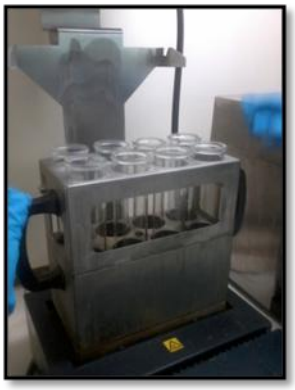


เติม H_2SO_4 12 ml+ octanol 3 หยด → สีดำ

2. กระบวนการย่อย

เปิด Digester &Scrubber

↓



Digestion tube ใส่ digestion holder ใส่ลงในเตาย่อยอุณหภูมิ 420 °C

↓

สวม Scrubber บนส่วนบนของ Digestion holder

เปิด Power อุณหภูมิ 420 °C เวลา 60 min ⟶ สีฟ้าใส

↓

ยก Digestor holder ทิ้งให้เย็น

ปิด Power เครื่องย่อย แต่เปิด Scrubber

3. กระบวนการกลั่น

เตรียมความพร้อมเครื่องกลั่น (H_2O 80ml+NaOH 50 ml)

↓

Pipette 4% Boric acid 25 ml+ mix indicator 4 หยดลง (เครื่อง) ⟶ สีชมพู

↓

ต่อ Digestion tube เข้ากับเครื่องกลั่น

↓

วาง Flask ไว้บริเวณ Plate form

↓

ปิด Safety door**+**ใช้เวลากลั่นประมาณ 4 min.

4. กระบวนการไทเทรต

นำ Flask ไทเทรตกับ HCl 0.1 N

↓

จนเปลี่ยนเป็นสีชมพู (จุดยุติ)

↓

บันทึกปริมาตร

↓

คำนวณปริมาณโปรตีน

หมายเหตุ: ทำ Blank เพื่อใช้ในการคำนวณ

วิธีการคำนวณปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(T-B)x14.007x100xN}{W}$$

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) = % ไนโตรเจน x 6.25

T = ปริมาตรการไทเทรตตัวอย่าง

B = ปริมาตรการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

W= น้ำหนักตัวอย่าง (mg)

ภาคผนวก ก4 ปริมาณเส้นใย (Fiber content) ตามวิธี AOAC, 2005

วัตถุดิบที่ใช้ในการหาปริมาณเส้นใย

กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณเส้นใย

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

สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณเส้นใย

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

วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณเส้นใย

1. **การสกัดร้อน** (**Hot extraction**)

ชั่งกากเมล็ดมะรุม 1 g (บดละเอียด)+Celite 1 g

↓

ข้าเครื่อง Fiber extraction unit

↓

Hot extraction

↓

วาง Crucible ในช่องเติม H_2S0_4 1.25% ที่ร้อน 150 ml

+หยด Octanol 2-4 หยด

↓

ต้มให้เดือดนาน 30 min.

↓

ปล่อยสารละลาย H_2S0_4 ออก

↓

ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 30 ml

↓

ระบายออก

↓

ทำซ้ำ 3 ครั้ง

↓

เติม NaOH 1.25% ร้อน 150 ml +หยด Octanol 1-4 หยด

↓

ต้มจนเดือดนาน 30 min.

↓

ระบาย NaOH ออก

↓

ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 30 ml

↓

ระบายน้ำกลั่นออก

2. การสกัดเย็น (Cold extraction)

เติม Acetone 2-5 ml ทิ้งไว้ 10 min.

↓

ดูดสารละลายทิ้ง

↓

ล้างด้วยน้ำกลั่นไม่ต้ม

↓

ระบายน้ำกลั่นออก

↓

ทำซ้ำ 2 ครั้ง

↓

เข้า Hot air oven 130 ℃ 2 hr.

↓

เข้า Furnace 525 ℃ 3 hr.

↓

ลด T ให้เหลือ 30 ℃ ใน Hot air oven

↓

เข้า Desiccator 30 min

↓

ชั่งน้ำหนัก

วิธีการคำนวณปริมาณเส้นใย

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังผา (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \text{ X } 100$$

ภาคผนวก ก5 ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธี AOAC, 2005

วัตถุดิบที่ใช้ในการหาปริมาณเถ้า

กากเมล็ดมะรุมที่ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา

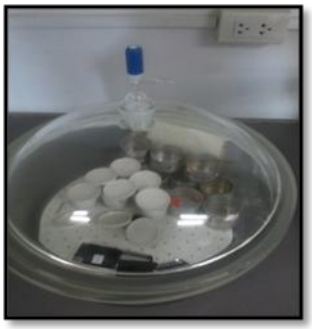
วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณเถ้า

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

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash content)

อบ Crucible ด้วย Hot air oven 105 ℃ 3 hr.

↓



นำเข้า Desiccator 30 min.

↓

ชั่งน้ำหนัก

↓

ใส่กากเมล็ดมะรุม 3-4 g

↓

นำไปเข้า Electric burner รอจนหมดควัน

↓

เข้า Furnace 550 ℃ 2-3 hr. จนสีดำเปลี่ยนเป็นสีขาว เทา

↓

ปิดเครื่องรอจนอุณหภูมิลด 200 ℃ จึงเปิดได้

↓

เข้า Desiccator 30 min. ชั่งน้ำหนัก

วิธีการคำนวณปริมาณเถ้า

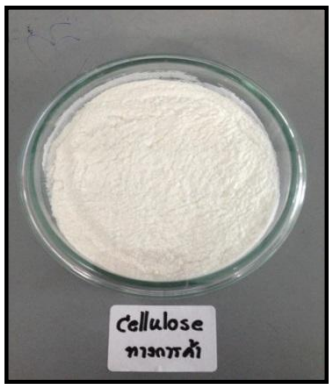
$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(W2-W)}{(W1-W)} \text{ X } 100$$

W_1= น้ำหนักตัวอย่างถ้วยกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างก่อนเผา (g)
W_2= น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างหลังเผา (g)
W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (g)

ภาคผนวก ก6 ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose content) ตามวิธีของ Robinson, 1981

วัตถุดิบที่ใช้ในการหาปริมาณเซลลูโลส

1. เซลลูโลสจากกากมล็ดมะรุม



2 เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณเซลลูโลส

1. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
2. บิวเรตต์ (Burette) พร้อมที่ตั้ง
3. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
4. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
6. บีกเกอร์ (Beaker)
7. แท่งแก้วคน (Stirring Rod)
8. ช้อนตักสาร (Spatula)

สารเคมีที่ใช้ในหาปริมาณเซลลูโลส

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4.FeSO_4.6H_20$)
4. เฟอโรอีน (Ferrion)
5. น้ำกลั่น (Distillation water)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส

ตัวอย่างเซลลูโลส 0.125 g

↓

เติมน้ำกลั่น 25 ml

↓

โพแทสเซียมไดโครเมต 0.5 N 50 ml

↓

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 100 ml

↓

ตั้งบน Hot plate จนเดือด+ ปล่อยให้เย็น

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 250 ml

↓

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 50 ml

↓

ไทเทรตด้วยเหล็ก (II) แอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N
(เฟอโรอีนเป็นอินดิเคเตอร์)

↓

จนเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

หมายเหตุ: ทำ Blank เพื่อใช้ในการคำนวณ

วิธีการคำนวณปริมาณเซลลูโลส

$$N = \frac{0.1x50}{B}$$

B = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Blank

$$\text{ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)} = 6.75(B - S) \times \frac{N}{2w}$$

B = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่าง
W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (g)
N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) แอมโมเนียมซัลเฟต

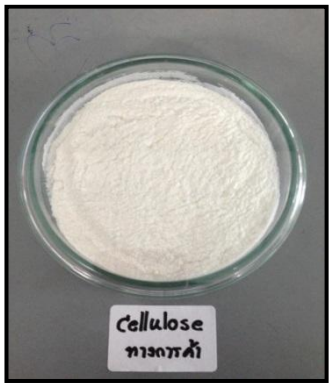
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่

ภาคผนวก ข1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity: WHC) ตามวิธีของ Robinson, 1981

วัตถุดิบที่ใช้ในการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ

1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ

1. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ยี่ห้อ Beckman/American
2. หลอดเหวี่ยงแยก (Centrifuge tube)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. ช้อนตักสาร *(*Spatula*)*

วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity: WHC)

ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก

↓

ชั่งตัวอย่างแห้งใส่หลอดสำหรับเหวี่ยงแยก 2 g

↓

เติมน้ำกลั่น 30 ml

↓

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 min.

↓

นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 min.

↓

กรองของเหลวออก และชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง

วิธีการคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำ

$$\text{ค่าการอุ้มน้ำ} = \frac{m2-m1}{m}$$

m= น้ำหนักตัวอย่าแห้ง (g)

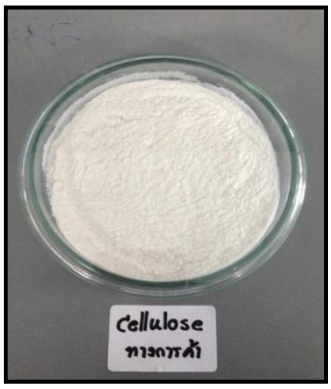
m_1= น้ำหนักหลอดเหวี่ยง+น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)

m_2=น้ำหนักตัวอย่าง (g) +น้ำหนักน้ำกลั่น+ น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก

ภาคผนวก ข2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity: OHC) ตามวิธีของ Robinson, 1981

วัตถุดิบที่ใช้ในการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

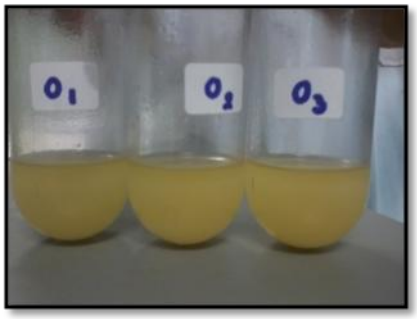
วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

1. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ยี่ห้อ Beckman/American
2. หลอดเหวี่ยงแยก (Centrifuge tube)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. ช้อนตักสาร *(*Spatula*)*

สารเคมีใช้ในการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

1. น้ำมันปาล์ม (Plam oil)

วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน



ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก

↓

ชั่งตัวอย่างแห้งใส่หลอดสำหรับเหวี่ยงแยก 2 g

↓

เติมน้ำมันปาล์ม 30 ml

↓

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 min.

↓

นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 min.

↓

กรองของเหลวออก และชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง

วิธีการคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

$$\text{ค่าการอุ้มน้ำมัน} = \frac{m2-m1}{m}$$

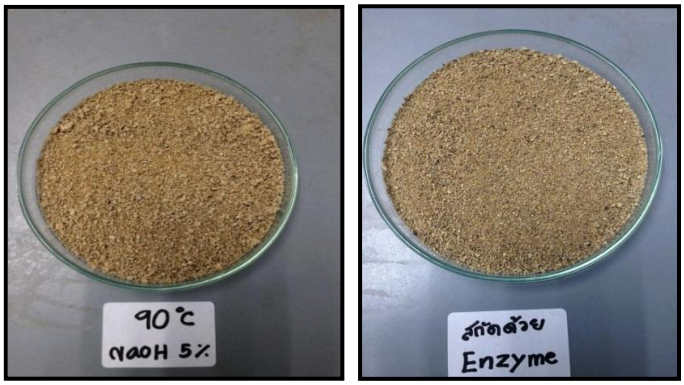
m= น้ำหนักตัวอย่าแห้ง (g)

m_1= น้ำหนักหลอดเหวี่ยง+น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)

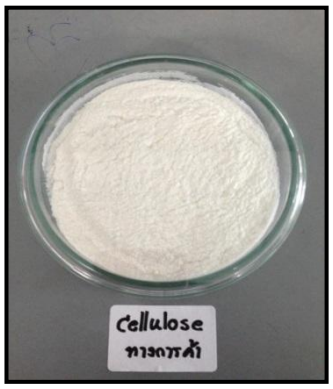
m_2=น้ำหนักตัวอย่าง (g) +น้ำหนักน้ำมันปาล์ม+ น้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก

ภาคผนวก ข3 ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity: SC) ดัดแปลงตามวิธีของดุษฎี และคณะ, 2552

วัตถุดิบที่ใช้ในการวัดความสามารถในการพองตัว



1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสามารถในการพองตัว

1. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ยี่ห้อ Beckman/American
2. หลอดเหวี่ยงแยก (Centrifuge tube)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
5. บีกเกอร์ (Beaker)
6. กระบอกตวง (Cylinder)
7. ช้อนตักสาร *(*Spatula*)*

วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว

ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงแยก

↓

ชั่งเซลลูโลส 1 g เติมน้ำกลั่น 15 ml

↓

ทิ้งไว้ในWater bath อุณหภูมิ 40 °C 30 min.

↓

นำไป Centrifuge 3,000 รอบ/นาที 30 min.

↓

แยกน้ำออก และชั่งน้ำหนัก

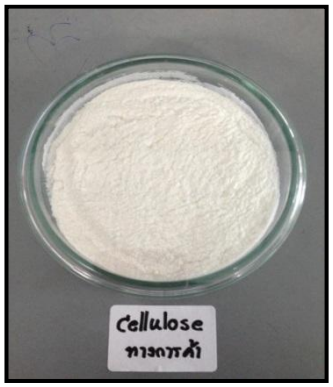
วิธีการคำนวณความสามารถในการพองตัว

$$\text{ค่าการพองตัว (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับ}} \text{ X } 100$$

ภาคผนวก ข4 ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density: BD) ดัดแปลงตามวิธีของ Kaur et al., 2007

วัตถุดิบที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นจำเพาะ

1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นจำเพาะ

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ 240A Precisa/ Swizerland
2. กระบอกตวง (Cylinder)ขนาด 10 ml
3. บีกเกอร์ (Beaker)
4. ช้อนตักสาร (*Spatula)*

วิธีการวิเคราะห์ความหนาแน่นจำเพาะ

ชั่งเซลลูโลส 2.00 g

↓

ใส่ลงใน cylinder ขนาด 10 ml

↓

อ่านปริมาตรที่ได้บนขอบสูงสุด

วิธีการคำนวณความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density: BD)

$$\text{ค่าความหนาแน่นจำเพาะ} = \frac{M}{V0}$$

M = น้ำหนัก (g)

V_0 = ปริมาตรที่ได้บนขอบสูงสุดของเซลลูโลส (ml)

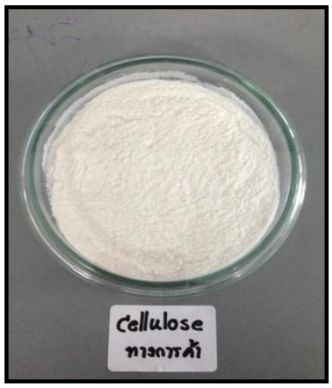
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ภาคผนวก ค1 การวัดค่าสี

วัตถุดิบที่ใช้ในการวัดค่าสี

1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม

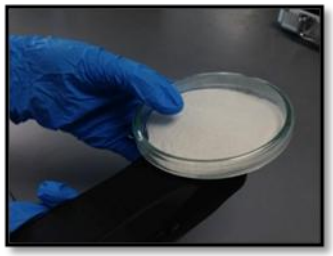


2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสี

1. เครื่องวัดสี Portable colorimeter (HPG2132) ยี่ห้อ CR 300/Minolta
2. จานเพาะเชื้อ (Plate)

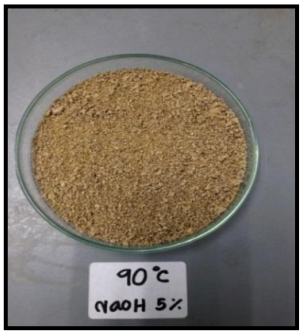
วิธีการวัดค่าสี



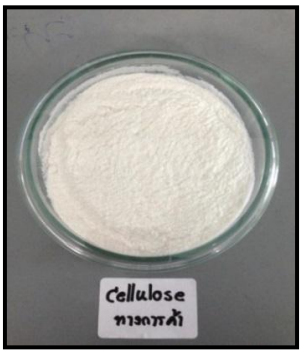
เปิดเครื่องวัดสี วัดค่าสีระบบ CIE: ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีเขียว-แดง (a* value) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b* value)

ภาคผนวก ค2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลส

วัตถุดิบที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลส



1. เซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม



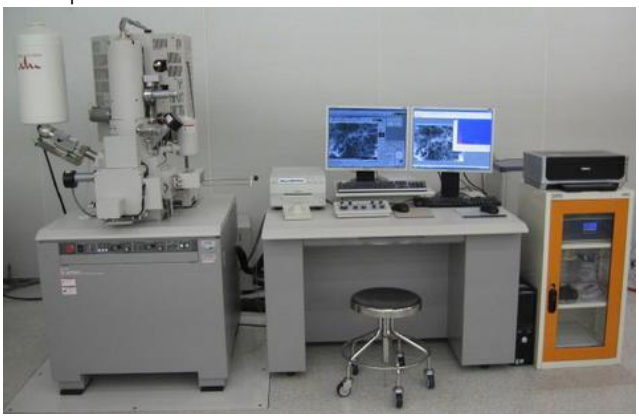
2. เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC) ที่ได้รับความอนุเคราะห์บริษัท World Agrotech. Co., Ltd.

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลส

1. กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SEM: Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700

วิธีการตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลส

ทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องกราด (SEM: Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาว ฐิตา ฟูเผ่า

ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต 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)	จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย
วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (เกรียตินิยมอันดับที่ 2)

ผลงานวิจัย

1. 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 Ca^{2+}. FEBS J. 278(11): 1901-1911.

* These authors contributed equally to this work

2. **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.

3. **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.

4. 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 นายวีระ พุ่มเกิด
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต 228-228/1-3 ถนนสิรินธร
เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
เบอร์โทรศัพท์ 02-4239435
E-mail: veera_poo@dusit.ac.th

ประวัติการศึกษา

ศ.ม(เศรษฐศาสตร์การศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
วท.บ.(เทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลงานวิจัย

1. งานวิจัยชุดโครงการวิจัยอาหารไทย(สังกัดเขตภาคกลางตอนล่าง)
2. งานวิจัยเรื่อง การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำพริกสมุนไพรไทยทรงเครื่อง ปีที่พิมพ์ 2547 : การเผยแพร่ในวารสารของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
3. งานวิจัยเรื่อง น้ำหมักสมุนไพรจตุพลาธิกะ (ตามพระไตรปิฎก)
4. งานวิจัยเรื่อง การแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากแก่นตะวัน
5. งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนมปลาเสริมฟักข้าว

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอัจฉรา พรหมแสง
ตำแหน่งปัจจุบัน นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต 228-228/1-3
ถนนสิรินธร เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
เบอร์โทรศัพท์ 02-4239435
E-mail: atchara_promsang@hotmail.co.th

ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

ประสบการณ์ด้านฝึกงาน

บริษัท แคดเบอรี่อดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด 102/1 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ชื่อ-นามสกุล นางสาว พัชรา อ้นโต
ตำแหน่งปัจจุบัน นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต 228-228/1-3
ถนนสิรินธร เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
เบอร์โทรศัพท์ 02-4239435
E-mail: phatchara_onto@hotmail.co.th

ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

ประสบการณ์ด้านฝึกงาน

บริษัท แคดเบอรี่อดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด 102/1 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร