การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

OPTIMIZATION OF DIETARY FIBER EXTRACTION FROM SOYBEAN RESIDUES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

วิรัลรวินท์ สัมปุณณะโชติ

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Optimization of Dietary Fiber Extraction from Soybean Residues using Response Surface Methodology

จัดทำโดย

วิรัลรวินท์ สัมปุณณะโชติ รหัสนักศึกษา 58080202

ได้รับพิจารณาเห็นชอบจาก

.....ระจิตร.....

(ดร.ระจิตร สุวพานิช)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

.....2...../.....กรกฎาคม...../.....2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง
ชื่อนักศึกษา วิรัลรวินท์ สัมปุณณะโชติ รหัสนักศึกษา 58080202
หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ. 2562
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ระจิตร สุวพานิช

บทคัดย่อ

กากถั่วเหลืองเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วเหลือง ซึ่งเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ปัญหาพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง จากการศึกษาพบว่าการสกัดเส้นใยอาหารด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล ทำให้ได้ค่าร้อยละของผลผลิตเส้นใยอาหารเท่ากับ 13.10 โดยปัจจัยที่ใช้ศึกษากระบวนการสกัดเส้นใยอาหาร ได้แก่ เวลา (นาที) อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด (g/mL) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง (g/mL) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติของแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) พบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อผลผลิตของเส้นใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญ (R^2 = 91.22%) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล คือ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ ระยะเวลา 10 นาที เมื่อนำเส้นใยอาหารที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ค่าสี ได้ค่า L* เท่ากับ 63.24 a* เท่ากับ 4.15 และ b* เท่ากับ 18.24 และวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.2984

คำสำคัญ: กากถั่วเหลือง เส้นใยอาหาร ไฮโดรไลซิส ไฮโดรเทอร์มอล วิธีพื้นผิวตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Optimization of dietary fiber extraction from soybean residues using response surface methodology
Student name	Virunrawin Sampoonnachot Student ID 58080202
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2019
Advisor	Dr. Rachit Suwapanich

ABSTRACT

Soybean residues are waste from the soybean processing industry. Which are source of dietary fiber that can be used to benefit. This study has an objective to find the optimum condition for the extraction of dietary fiber from soybean residues using response surface methodology. The study found that the extraction of dietary fiber with hydrolysis and hydrothermal technique showed the results of the product yield of dietary fiber was 13.10%. The factors in this study are time (minutes), ratio between soybean residues and acid (g/mL) and ratio between soybean residues and alkaline (g/mL). Based on the statistical analysis of the experimental results of the Box-Behnken Design, it was found 3 significantly factors affected the yield of dietary fiber (R^2 = 91.22%). The dietary fiber with hydrothermal technique at 121°C, 15 lbs pressure for 10 minutes. The color value can be analyzed to L* = 63.24, a* = 4.15 and b* = 18.24 and the amount of free water is 0.2984.

Keywords: Soybean residues, Dietary fiber, Hydrolysis, Hydrothermal, Response surface methodology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาปัญหาพิเศษเรื่องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองนี้ จะมิอาจสำเร็จลงได้ หากขาดความอนุเคราะห์จากบุคคลเหล่านี้ อันได้แก่

ดร. ระจิตร สุวพานิช อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งกรุณาชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ในการศึกษาปัญหาพิเศษของข้าพเจ้า ตลอดจนช่วยขัดเกลาและตรวจสอบการนำเสนอ การจัดทำรูปเล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

ดร. พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ผู้ซึ่งอุทิศเวลาในการให้คำปรึกษาและช่วยเหลือข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาค้นคว้าและทำการทดลองปัญหาพิเศษครั้งนี้

คณาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในสถาบันแห่งนี้

เหล่าเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้ซึ่งสละเวลาให้คำแนะนำในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกให้การทดลองปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานปัญหาพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้สนใจในหัวข้อดังกล่าว

และขอมอบคุณประโยชน์ให้แก่บุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ข้าพเจ้าขอน้อมรับคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

วิรัลรวินท์ สัมปุณณะโชติ

23 มิถุนายน 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ถั่วเหลือง	3
2.2 เส้นใยอาหาร	7
2.3 กระบวนการไฮโดรไลซิส	16
2.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	18
2.5 การวิเคราะห์ผล	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุดิบ	21
3.2 สารเคมี	21
3.3 อุปกรณ์	21
3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง	29
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหาร	29
4.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 38

บรรณานุกรม 39

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 41

ภาคผนวก ข 43

ประวัติผู้เขียน 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเมล็ดแห้ง	5
2.2 ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง	6
2.3 ปริมาณไขมันในถั่วเหลือง	6
2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง	7
3.1 ปัจจัยและระดับตัวแปร	25
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง	29
4.2 ผลผลิตของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล	29
4.3 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของผลผลิตร้อยละของเส้นใยอาหาร	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ฝักถั่วเหลือง	4
2.2 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง (Legume)	4
2.3 การไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นโมเลกุลของกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ	17
2.4 พื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) และคอนทัวร์พล็อต (contour plot)	18
3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ	25
3.2 การกรองล้างกากถั่วเหลือง	25
3.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน	26
3.4 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้ออัดความดันไอ	27
3.5 เครื่องวัดสี	27
3.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ	28
4.1 แผนภูมิตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง	32
4.2 แผนภูมิพาเรโต	33
4.3 แผนภูมิโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างเวลาและอัตราส่วนระหว่างกรดกับของแข็ง	34
4.4 แผนภูมิโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างเวลาและอัตราส่วนระหว่างด่างกับของแข็ง	34
4.5 แผนภูมิโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างอัตราส่วนระหว่างด่างกับของแข็งและอัตราส่วนระหว่างกรดกับของแข็ง	34
4.6 แผนภูมิแสดงผลกระทบปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย	35
4.7 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหาร	35
4.8 แผนภูมิแสดงผลกระทบปัจจัยร่วม 2 ระดับ	36
ข.1 เครื่องวัดสี	43
ข.2 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กากถั่วเหลือง เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร อาทิ แป้งถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สามารถช่วยลดปริมาณส่วนเหลือทิ้ง จึงลดต้นทุนให้กับผลิตภัณฑ์แปรรูปจากถั่วเหลือง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กากถั่วเหลือง จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ในกากถั่วเหลืองมีเส้นใยอาหารประเภทไม่ละลายน้ำ (Non-soluble dietary fiber) ในปริมาณค่อนข้างสูง

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงความสำคัญของสุขภาพในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการบริโภคอาหารที่ไม่ได้คุณภาพหรือมีคุณค่าทางสารอาหารไม่ครบถ้วนนั้นอาจเกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคเบาหวาน เป็นต้น ดังนั้นการเลือกบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ผู้บริโภคได้รับความปลอดภัยและช่วยลดอัตราเสี่ยงที่อาจเกิดโรคต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ ใยอาหารเป็นสารอาหารที่สำคัญที่ร่างกายต้องการและมีส่วนช่วยในการป้องกันการเกิดโรคในเบื้องต้น เช่น ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันและแก้ปัญหาท้องผูก สามารถดักจับไขมัน คลอเลสเตอรอล และน้ำตาล ช่วยขับเคลื่อนและเป็นสารหล่อลื่นให้อุจจาระไหลเลื่อนในลำไส้ใหญ่ได้เร็วขึ้น เป็นต้น

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เส้นใยอาหารมีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันกลับพบว่ามีผู้บริโภคอาหารที่มีองค์ประกอบของใยอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ น้อยลง จึงทำให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารออกมามากมาย เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับปริมาณใยอาหารที่เพียงพอ

การสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่วิธีกำจัดองค์ประกอบอื่น ๆ ในกากถั่วเหลืองที่ไม่ต้องการออกไป จนเหลือแต่เส้นใยอาหารโดยการใช้สารเคมี และการใช้เอนไซม์ ปัญหาพิเศษนี้ศึกษากระบวนการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้การย่อยด้วยกรด-ด่าง และใช้เทคนิคไฮโดรเทอร์มอลด้วยการใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองด้วยเทคนิคไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

1.2.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารในกากถั่วเหลือง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเส้นใยอาหารด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยมีผลตอบสนองคือ ปริมาณผลผลิตของเส้นใย (yield) และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง โดยมีปัจจัยดังนี้ เวลา อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบกับกรด และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบกับด่าง เป็นตัวแปรต้น ผลผลิตของเส้นใยอาหารเป็นตัวแปรตาม และกากถั่วเหลืองเป็นตัวแปรควบคุม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบข้อมูลและสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง

1.4.2 ทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเส้นใยอาหารที่สกัดด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

1.4.3 ทราบถึงสมบัติของใยอาหารที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง

1.4.4 เพิ่มมูลค่าให้กับกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วเหลือง

1.4.5 ช่วยลดต้นทุนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Glycine max*) เป็นพืชตระกูลถั่ว ซึ่งเมล็ดแห้งจากถั่วเหลืองจัดเป็นถั่วเมล็ดแห้ง (Legume) ในกลุ่มพืชน้ำมัน (Oil crop) นำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อสกัดเป็นน้ำมันถั่วเหลืองและยังนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายเพื่อเป็นแหล่งโปรตีน เช่น โปรตีนเกษตร (Textureized vegetable protein) โปรตีนถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วเหลือง เช่น ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว มิโซะ เต้าหู้ยี้ เทมเป้ ถั่วเน่า เป็นต้น

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจ เหมาะสำหรับปลูกสลับกับการปลูกข้าว มีรายงานการปลูกถั่วเหลืองในจีนประมาณ 5,000 ปีมาแล้ว แต่ไม่แน่ชัดว่าส่วนใดของประเทศจีนเป็นถิ่นกำเนิด ที่สันนิษฐานและยอมรับโดยทั่วไปคือพื้นที่เทือกเขาแม่น้ำฮวงโห เพราะเป็นจุดเริ่มต้นอารยธรรมจีน อีกทั้งยังบันทึกเกี่ยวกับถั่วเหลืองครั้งแรกก่อนพุทธกาล 2,295 ปี ที่เทือกเขาแม่น้ำฮวงโห จากนั้นจึงได้แพร่ขยายสู่ประเทศเกาหลีและประเทศญี่ปุ่น ก่อนคริสตกาล 200 ปี จากนั้นช่วงหลัง พ.ศ. 2143 เข้าสู่ทวีปยุโรปในและ พ.ศ. 2347 เข้าสู่ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นชาวอเมริกันได้ปลูกถั่วเหลืองเพื่อใช้เลี้ยงวัวเพียงอย่างเดียว จนถึงปี พ.ศ. 2473 สหรัฐอเมริกาได้นำเข้าถั่วเหลืองจากประเทศจีนกว่า 1,000 สายพันธุ์ เพื่อผสมและคัดเลือกพันธุ์ ให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่โต ผลผลิตสูง เหมาะแก่การเพาะปลูก ส่วนถั่วเหลืองของไทย ส่วนมากปลูกแถบภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน นิยมเรียกกันในภาษาไทยโดยทั่ว ๆ ไปหลายชื่อ เช่น ถั่วพระเหลือง ถั่วแระ ถั่วแม่ตาย ถั่วเหลือง (ภาคกลาง) มะถั่วเน่า (ภาคเหนือ) เป็นต้น

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ฝักถั่วเหลืองพัฒนามาจากรังไข่ ซึ่งจะเจริญเติบโตเป็นฝักรูปยาวและโค้ง ภายในมีเมล็ด 2-3 เมล็ด เรียงตัวอยู่ตามแนวนอน เมล็ดถั่วเหลืองมีรูปร่างกลมรี มีลักษณะเว้าทางด้านของเมล็ดที่มี Hilum ขนาดของเมล็ดแตกต่างกันตามพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.1 ฝักถั่วเหลือง

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

2.1.2 ส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง (Legume)

ภาพที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง (Legume)

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

2.1.2.1 เปลือกนอกเมล็ด (Seed coat หรือ Testa)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ สีของเปลือกนอกมีหลายสี เช่น เหลืองอ่อน เหลืองเข้ม เหลืองแกมเขียว เขียว น้ำตาลอ่อน และดำ ทางด้านเว้าของเมล็ดจะพบ Hilum หรือ Seed scar ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดติดกับฝัก มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น ดำ น้ำตาล และเหลืองเข้ม ทางปลายด้านหนึ่งของ Hilum มีรูเล็กเรียกว่า Micropyle ซึ่งเป็นทางออกของ Radicle ซึ่งงอกเป็นราก

2.1.2.2 ต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (Embryo)

เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ในเมล็ด ประกอบด้วยใบเลี้ยง (Cotyledon) จำนวน 2 ใบ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกเข้าไป มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่สะสมอาหาร ซึ่งอุดมไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และน้ำมันสูง ทำให้ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมัน และยังมีวิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารที่มีประโยชน์อีกหลายชนิด แต่ส่วนนี้จะหายไปเมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2.1 ส่วนยอดของต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (Plumule) เป็นจุดเจริญ ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นใบจริงและลำต้น เอพิคอทิล (Epicotyl) คือส่วนที่อยู่เหนือตำแหน่งที่ยึดติดกับใบเลี้ยง ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตจะเป็นลำต้น ใบและดอก

2.1.2.2.2 ไฮโพคอทิล (Hypocotyl) คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ติดของใบเลี้ยงกับตำแหน่งของรากแก้ว ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตจะเป็นส่วนหนึ่งของลำต้น และเรดิเคิล (Radicle) เป็นส่วนล่างสุดของเอมบริโอ อยู่ต่อจากไฮโพคอทิลลงมา เจริญเป็นรากแก้ว

2.1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลือง เป็นถั่วเมล็ดแห้งที่อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิด โดยสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ซึ่งเป็นส่วนเนื้อในของถั่วเหลือง ประกอบด้วยโปรตีนและน้ำมันสูง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีวิตามินและแร่ธาตุ ในเมล็ดถั่วเหลืองยังมีสารที่พบในปริมาณน้อย แต่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Functional food) บางชนิดนำมาใช้เพื่อเป็นโภชนเภสัช (Nutraceutical) เช่น เลซิทิน (Lecithin) ไฟโตอีสโทรเจน (Phytoestrogen) ซึ่งไฟโตอีสโตเจนที่พบมากในถั่วเหลืองมีไอโซฟลาโวนที่สำคัญ คือ ไดซีน (Daidzein) และ จีนิสทีน (Genistein)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเมล็ดแห้ง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

เมล็ดถั่ว	แคลอรี (Cal)	ความชื้น	โปรตีน	น้ำมัน	แร่ธาตุ	คาร์โบไฮเดรต
ถั่วเหลือง (Soybean)	335	8	38	18	4.7	31.3
ถั่วลิสง (Peanut)	343	5	25.6	43.4	2.5	23.4
ถั่วเขียว (Mungbean)	340	11	23.9	1.3	3.4	60.4
ถั่วแดง (Red kidney bean)	341	1	22.1	1.7	3.8	61.4

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

2.1.3.1 โปรตีน

ถั่วเหลืองประกอบไปด้วย โปรตีนร้อยละ 35-50 โปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่คุณภาพดี สามารถทดแทนเนื้อสัตว์ได้ เพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) ทั้งชนิดและปริมาณที่สมดุลมากกว่าถั่วชนิดอื่น แต่กรดอะมิโนที่มีในปริมาณจำกัด (Limiting amino acid) ในถั่วเหลืองคือ เมไทโอนีน (Methionine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

กรดอะมิโน (Amino acid)	FAO/WHO มก./ก. โปรตีน	ถั่วเหลือง มก./ก. โปรตีน
Leucine	40	37
Isoleucine	70	74
Lysine	55	59
Methionine + Cystine	35	22
Phenylalanine + tyrosine	60	64
Threonine	40	42
Tryptophan	10	15
Valine	50	50

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

2.1.3.2 น้ำมัน

ถั่วเหลือง มีน้ำมันสูงถึงร้อยละ 12-20 น้ำมันจากถั่วเหลือง มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) ต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) คือ กรดไขมันโอเมกา 3 (Omega-3 fatty acid) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) คือ กรดไขมันโอเมกา 6 (Omega-6 fatty acid) ในปริมาณสูง สร้างความสมบูรณ์ให้แก่ผิวหนัง และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของทารกและเด็ก นอกจากนี้มีวิตามินอี (Vitamin E) ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมัน

ตารางที่ 2.3 ปริมาณไขมันในถั่วเหลือง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

กรดไขมัน (Fatty acid)	น้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ)
กรดไขมันอิ่มตัว	114
Palmitic acid (C 16:0)	
Stearic acid (C 18:0)	23
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	51
Oleic acid	7
Linoleic acid	
Linolenic acid	

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

	ถั่วเหลือง	นมถั่วเหลือง	ซีอิ๊ว	เต้าเจี้ยวขาว	เต้าหู้แข็ง	เต้าหู้ขาอ่อน	ฟองเต้าหู้
พลังงาน (kcal)	130	37	55	114	135	63	461
ไขมัน (g)	5.7	1.5	0.5	3.8	8.1	4.1	28.4
คาร์โบไฮเดรต (g)	10.8	3.6	8.1	8.0	6.0	0.4	14.9
ใยอาหาร (g)	1.6	0.1	0	0	-	0.1	0.1
โปรตีน (g)	11.0	2.8	5.2	12.0	12.5	7.9	47.0
แคลเซียม (มก.)	73	18	65	106	188	150	245
ฟอสฟอรัส (มก.)	179	36	76	125	222	104	494
เหล็ก (มก.)	2.7	1.2	4.8	8.8	5.6	2.2	9.5
วิตามิน A (ไอ.ยู.)	30	50	-	-	42	-	-
วิตามิน B1 (มก.)	0.21	0.05	0.04	0.04	0	0.04	0.42
วิตามิน B2 (มก.)	0.09	0.02	0.17	0.07	0.14	0.02	0.16
ไนอาซิน (มก.)	0.6	0.3	0.9	-	0.5	0.4	1.5
วิตามิน C (มก.)	-	0	น้อย	0	0	0	0

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2562)

2.2 เส้นใยอาหาร

2.2.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) และเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF)

2.2.1.1 เส้นใย (Fiber) เป็นส่วนประกอบในอาหารหลายชนิด เดิมเรียกว่า เส้นใยหยาบ (Crude fiber) หมายถึง สารที่หลงเหลืออยู่หลังจากการย่อยด้วยกรดและด่าง คือ เซลลูโลสและลิกนินเท่านั้น ภายหลังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น พบว่ามีคาร์โบไฮเดรตบางประเภทที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และส่งผลดีต่อสุขภาพ จึงให้ชื่อคาร์โบไฮเดรตใหม่ว่าเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ดังนั้น ความหมายของเส้นใยอาหารจึงแตกต่างจากเส้นใยหยาบ ทั้งนี้สามารถนิยามเส้นใยอาหารได้ คือ คาร์โบไฮเดรตทุกชนิดที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และในอาหารทั่วไปพบว่าเส้นใยอาหารมักมีค่ามากกว่าเส้นใยหยาบประมาณ 2-16 เท่า (นิธิยา, 2551) และ Van der Kamp (2004) ให้ความหมายของเส้นใยอาหารอ้างอิงตาม American Association of Cereal Chemists (2001) ไว้ว่า เส้นใยอาหาร คือ ส่วนของพืชที่สามารถรับประทานได้ หรือเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยและการดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะเกิดการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนหรือทั้งหมดภายในลำไส้ใหญ่ ทั้งนี้เส้นใยอาหารประกอบไปด้วย โพลีแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ ลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1.2 เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF) คือ ผลิตผลที่ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ โดยต้องมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าร้อยละ 50 (น้ำหนักแห้ง) และ 1 กรัมของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ควรยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม และขับอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม นอกจากนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) ต้องเป็นคุณสมบัติจากภายในที่เกิดขึ้นเองจากองค์ประกอบโดยธรรมชาติของวัตถุดิบ ไม่มีการเติมสารต้านอนุมูลอิสระ สารเคมี หรือเอนไซม์ใด ๆ (Saura-Calixto, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพียงพอสามารถลดปริมาณของไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein; LDL) ในกระแสเลือดได้ และช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Saura-Calixto, 1998)

2.2.2 ประเภทของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ในการแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้เช่นเดียวกับการแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามคุณลักษณะ 2 คุณลักษณะ ได้แก่ การแบ่งตามหน้าที่ และ การแบ่งตามการละลาย

2.2.2.1 การแบ่งตามหน้าที่ ปัจจุบันเส้นใยอาหารแบ่งตามหน้าที่ออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

2.2.2.1.1 โครงสร้างที่เป็นพอลิแซกคาไรด์ คือ เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซคคาไรด์และทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคตินบางส่วน

2.2.2.1.2 โครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นพอลิแซคคาไรด์ คือ เส้นใยอาหารที่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์พืช แต่ไม่ใช่พอลิแซคคาไรด์ ได้แก่ ลิกนิน

2.2.2.1.3 พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่เป็นโครงสร้าง คือ เส้นใยอาหารที่ไม่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เป็นพอลิแซคคาไรด์ ได้แก่ กัม และมิวซิเลจ (นิธิยา, 2551)

2.2.2.2 การแบ่งตามการละลาย

2.2.2.2.1 เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ เป็นส่วนสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์พืช และเป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ในพืช เส้นใยอาหารเหล่านี้ พบได้ในพืชผักทั่วไป ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ การลำเลียงจากกระเพาะอาหารสู่ลำไส้ใหญ่จึงรวดเร็วและพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา เส้นใยอาหารจะดูดซึมน้ำไว้ และเพิ่มปริมาณกากอาหาร ทำให้ขับกากอาหารออกได้โดยไม่ตกค้างอยู่ในลำไส้ใหญ่นาน จัดเป็นใยอาหารชนิดที่ช่วยขับถ่าย ป้องกัน และรักษาอาการท้องผูกเป็นหลัก (นุชนาฏ, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2.2 เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ เป็นส่วนของเส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำและสามารถดูดซับสารที่ละลายในน้ำไว้กับตัว เมื่อสัมผัสน้ำจะละลายและเกิดเป็นสารข้นหนืดที่สามารถเคลือบผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ ผนังกระเพาะอาหารและลำไส้จึงหนามากขึ้น ส่งผลให้รบกวนการดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่มีประจุ เช่น แป้ง น้ำตาล และไขมัน จึงมีผลช่วยป้องกันหรือชะลอโรคเบาหวานและโรคไขมันในเลือดสูง การที่โมเลกุลของเส้นใยอาหารมีส่วนที่เป็นกรดอิสระอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่น ๆ ที่มากับอาหารหรืออาจเป็นสารพิษที่มีการปนเปื้อน กลุ่มของกรดอิสระจะช่วยดูดซับและดึงเอาสารพิษออก จากการเกิดเป็นสารข้นหนืด จึงทำให้เส้นใยอาหารสามารถเพิ่มความหนืดของอาหารโดยรวมด้วย มีผลให้อาหารเคลื่อนตัวได้ช้าลง ทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้นานขึ้น จึงรู้สึกอิ่มนานขึ้น และนอกจากนี้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่จะถูกแบคทีเรียในลำไส้ย่อยสลายเป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น (Short–chain fatty acid) และถูกดูดซึมได้ จึงเหลือเป็นกากอาหารที่จะเพิ่มปริมาณเนื้ออุจจาระน้อยกว่ากลุ่มเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ แต่หากรับประทานเส้นใยอาหารนี้มากเกินไป หรือรับประทานติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุบางชนิดน้อยลงได้ (กุลศิริ, 2541; นุชนาฏ, 2006) ตัวอย่างเส้นใยอาหารประเภทนี้ เช่น เพคติน เบต้า-กลูแคน และกัมชนิดต่าง ๆ เป็นต้น เส้นใยอาหารเหล่านี้พบได้ในพืช ผัก และผลไม้ ซึ่งในผักและผลไม้จะมีส่วนของเส้นใยที่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ (Figuerala et al., 2005)

2.2.3 ชนิดของเส้นใยอาหาร

2.2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโฮโมพอลิแซคคาไรด์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสและเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุด เนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับไซแลน (Xylan) และลิกนิน (Lignin) เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรด และด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ร่างกายคนและสัตว์บางชนิดไม่มีเอนไซม์เซลลูเลสในระบบย่อยอาหาร ทำให้ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสจากพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนสัตว์กินพืชเป็นอาหาร (Herbivorous animal) เช่น โค กระบือ สามารถย่อยเซลลูโลสได้ เนื่องจากในกระเพาะมีจุลินทรีย์ (Rumen microflora) ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสช่วยย่อยเซลลูโลสได้ โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-D-(1-4) ซึ่งแตกต่างจากโมเลกุลของสตาร์ช (Starch) ที่น้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α-D-(1-4) โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ที่แข็งแรงยึดเกาะกันเป็นเส้นใย (Fibrous) เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณหนึ่งแสนถึงสองล้าน

เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกนี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Noncrystalline หรือ Amorphous) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่า ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ โมเลกุลของเซลลูโลสที่มีดีกรีของส่วนที่เป็นผลึก (Degree of crystallinity) สูง มีความยืดหยุ่นและมีแรงต้าน (Tensile strength) ของเส้นใยเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้อาหารที่มีเซลลูโลสในปริมาณมากมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว สำหรับส่วนของโมเลกุลเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึกหรือไม่มีรูปร่าง สามารถดูดน้ำและพองตัวได้มาก เมื่อโมเลกุลเซลลูโลสได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย มีผลให้โมเลกุลสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ทำให้ส่วนของโมเลกุลที่เป็นผลึกมีปริมาณลดลง ในทางตรงกันข้าม การลดปริมาณน้ำให้น้อยลง เช่น การอบแห้ง อาจทำให้ส่วนของโมเลกุลที่ไม่เป็นผลึกเปลี่ยนเป็นผลึกได้ ดังนั้นจึงพบว่าผักอบแห้งมักมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากขึ้น มีค่าความเป็นพลาสติก (Plasticity) และการพองตัวลดลง (นิธิยา, 2551)

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นกลุ่มของเฮทเทอโรพอลิแซคคาไรด์ ในโมเลกุลประกอบด้วย น้ำตาลตั้งแต่ 2 ถึง 4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือ น้ำตาลไซโลส (D-xylose) และอะราบิโนส (L-arabinose) นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) แมนโนส (D-mannose) กาแล็กโทส (D-galactose) กรดกลูโคโลนิก (D-glucoronic acid) และ 4-O-methy-D-glucoronic acid ด้วย เฮมิเซลลูโลสจำแนกออกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลได้เป็นไซแลน (Xylans) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส แมนแนน (Mannans) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนส กาแล็กแทน (Galactans) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกาแล็กโทส อะราบิโนกาแล็กแทน (Arabinogalactans) กลูโคแมนแนน (Glucomannans) และอะราบิโนไซแลน (Arabinoxylans) สำหรับไซแลน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-(1-4) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง (นิธิยา, 2551)

2.2.3.3 สารประกอบเพคติน (Pectin substances) เป็นกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ที่พบใน Middle lamellae ของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน คล้ายเป็นซีเมนต์ สารประกอบเพคตินที่ถูกสร้างขึ้นในพืช คือ โปรโทเพคติน (Protopectin) พบมากในผักและผลไม้โดยเฉพาะผลไม้สด สารประกอบเพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-(1-4) โดยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลกรดกาแล็กทูโรนิกบางส่วนจะถูกทำปฏิกิริยา Esterification ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ และมีบางส่วนยังคงเหลือเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ นอกจากนั้นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่คาร์บอนตำแหน่ง 2 และ 3 อาจถูก Acetylated ได้ ในโมเลกุลของสารประกอบ เพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติ ยังมีน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง น้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ เพคตินผันแปรอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-400,000 ดาลตัน และมีกรดกาแล็กทูโรนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 300-800 หน่วยต่อโมเลกุลของสารประกอบเพคติน สารประกอบเพคติน เป็นกลุ่มของสารประกอบเชิงซ้อน สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.2.3.3.1 โปรโทเพคติน สามารถพบได้มากในผลไม้ดิบ ในโมเลกุลโปรโทเพคตินจะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ประมาณร้อยละ 9 ถึง 12 หากเกิดปฏิกิริยา Esterification อย่างสมบูรณ์ จะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลของโปรโทเพคตินประมาณร้อยละ 16 จัดว่ามี Degree of Methoxylation เป็นร้อยละ 100 แต่จะไม่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ โปรโทเพคตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ หรืออาจใช้ด่างทำให้หมู่เมทิลถูกแยกออกไปบางส่วนได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ เรียกว่า กรดเพกทินิก (Pectinic acid) ซึ่งละลายได้ในน้ำ

2.2.3.3.2 กรดเพกทินิก เป็นสารประกอบเพคติน หรือพอลิเมอร์ของ กรดกาแล็กทูโรนิก ที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน และเมื่อถูกไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจนหมดจะได้กรดเพกทิก (Pectic acid)

2.2.3.3.3 กรดเพกทิก เป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก ที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย สารประกอบเพคตินหรือเพกทิก จึงเป็นการเรียกชื่อรวม ๆ ของกรดเพกทินิก ที่มีร้อยละแตกต่างกันของหมู่เมทอกซิล หรือ Degree of Methoxylation เพคตินเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลที่ดี สมบัติในการเกิดเจลของเพคตินขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ความยาวของสายพอลิเมอร์ และ Degree of Methoxylation และจะสามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลและกรด โครงสร้างโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าพอลิเมอร์สายยาว และเป็นเกลียวมากกว่าสายตรง เช่น เซลลูโลส อาจเนื่องมาจากลักษณะและรูปร่าง คือ หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C_2 และ C_3 ซึ่งมีประจุ จึงไม่เกิดแรงดึงต่อกันกับหมู่ –OH หรือ $–CH_3$ และประจุที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิล การเกิดเจลของเพคตินจะต้องมีสารช่วยดูดน้ำออกจากโมเลกุล (Dehydrating agent) เช่น น้ำตาล จะช่วยลดการละลายของเพคตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างปะจุลบที่หมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพคตินเข้ามาใกล้กันได้และเกาะตัวกันเป็นตาข่ายเพคตินที่เกิดเจลดีที่สุดคือ เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 คือ Degree of methoxylation ประมาณร้อยละ 50 (นิธิยา, 2551)

2.2.3.4 กัม (Gum) เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ หรือสเตบิไลเซอร์ (Stabilizer) ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น ใช้กัมเป็นสารให้ความข้นหนืด หรือทำให้เกิดเจล นอกจากนี้ กัมยังช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเมื่อเคี้ยวอาหาร และช่วยให้อนุภาคในอาหารที่กระจายตัวได้ยาก เกิดการกระจายตัวง่ายขึ้น หรือทำให้ของแข็งกระจายตัวได้ในน้ำหรืออิมัลชัน (Emulsion) และเกิดฟอง กัมมีความสามารถในการยึดเกาะกับน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารข้นหนืดและทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งช้า ควบคุมการคายน้ำระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนั้นไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ค่า Water activity ลดลง โดยปกติกัมจะมีมวลโมเลกุลสูงและใช้ในปริมาณน้อย เพียงใส่ลงไปในน้ำเล็กน้อยก็จะเกิดเป็นเจลได้ เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้มีกำไรมากขึ้น เนื่องจากเกิดความข้นหนืดและสามารถเปลี่ยนน้ำจากสภาพของไหลเป็นกึ่งของแข็งหรือเจล

2.2.3.4.1 กัมจากเมล็ดพืช เป็นกลุ่มของกาแล็กโทแมนแนนกัมที่สกัดได้จากเมล็ดของพืชตระกูลถั่ว Ceratonia และ Cyamopsis มี 2 ชนิด ได้แก่

2.2.3.4.1.1 โลคัสต์บีนกัม ได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดจากต้น Carob หรือ Locust bean (Ceratonia siliqua) ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นในพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีขนาดใหญ่สูงประมาณ 40-50 ฟุต มีเมล็ดอยู่ในฝักประมาณ 10 เมล็ดต่อฝัก อาจเรียกว่า Carob seed gum ก็ได้ โครงสร้างโมเลกุลของกัมทั้งสองชนิดคล้ายกัน คือ มีโครงสร้างหลักเป็นพอลิเมอร์สายยาวของพอลิแมนแนน ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสต่อกันด้วยพันธะ β-(1-4) และมีแขนงแยกเป็นน้ำตาลกาแล็กโทสโมเลกุลเดี่ยวต่างกันด้วยพันธะ (1-6) โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสต์บีนกัม มีอัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแล็กโทสเป็น 4 ต่อ 1 มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน โลคัสต์บีนกัมไม่ละลายในน้ำเย็น ต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงที่สุด เมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นลง โลคัสต์บีนกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ ต้องผสมกับแซนแทนกัมจึงจะเกิด และเมื่อรวมกับแคปปา-คาราจีแนน จะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป และลดการเกิด Syneresis หน้าที่หลักของโลคัสต์บีนกัม คือ เพิ่มความคงตัวและความหนืดให้กับอิมัลชัน และช่วยยับยั้งการเกิด Syneresis ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ใช้โลคัสต์บีนกัม ได้แก่ อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวาน บาร์บีคิวซอส เครื่องดื่ม เนยแข็ง ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์เนื้อ ในเนยแข็งโลคัสต์บีนกัมจะช่วยเร่งให้เกิด Coagulaton เร็วขึ้น และทำให้ได้เนื้อตะกอนของโปรตีนนมเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 10 ในไอศกรีมโลคัสต์บีนกัมจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัวและช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน

2.2.3.4.1.2 กัวร์กัม ได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดจากต้น Guar (Cyamopsis trtragonolobus) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและปากีสถาน เป็นพืชตระกูลถั่ว แต่ทนแล้งได้ดี กัวร์กัมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเมื่อราวปี ค.ศ. 1950 เนื่องจากขาดแคลนโลคัสต์บีนกัม โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัมเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกาแล็กโทแมนแนน มีน้ำหนักโมเลกุล 220,000-250,000 ดาลตัน ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสที่ต่อกันด้วยพันธะ β-(1-4) และมีแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทสหนึ่งโมเลกุลต่อทุก ๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (1-6) ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแล็กโทสเป็น 2 ต่อ 1 แสดงว่ากัวร์กัมมีแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทสมากกว่าโลคัสต์บีนกัม กัวร์กัมไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่อุ้มน้ำและกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง และจะให้ความหนืดสูงสุดภายหลังเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะอุ้มน้ำได้มากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงเป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ เมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้สารละลายมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกัวร์กัมไม่แตกตัวเป็นไอออนและทนต่อพีเอชได้ช่วงกว้าง คือ พีเอช 4-10 โดยที่ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถเติมอิเล็กโทรไลต์ได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล กัวร์กัมมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่ pH 7.5-9.0 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้กัวร์กัม ได้แก่ ขนมหวาน ซอส ซุป ไอศกรีม น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ

2.2.3.4.2 กัมจากยางไม้

2.2.3.4.2.1 กัมอะราบิก เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่โมเลกุลอัดแน่นมาก โครงสร้างหลักของโมเลกุลเป็นสายยาวประกอบด้วยหน่วยย่อยของเบต้า-กาแล็กโทไพราโนสที่ต่อกันด้วยพันธะ (1-3) และแยกแขนงเป็นจำนวนมากด้วยกรดกลูโคโลนิก ซึ่งต่อกันด้วยพันธะ (1-6) ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์ 6 ชนิด คือ กาแล็กโทส แรมโนส อะราบิโนไพราโนส อะราบิโนฟูราโนส กรดกลูคูโรนิก กรด 4-O เมทิลกลูคูโรนิก และมีโปรตีนอยู่ในกัมอะราบิกเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 240,000-300,000 ดาลตัน กัมอะราบิกละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายกัมอะราบิกที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 40 จะมีความหนืดต่ำมาก และความหนืดของสารละลายกัมอะราบิก จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 สามารถละลายได้ความเข้มข้นสูงสุดถึงร้อยละ 55 จึงเป็นสมบัติพิเศษที่ดีของกัมอะราบิก ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลของกัมอะราบิกคล้ายสตาร์ช คือ ต้องใช้ความร้อนช่วย

2.2.3.4.2.2 กัมแกตติ เป็นยางใสที่ได้จากพืชตระกูล Combretaceae พบมากในศรีลังกาและอินเดีย บางครั้งเรียก Indian gum ยางที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้ม สีอ่อนมีคุณภาพดีกว่าสีเข้ม กัมแกตติเป็นพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยน้ำตาลอะราบิโนส กาแล็กโทส แมนโนส ไซโลส และกรดกลูคูโรนิก ในอัตราส่วน 10 : 6 : 2 : 1 : 2 และมี 6-ดีออกซีเฮกโซส (Deoxyhexose) เล็กน้อย น้อยกว่าร้อยละ 1 โครงสร้างของโมเลกุล เป็นกรดแอลโดไบโอยูโรนิก (Aldobiouronic acid) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 12,000 ดาลตัน ในโมเลกุลมีส่วนที่ละลายได้และส่วนที่ละลายไม่ได้ในน้ำ แต่สามารถกระจายตัวในน้ำ อนุภาคจะพองตัวมีลักษณะคล้ายเจล และสามารถกระจายตัวได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายที่ได้จะมีความหนืดสูงสุด ที่พีเอชช่วง 5-7 อย่างไรก็ตาม สารละลายกัมแกตติมีความหนืดน้อยกว่ากัมคารายา แต่มากกว่ากัมอะราบิก

2.2.3.4.2.3 กัมคารายา (Sterdulia gum หรือ Indian tragacanth) กัมคารายาเป็น Acetylated polysaccharide เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิก น้ำตาลแรมโนส และกาแล็กโทส ต่อกันเป็นสายหลักและมีสายแขนงเป็นกรดกลูคูโรนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีหมู่กรดยูโรนิกประมาณร้อยละ 38 และมีหมู่แอซติลอยู่ประมาณร้อยละ 13.4-22.7 ขึ้นอยู่กับอายุและแหล่งที่ปลูก กัมคารายามีน้ำหนักโมเลกุล 9,500,000 ดาลตัน ละลายน้ำได้น้อยที่สุด แต่เมื่อทำเป็นผงละเอียดจะเป็นตัวอุ้มน้ำและดูดน้ำได้ดี เมื่อกัมคารายากระจายตัวอยู่ในน้ำ สามารถพองตัวออกได้ 70-100 เท่าของปริมาตรเดิม ได้เป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง ความหนืดของสารละลายจะผันแปรโดยตรงกับความเข้มข้น คือเมื่อความเข้มข้นมากสารละลายจะมีความหนืดสูง ถ้าความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 4 จะมีลักษณะเป็น Paste-like gel เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงมากและสมบัติของสารละลายกัมคารายายังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคด้วย การกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเย็น จะให้ความหนืดสูงกว่าในน้ำร้อน ถึงแม้อุณหภูมิสูงจะทำให้การละลายดีขึ้นก็ตาม การเติมอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูง หรืออยู่ในภาวะที่เป็นกรดหรือด่างมากจะทำให้ความหนืดลดลง

2.2.3.4.2.4 กัมทรากาแคนต์ เป็นพอลิแซคคาไรด์หลาย ๆ ชนิดผสมกัน ในโมเลกุลประกอบด้วย กรดกาแล็กทูโรนิก น้ำตาลกาแล็กโทส ไซโลส และอะราบิโนส เกาะอยู่กับโลหะไอออน คือ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียมไอออน มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน ในโมเลกุลของกัมทรากาแคนต์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Basorin มีอยู่ประมาณร้อยละ 60-70 เป็นพอลิเมอร์ส่วนที่ไม่กระจายตัวในน้ำ แต่อุ้มน้ำและพองตัวได้ดีกลายเป็นเจล อีกส่วนหนึ่งมีปริมาณน้อย เรียกว่า Tragacanthin เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่ในโมเลกุลประกอบด้วยกรดกลูคูโรนิก 3 โมเลกุล และน้ำตาลอะราบิโนส 1 โมเลกุล เป็นพอลิเมอร์วงแหวน กัมทรากาแคนต์กระจายตัวได้ในน้ำเย็น มีความคงตัวต่อความร้อนและทนกรดได้เป็นอย่างดีจนถึงพีเอช 2 นิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัวให้กับน้ำสลัด มายองเนส และซอส ส่วนมัสตาร์ดเหลวและซอสมะเขือเทศจะใช้กัมทรากาแคนต์เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเพิ่มความหนืด (นิธิยา, 2551)

2.2.3.5 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา

2.2.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร

ในปี ค.ศ. 2011 Elleuch และคณะ รายงานว่า หนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของเส้นใยอาหารคือการเลือกวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหารซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกัน วิธีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 วิธีนอน-เอนไซม์เมตริก กราวิเมตริก (Non-enzymatic-gravimetric method)

วิธีนี้เป็นวิธีแรกในการใช้วิเคราะห์เส้นใยอาหาร มีข้อด้อยที่สำคัญคือไม่สามารถวัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงได้ปริมาณเส้นใยที่เป็นค่าโดยประมาณ เส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบที่เหลืออยู่หลังจากกำจัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยการย่อยหรือการเกิดออกซิเดชัน การวิเคราะห์เส้นใยด้วยวิธีนี้ เป็นการแสดงถึงปริมาณรวมทั้งหมดของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในกรด ขณะที่วิธีการวิเคราะห์เส้นใยด้วยสารชะล้างที่เป็นกลางจะแสดงถึงผลรวมของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารชะล้างที่เป็นกลาง (Elleuch, 2011)

วิธี Non-enzymatic-gravimetric นิยมใช้ในการวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ของผลไม้ และผัก ซึ่งมีปริมาณสตาร์ชต่ำ และหลายชนิดมีการบริโภคโดยไม่ผ่านการหุงต้ม การวิเคราะห์ TDF ด้วยวิธีนี้เป็นการนำตัวอย่างมากระจายและให้แขวนลอยในน้ำ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นตกตะกอนตัวอย่างด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมากรอง ชั่งน้ำหนัก และนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และเถ้า ปริมาณ TDF ที่ได้จะให้ผลแม่นยำมากขึ้นเมื่อมีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic-gravimetric โดยสรุปแล้วการวิเคราะห์ด้วยวิธี Non-enzymatic-gravimetric มีความเหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์ TDF ในอาหารที่มีปริมาณ สตาร์ชต่ำ (Jeon and Ikins, 1995)

2.2.4.2 วิธีเอนไซม์เมตริก กราวิเมตริก (Enzymatic-gravimetric method)

การวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมดด้วยวิธีนี้คือการวิเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์โปรติเอส (Protease) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase) และเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) เพื่อกำจัดสตาร์ชและโปรตีน จากนั้นทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตกตะกอนด้วยเอทานอลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ แล้วกรองและชั่งน้ำหนักเส้นใยอาหารส่วนที่เหลือ อีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโปรตีนและเถ้า การวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมดด้วยวิธีนี้ เป็นการวัดเพื่อหาปริมาณของสารประกอบในกลุ่มของโพลีแซคคาไรด์ ลิกนิน แป้งที่ทนต่อการย่อยบางชนิด และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แว็กซ์ สารประกอบฟีนอลิก และ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด แต่ไม่สามารถหาปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ และแป้งที่ทนต่อการย่อยชนิดอื่น ๆ ได้ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic-gravimetric สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งปริมาณ เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทำให้ทราบปริมาณของเส้นใยอาหารในอาหารหลายชนิดได้อย่างแม่นยำและนอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงวิธีการ วิเคราะห์ให้มีความเหมาะสมกับตัวอย่างอาหารได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอนไซม์ เวลาในการบ่ม ชนิดของบัฟเฟอร์ และรีเอเจนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Elleuch, 2011; Jeon and Ikins, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 วิธีเอนไซม์เมตริก-เคมิคัล (Enzymatic chemical method)

เป็นวิธีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (Non-starch polysaccharide) ซึ่งคิดค้นโดย Southgate ในปี ค.ศ. 1969 การวิเคราะห์ในขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการใช้เอนไซม์เพื่อย่อยสตาร์ช และโปรตีน จากนั้นตกตะกอนเส้นใยอาหารด้วยเอทานอลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ หรือสารที่ใช้สำหรับคัดแยกเส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำจากน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสตาร์ช ทั้งนี้การแยกเส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำออกจากน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยสารคัดแยกนี้ มีข้อดีเหนือกว่าการตกตะกอนด้วยเอทานอล คือ ช่วยลดการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลที่เป็นกลางซึ่งได้จากการย่อยโพลีแซคคาไรด์สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค Gas-Liquid Chromatography (GLC) หรือ High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ได้ในรูปของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) หรือกรดยูโรนิก (Uronic acid) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Colourimetric method และตรวจวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้โดยใช้ Spectrophotometer ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหลือหลังจากการย่อยโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมดหรือโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำจะถูกนำมากรองและตรวจวัดหาปริมาณของลิกนินด้วยวิธี Klason lignin gravimetrically

Enzymatic method เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้เพียงโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชและลิกนินเท่านั้น ส่วนโอลิโกแซคคาไรด์และแป้งที่ทนต่อการย่อยจะไม่สามารถตรวจวัดหาปริมาณได้ เนื่องจากการใช้เอทานอลร้อยละ 80 ทำให้โพลีแซคคาไรด์เกิดการตกตะกอน และไดเมทธิลซัลฟอกไซด์ (Dimethy sulfoxide, DMSO) จะละลายสตาร์ชทั้งหมด สตาร์ชทั้งหมดในตัวอย่างอาหารจะถูกย่อยโดยสมบูรณ์ ดังนั้นการวิเคราะห์เส้นใยอาหารด้วยวิธี Enzymatic chemical จะประเมินปริมาณเส้นใยอาหารต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเกิดการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ระหว่างการย่อย หรือ โพลีแซคคาไรด์บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธุ์ของโพลีแซคคาไรด์เหล่านั้น เมื่อใช้เทคนิคในการวิเคราะห์เป็น GLC

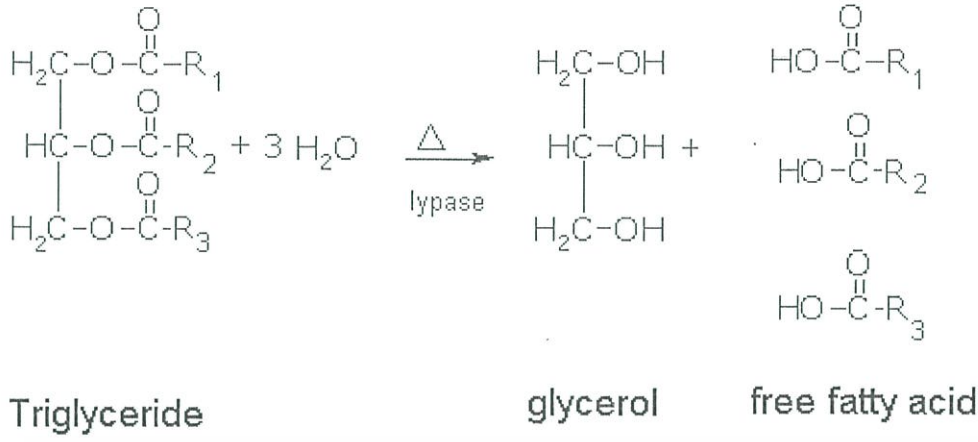
2.3 ไฮโดรไลซิส

ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือ ปฏิกิริยาที่มีน้ำเข้าไปสลายพันธะ ทำให้สารโมเลกุลใหญ่แตกตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง

ตัวอย่างของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สำคัญในอาหาร ได้แก่

- การไฮโดรไลซ์สตาร์ช (Starch) ทำให้โมเลกุลเล็กลง เรียกว่า Starch hydrolysate
- การไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็นโมเลกุลของกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แสดงการไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นโมเลกุลของกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2546)

2.3.1 การย่อยด้วยกรด (Acid hydrolysis) กรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเดิมใช้กรดเข้มข้นในการย่อยเซลลูโลส แต่เนื่องจากกรดเข้มข้นนั้นมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูงและมีค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพของกรดสูงมาก จึงเปลี่ยนมาใช้การเจือจางกรดในการแยกเส้นใยและพบว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเซลลูโลสได้ การย่อยด้วยกรดแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.3.1.1 Homogenous process เป็นกระบวนการที่ใช้กรดแก่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส แต่ข้อเสียคือ จะต้องมีการแยกกรดออกจากน้ำตาลก่อนนำไปใช้ รวมทั้งปัญหาการสูญเสียกรดไปกับส่วนที่ไม่ถูกย่อย และการผุกร่อยของเครื่องมือจากการใช้กรดแก่

2.3.1.2 Heterogenous process เป็นกระบวนการที่ใช้กรดอ่อน แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส ผลคือได้เส้นใยเซลลูโลส วิธีนี้ไม่สามารถนำกรดกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่จะถูกทำให้เป็นกลางด้วยปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

2.3.2 การย่อยด้วยด่าง (Alkaline hydrolysis)

การย่อยด้วยด่าง (Alkaline analysis) โซเดียมไฮดรอกไซด์และปูนขาวเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับสภาพด้วยด่าง ซึ่งด่างเหล่านี้สามารถแตกโครงสร้างของลิกนินและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (สุภาวดี, 2557) ทำให้สายของพอลิแซ็กคาไรด์สั้นลง โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิประมาณ 160-180 องศาเซลเซียส และต้องการออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อยในการย่อย การปรับสภาพด้วยด่างเป็นการบวนการที่ง่ายและใช้พลังงานน้อย เมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยกรด เพียงแต่ปริมาณส่วนผลึกของเซลลูโลสก็จะลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไฮโดรเทอร์มอล

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่ตัวทำปฏิกิริยา โดยปกติจะใช้น้ำทำให้อยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอย ให้ความร้อนที่อุณหภูมิและความดันสูง อุณหภูมิที่ใช้มักจะใกล้กับจุดเดือดหรืออุณหภูมิวิกฤตของน้ำคือ 374 องศาเซลเซียส และความดันประมาณ 20 เมกะปาสคาล จึงต้องทำภายในหม้อนึ่งอัดความดันไอ (Autoclave) ซึ่งการตกตะกอนภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดผงที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous powder) นอกจากนี้ผงที่ได้ยังมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก มีการกระจายตัวของอนุภาคน้อย ส่วนใหญ่เป็นพวกผลึกเชิงเดี่ยว มีความบริสุทธิ์สูงและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

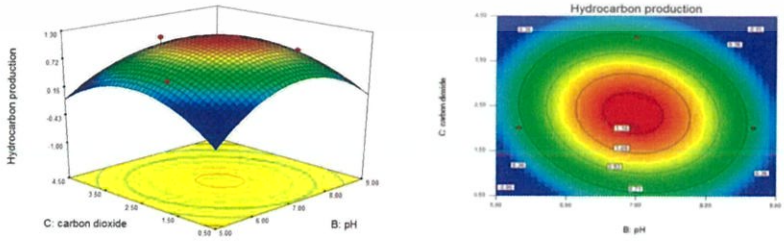
ปฏิกิริยาโดยทั่วไปเกิดที่อุณหภูมิสูง เมื่ออยู่ภายใต้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จะสามารถเกิดในสภาวะปกติได้ เนื่องจากคุณลักษณะของน้ำบางประการ เช่น ความหนาแน่น pKw ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) และความหนืด จะเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะไฮโดรเมอร์มอล จนมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid) และทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น โดยวิธีการนี้สามารถใช้เพิ่มความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ทำละลายสารและก่อเป็นผลึก รวมทั้งการแยกหรือการสร้างเป็นองค์ประกอบขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

2.5 การวิเคราะห์ผล

2.5.1 Box-Behnken Design

2.5.1.1 วิธีพื้นผิวตอบสนอง

วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นวิธีการที่รวบรวมเทคนิคทั้งทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการสร้างตัวแบบและวิเคราะห์ปัญหาในกรณีที่ผลตอบสนองมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหรือตัวแปรอิสระหลายตัวเพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าดีที่สุด (วาศินี, 2558) ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปกราฟิกสามมิติ (พรรณทิพย์ และราตรี, 2558) ดังภาพ 2.4



ภาพที่ 2.4 พื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) และคอนทัวร์พล็อต (contour plot)

ที่มา : (พรรณทิพย์ และราตรี, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ฐิตา และคณะ (2557) ได้ศึกษาการสกัด 2 วิธี ได้แก่ การสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อนหรือเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง โดยใช้อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิสที่ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 (w/v) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดมะรุมประกอบด้วยปริมาณเส้นใยสูงถึงร้อยละ 31.03 โดยน้ำหนักแห้ง ได้ปริมาณเซลลูโลสของสารสกัดกากเมล็ดมะรุมอยู่ที่ร้อยละ 96.54 และเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการพองตัว 8.79 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันที่ดีกว่าสารสกัดเซลลูโลสจากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณเส้นใยสูงถึงร้อยละ 70.74 และเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 30-60 ไมโครเมตร

นอกจากนี้ อังคณา และคณะ (2557) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของการลดขนาดแกนและเปลือกสับปะรด และปัจจัยร่วมในการสกัด คือ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนของน้ำต่อกาก และพีเอชที่ส่งผลต่อค่าผลได้และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแกนและเปลือกสับปะรด โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า ขนาดแกนและเปลือกสับปะรดมีผลต่อค่าผลได้ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นเปลือกและแกนสูงขึ้น อีกทั้งเวลาและอุณหภูมิในการสกัดที่มากขึ้นยังส่งผลต่อการสกัดเส้นใยจากแกนสับปะรด

ธีร์ธวัช (2557) ได้ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยวิธีออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง ทำการวางแผนการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ เวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน จากรูปแบบสมการที่ได้พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ R^2 = 99.58% และ R2-adj=98.82% สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลพบว่า เวลาการทำปฏิกิริยามีค่าเริ่มต้น 81.82 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.40 ร้อยละโดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันเท่ากับ 7.48:1 โดยสภาวะดังกล่าวสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 77.80 น้ำมันไข่ไก่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีค่าเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 96.5 ตามมาตรฐานของ ASTM 6751

กนกกานต์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยนำเปลือกกล้วยเหลือทิ้งจากการผลิตกล้วยตาก ในอำเภอบางกระทุ่ม และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มาใช้ประโยชน์ในอาหารโดยสกัดสาระสำคัญ ได้แก่ ใยอาหาร นำมาเติมในโยเกิร์ต เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย การสกัดใยอาหารจากเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยน้ำว้ามีกรรมวิธีที่เหมาะสม คือ นำเปลือกกล้วยน้ำว้ามาบดเปียกที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นอบแห้ง นำไปกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 กำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส (Neutrase) ความเข้มข้นร้อยละ 10 จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นเท่ากับร้อยละ 3.56 ได้เป็นใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 90.43 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 15.58, 8.45 และ 11.63 ตามลำดับ

ต่อมา วิชมณี และคณะ (2561) ได้ศึกษาผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า สภาวะการสกัดด้วยน้ำมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าสีของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม พบว่าการสกัดกากมะตูมด้วยน้ำและเอทานอลร่วมกันทำให้ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ถั่วเหลือง ตราไร่ทิพย์

3.2 สารเคมี

กรดซัลฟิวริก 98% (Sulfuric acid 98%, H_2SO_4, AR grade, RCI Labscan, Thailand)

กรดบอริก 2% (Boric acid 2%, H_3BO_3, AR grade, Merck, Germany)

กรดไฮโดรคลอริก 37% (Hydrochloric acid 37%, HCl, AR grade, Carlo Erba, France)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH, AR grade, Carlo Erba, France)

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH, Pellets, AR grade, Carlo Erba, France)

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether, AR grade, Leonid Chemicals, India)

น้ำกลั่น (Distilled water, Better Syndicate, Bangkok, Thailand)

3.3 อุปกรณ์

เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (SI-234, Denver instrument, USA)

ตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany)

เตาเผาไฟฟ้า (Memmert, Germany)

เตาไฟฟ้า (EGO, Germany)

หลอดย่อยโปรตีน (Duran, Germany)

ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt, Germany)

บิวเรต 50 มิลลิลิตร (Duran, Germany)

ขวดรูปชมพู่ 250 และ 500 mL (Duran, Germany)

ชุดสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus, S306A7, Gerhardt, Germany)

บีกเกอร์ไขมัน (Gerhardt, Germany)

บีกเกอร์ 1000 mL (Duran, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (SS-245, Tomy, Japan)

เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (5804R, Eppendorf, Germany)

กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (109535, Merck, Germany)

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)

ผ้าขาวบาง (Nylon cloths, Newline, Thailand)

เครื่องวัดสี (CR400, Konica Minolta, Japan)

เครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี้ (4TE, Aqua Lab)

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1.1 ล้างถั่วเหลืองให้สะอาดด้วยน้ำกรอง แช่น้ำกรองทิ้งไว้ 8-10 ชั่วโมง

3.4.1.2 นำถั่วเหลืองที่แช่น้ำแล้ว 1 ส่วน มาปั่นกับน้ำกรอง 3 ส่วน กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น โดยบีบน้ำออกจนหมด ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.4.1.3 นำกากถั่วเหลืองที่กรองแล้ว ไปอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill)

3.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง

3.4.2.1 ความชื้น

3.4.2.1.1 นำถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาอบไล่ความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.4.2.1.2 ชั่งตัวอย่างอาหารที่บดแล้ว 3-5 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม บันทึกน้ำหนัก

3.4.2.1.3 นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ เมื่อครบเวลา นำถ้วยอลูมิเนียมออกจากตู้อบลมร้อน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกน้ำหนัก

3.4.2.2 เถ้า

3.4.2.2.1 เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

3.4.2.2.2 ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 3-5 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง เผาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้าในตู้ดูดควันจนหมดควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2.3 นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้ว ไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือเทา เมื่อเตาเผาไฟฟ้าเย็นลง จึงคีบถ้วยกระเบื้องออก ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องที่ใส่ตัวอย่างหลังเผา

3.4.2.3 โปรตีน

3.4.2.3.1 การย่อย

3.4.2.3.1.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน (Digestion tube) เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 10 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้ว (Boiling chip) 3 ลูก

3.4.2.3.1.2 ตั้งหลอดย่อยโปรตีนในตะแกรงใส่หลอดทดลอง ก่อนนำไปประกอบกับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน (Heat shield) และสวมที่ดูดควันที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด (Exhaust manifold) ตั้งอุณหภูมิที่ 380-400 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการย่อยจนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส จึงปิดเครื่องย่อยพร้อมกับยกตะแกรงที่มีหลอดย่อยขึ้นพักไว้ให้เย็น

3.4.2.3.2 การกลั่น

3.4.2.3.2.1 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำหล่อเย็น ระดับน้ำในถังน้ำกลั่น และถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังของน้ำกลั่น

3.4.2.3.2.2 เติมสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดเมทิลกรีน 0.1% (Methyl green) และเมทิลเรด 0.2% (Methyl red) อย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูอมม่วง

3.4.2.3.2.3 วางขวดรูปชมพู่ลงในชุดกลั่น และเสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเดนเซอร์ (Condenser) ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้ จากนั้นเปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เมื่อกลั่นครบตามเวลาที่กำหนด เครื่องจะหยุดทำงาน

3.4.2.3.2.4 นำหลอดย่อยและขวดรูปชมพู่ออกจากเครื่องกลั่น และนำขวดรูปชมพู่ที่ใส่กรดบอริก ซึ่งมีสีเขียวใส มาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู่อมม่วง

3.4.2.4 ไขมัน

3.4.2.4.1 อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมลูกแก้วที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.4.2.4.2 ชั่งตัวอย่างที่บดและอบไล่ความชื้นแล้วจำนวน 2-5 กรัม พร้อมบันทึกน้ำหนัก แล้วห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงในทิมเบิล (Thimble)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.4.3 ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) 140 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างเข้ากับบีกเกอร์ไขมัน แล้วต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลานำทิมเบิลออก

3.4.2.4.4 นำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ จากนั้นนำบีกเกอร์ไขมันใส่โถดูดความชื้น ปล่อยไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนัก

3.4.2.5 ใยอาหาร

3.4.2.5.1 นำตัวอย่างที่สกัดไขมันแล้วใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

3.4.2.5.2 นำบีกเกอร์เข้าเครื่องย่อย เมื่อสารเดือดปรับความร้อนลงให้อุณหภูมิรีฟลักซ์ (Reflux) เป็นเวลา 30 นาที

3.4.2.5.3 เมื่อครบเวลา ถ่ายตัวอย่างลงในผ้ากรอง ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 1 ลิตร แล้วถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ตามเดิม จากนั้นตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25% ที่อุ่นไว้ประมาณ 200 มิลลิลิตร

3.4.2.5.4 นำเข้าเครื่องย่อย เมื่อสารเดือดปรับความร้อนลงให้อุณหภูมิรีฟลักซ์ (Reflux) เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาถ่ายตัวอย่างลงครูซิเบิล (Crucible) และล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดด่าง

3.4.2.5.5 นำครูซิเบิลที่มีเยื่อใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมง นำครูซิเบิลออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก

3.4.2.5.6 นำครูซิเบิลเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา เปิดฝาเตาเผาให้อุณหภูมิลดลง แล้วนำใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น แล้วนำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก

3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง

3.4.3.1 การออกแบบการทดลอง

สร้าง Response Surface จากแผนการทดลอง Box-Behnken Design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ภายใต้การศึกษาในปัจจัยที่แตกต่างกัน 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง และเวลาที่ใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อ

ทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง โดยกำหนดให้ค่า -1, 0, 1 ของเวลาเท่ากับ 5, 10, 15 นาที ค่า -1, 0, 1 ของอัตราส่วนระหว่างกากถั่วเหลืองกับปริมาณกรดเท่ากับ 1:5, 1:10, 1:15 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่า -1, 0, 1 ของอัตราส่วนระหว่างกากถั่วเหลืองกับปริมาณด่างเท่ากับ 1:5, 1:10, 1:15 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับตัวแปร

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
อัตราส่วนกากถั่วเหลืองต่อกรด	5	10	15
อัตราส่วนกากถั่วเหลืองต่อกรด	5	10	15
เวลาที่ใช้ในการ Autoclave	5	10	15

3.4.4 สกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

3.4.4.1 ชั่งกากถั่วเหลืองที่บดแล้ว 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ และตวงน้ำกลั่นปริมาตร 5, 10 และ 15 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2N จนมีค่า 1.5 ถึง 2 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.4.2 เมื่อครบกำหนดเวลา ถ่ายตัวอย่างลงบนผ้ากรอง ล้างกากถั่วเหลืองด้วยน้ำกลั่น จนมีค่าพีเอช 6.8 ถึง 7

ภาพที่ 3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

ภาพที่ 3.2 การกรองล้างกากถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.3 นำกากถั่วเหลืองไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) เพื่อแยกตัวอย่างของแข็งออกจากของเหลว โดยใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

ภาพที่ 3.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน

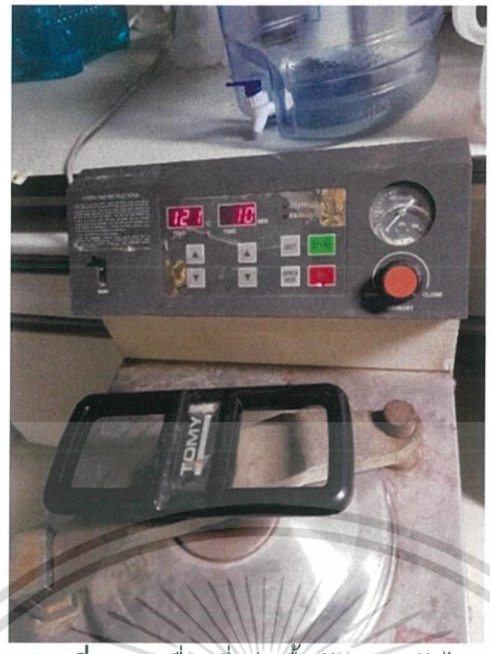
3.4.4.4 กรองเอาน้ำออกโดยถ่ายตัวอย่างลงบนผ้ากรอง แล้วถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ตามเดิม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5, 10 และ 15 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 10-11 ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2N และนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.4.5 เมื่อครบเวลา ถ่ายตัวอย่างลงบนผ้ากรอง แล้วล้างกากถั่วเหลืองด้วยน้ำกลั่น จนมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7.0 ถึง 7.2

3.4.4.6 นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) เพื่อแยกตัวอย่างของแข็งออกจากของเหลว โดยใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กรองเอาน้ำออกโดยถ่ายตัวอย่างลงบนผ้ากรอง

3.4.4.7 นำตัวอย่างที่ได้มาเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่ความดัน 15 ปอนด์ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

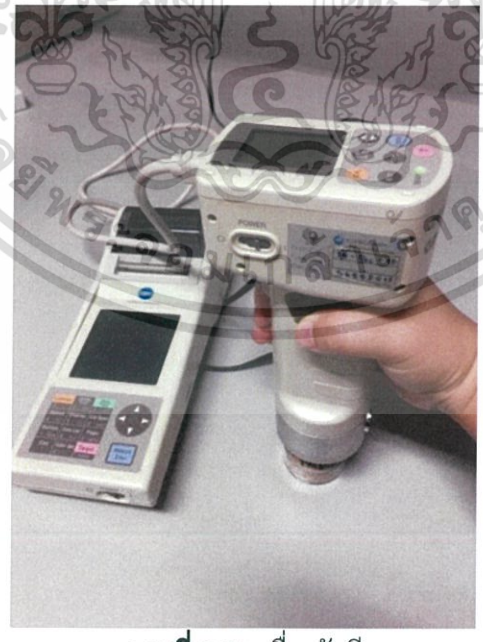


ภาพที่ 3.4 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้ออัดความดันไอ

3.4.5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง

3.4.5.1 สี (Color)

นำเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการสกัดแล้วมาใส่ลงในถ้วยจนเต็ม จากนั้นทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) หัวปลายปิด บันทึกค่า

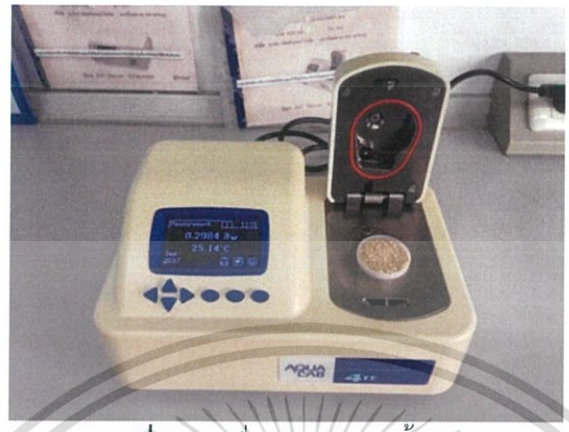


ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

นำตัวอย่างใส่ลงในถ้วย จากนั้นนำเข้าเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ บันทึกค่า



ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้ร้อยละของปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	4.55
เถ้า	11.84
โปรตีน	42.73
ไขมัน	19.20
ใยอาหาร	6.31

4.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

4.2.1 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดนี้ อาศัยการวิเคราะห์แบบ Box-Behnken Design โดยใช้ปัจจัยที่แตกต่างกัน 3 ตัวแปร 3 ระดับ คือ X_1 อัตราส่วนระหว่างกากถั่วเหลืองกับกรด (กรัมต่อมิลลิลิตร) X_2 อัตราส่วนระหว่างกากถั่วเหลืองกับด่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร) และ X_3 เวลา (นาที) ได้ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารในแต่ละการทดลองเฉลี่ยร้อยละ 13.10 ดังตาราง 4.2 ได้ค่าร้อยละผลผลิตเส้นใยอาหารสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.01 และต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 5.45

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

StdOrder	RunOrder	X_1 S:A	X_2 S:B	X_3 เวลา (นาที)	Y ผลผลิตเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)
24	1	10	5	5	6.07
20	2	5	10	5	10.36
22	3	5	10	15	8.15
26	4	10	5	15	7.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลผลิตของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล

StdOrder	RunOrder	X_1 S:A	X_2 S:B	X_3 เวลา (นาที)	Y ผลผลิตเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)
23	5	15	10	15	9.62
18	6	5	15	10	9.55
27	7	10	15	15	8.75
29	8	10	10	10	12.48
12	9	10	15	15	8.04
30	10	10	10	10	12.57
28	11	10	10	10	14.01
3	12	5	15	10	8.59
11	13	10	5	15	8.13
2	14	15	5	10	9.77
15	15	10	10	10	13.72
14	16	10	10	10	12.94
9	17	10	5	5	5.45
1	18	5	5	10	11.15
5	19	5	10	5	9.22
16	20	5	5	10	9.86
13	21	10	10	10	12.25
19	22	15	15	10	12.34
21	23	15	10	5	7.48
25	24	10	15	5	10.39
10	25	10	15	5	8.74
7	26	5	10	15	6.53
4	27	15	15	10	11.38
8	28	15	10	15	9.21
17	29	15	5	10	8.84
6	30	15	10	5	7.50

เมื่อ S:A คือ อัตราส่วนของปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด

S:B คือ อัตราส่วนของปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของผลผลิตร้อยละของเส้นใยอาหาร

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	12.995	0.331	39.28	0.000	
S:A	0.171	0.203	0.84	0.410	1.00
S:B	0.706	0.203	3.48	0.002	1.00
Autoclave time	0.028	0.203	0.14	0.893	1.00
S:A*S:A	-1.075	0.298	-3.60	0.002	1.01
S:B*S:B	-1.735	0.298	-5.82	0.000	1.01
Autoclave time*Autoclave time	-3.411	0.298	-11.44	0.000	1.01
S:A*S:B	0.997	0.287	3.48	0.002	1.00
S:A*Autoclave	1.094	0.287	3.82	0.001	1.00
S:B*Autoclave	-0.771	0.287	-2.69	0.014	1.00

S=0.810461 R^2=91.22%, R^2(adj)=87.27%

จากตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 91.22% จะสามารถสร้างสมการถดถอยเพื่อคำนวณหาร้อยละผลผลิตของเส้นใยอาหารได้ ดังสมการที่ 4.1

$$\%Yield = -8.42 + 0.058A + 1.439B + 2.606C - 0.0430A^*A - 0.0694B^*B - 0.1365C^*C + 0.0399A^*B + 0.0438A^*C - 0.0308B^*C \quad (4.1)$$

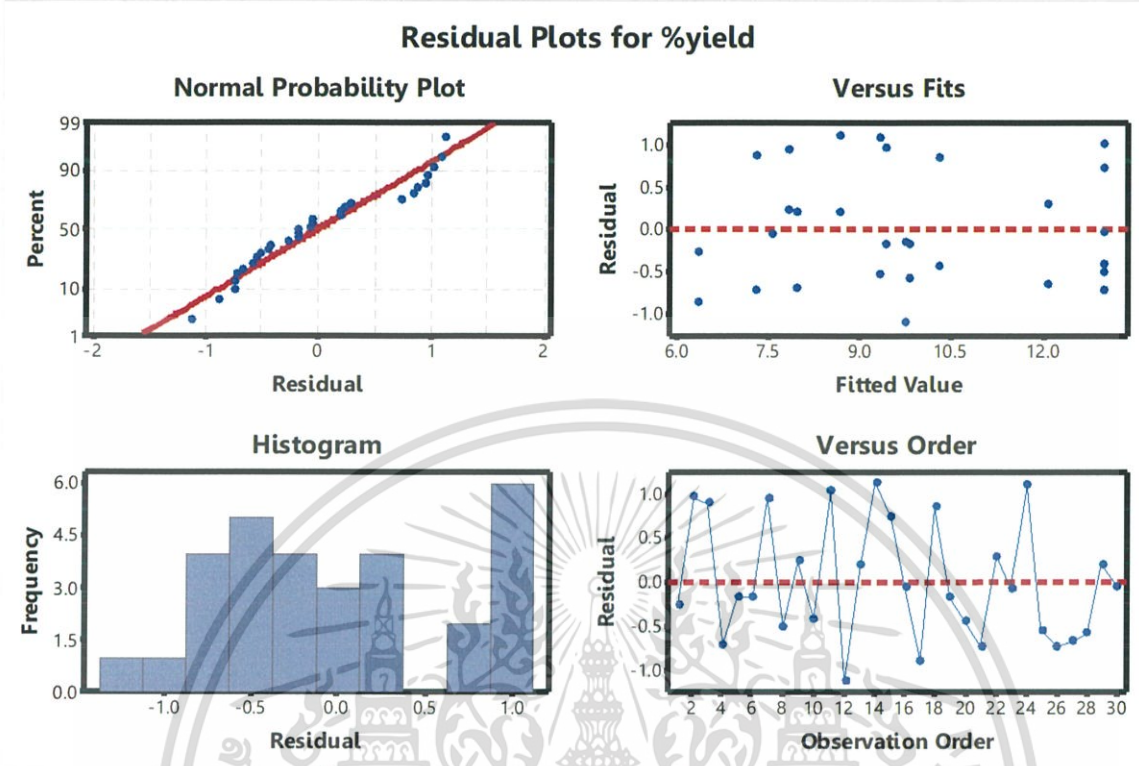
เมื่อ A คือ อัตราส่วนกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด (กรัม/มิลลิลิตร)

B คือ อัตราส่วนกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด (กรัม/มิลลิลิตร)

C คือ เวลาในการ Autoclave (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง

จาก Normal Probability Plot แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ เป็นการตรวจสอบการกระจายแบบปกติของค่าความผิดพลาด ซึ่งจุดของค่าต่าง ๆ อยู่ใกล้เส้น Ideal normal แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างของปริมาณผลผลิตมีความปกติ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้าง (Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ

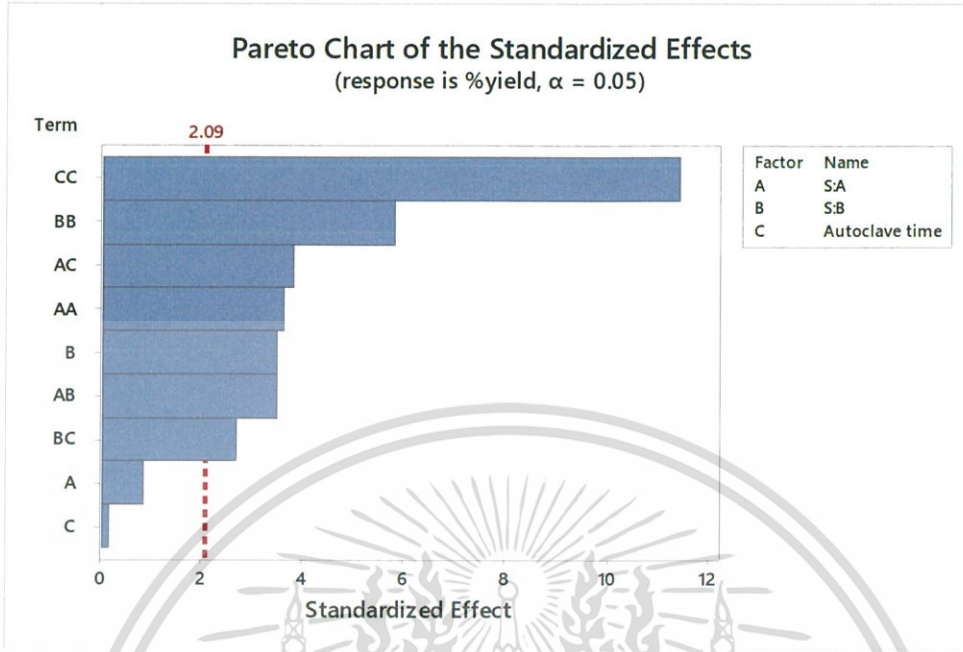
จากกราฟ Versus Fits แสดงการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนในแต่ละระดับของปัจจัย เนื่องจากการกระจายข้อมูลที่ออกมา มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งค่าบวกและลบ จึงไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

จากกราฟ Versus order แสดงการตรวจสอบข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน แสดงค่าความผิดพลาด (Residuals) กับลำดับที่ของการทดลองจากการทดลองสุ่ม ค่าความผิดพลาดจึงมีทั้งค่าบวกและลบ เมื่อพิจารณาแผนภูมิพบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่ม จึงเป็นอิสระต่อกัน

จากกราฟ Histogram แสดงความถี่ของข้อมูล ซึ่งมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อพิจารณาทั้ง 4 กราฟ พบว่าข้อมูลมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด



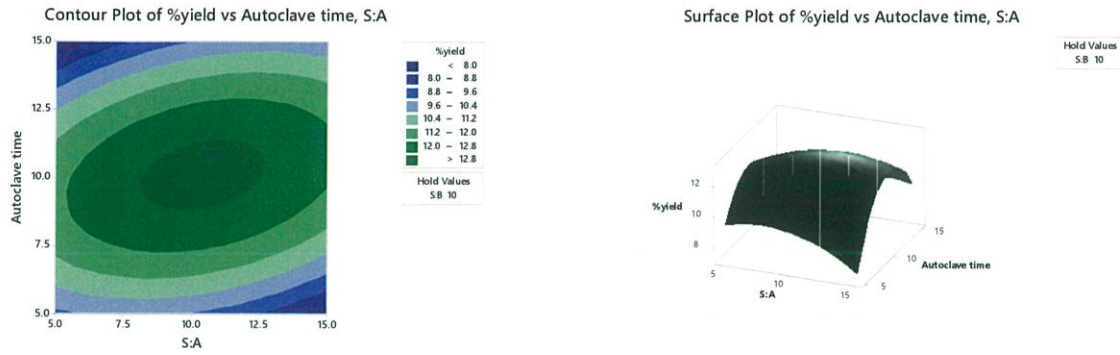
ภาพที่ 4.2 แผนภูมิพาเรโต

จากภาพที่ 4.2 แผนภูมิพาเรโตแสดงถึงผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตในการทดลอง ซึ่งปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญคือ ผลกระทบของเบสกับเวลา (BC) มีความสำคัญมากที่สุด และผลกระทบของกรดกับด่าง (AB) ผลกระทบของด่าง (B) ผลกระทบของกรดกับกรด (AA) ผลกระทบของกรดกับเวลา (AC) ผลกระทบของด่างกับด่าง (BB) และผลกระทบของเวลากับเวลา (CC) มีความสำคัญรองลงมาตามลำดับ

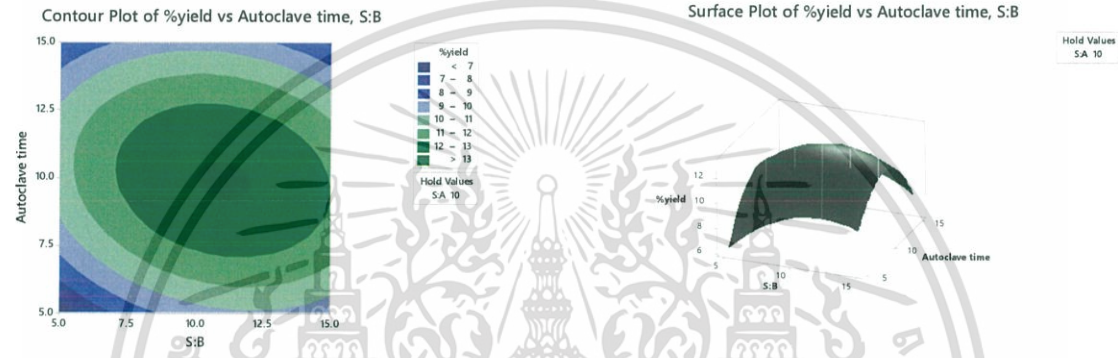
4.2.4 พื้นผิวสะท้อน (Response surface)

ภาพที่ 4.3-4.5 แสดงโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนของ อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง และเวลาในการนึ่งฆ่าเชื้ออัดความดันไอ ซึ่งแสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุด พบว่า ร้อยละของผลผลิตเส้นใยอาหารมีค่าสูง อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรดคือ 1 กรัม ต่อ 8-12.5 มิลลิลิตร และใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณด่างต่อปริมาณกากถั่วเหลืองอยู่ระหว่าง 1 กรัม ต่อ 10-12.5 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อในช่วง 9-11 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



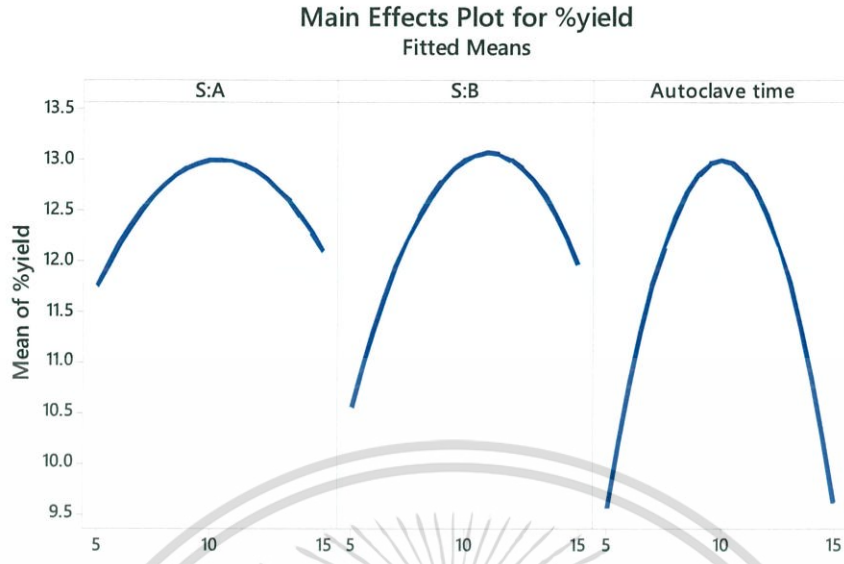
ภาพที่ 4.3 กราฟโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างเวลาและอัตราส่วนระหว่างกรดกับของแข็ง



ภาพที่ 4.4 แผนภูมิโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างเวลาและอัตราส่วนระหว่างด่างกับของแข็ง

ภาพที่ 4.5 แผนภูมิโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนระหว่างอัตราส่วนระหว่างด่างกับของแข็งและอัตราส่วนระหว่างกรดกับของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

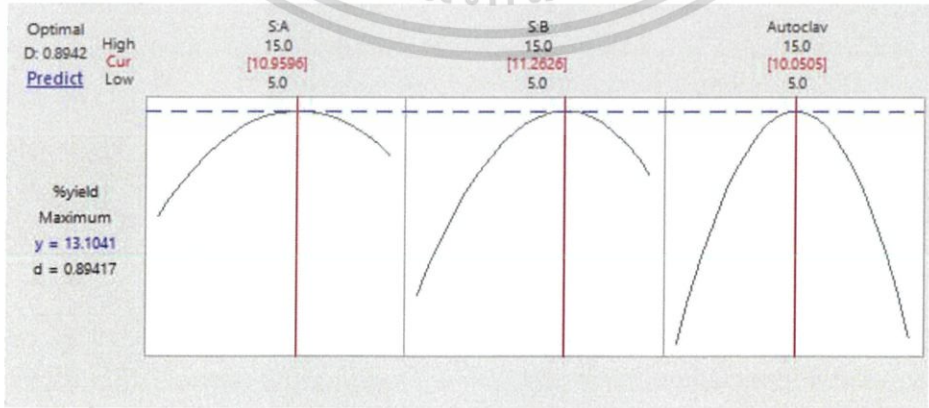


ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงผลกระทบปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย

ภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของผลผลิตเส้นใยอาหารจะสูงที่สุด เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด มีค่าเท่ากับ 1:10-11 จะให้ผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 12.5-13.0 และต่ำสุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด มีค่าเท่ากับ 1:5

เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง มีค่าเท่ากับ 1:10-11 จะได้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด 13.0 และมีค่าต่ำสุดถ้าหากใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด 1:5 จะมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 10.5

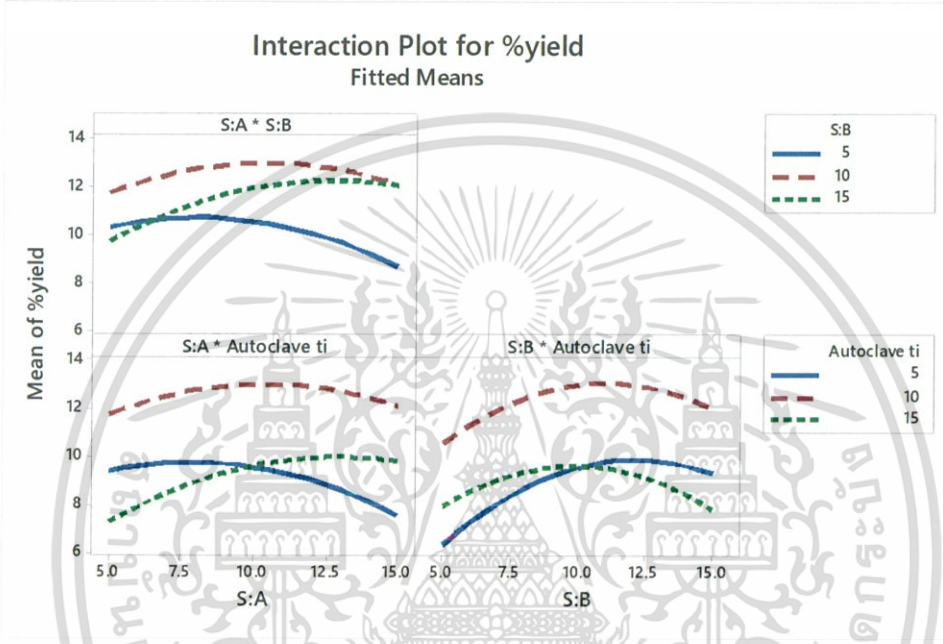
เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อที่ดีที่สุดคือ 10 นาที ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือร้อยละ 13.0 และถ้าหากใช้เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อน้อยกว่าหรือมากกว่า 10 นาที จะทำให้ร้อยละผลผลิตลดน้อยลงด้วย



ภาพที่ 4.7 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.7 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสและไฮโดรเทอร์มอล โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด 1 กรัม ต่อ 10.96 มิลลิลิตร อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง 1 กรัม ต่อ 11.26 มิลลิลิตร และเวลาในการ Autoclave 10 นาที และได้ค่าประมาณของผลผลิตเส้นใยอาหารที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 13.01



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงผลกระทบปัจจัยร่วม 2 ระดับ

จากภาพที่ 4.8 กราฟแสดงถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยแต่ละชนิด โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหาร กราฟผลกระทบร่วมของปัจจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่างเท่ากับ 1:10 และอุณหภูมิในการ Autoclave เท่ากับ 10 นาที มีผลให้ร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด

4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง

4.3.1 วิเคราะห์ค่าสี

ทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR400 ทำการวัดเส้นใยอาหารที่สกัดได้ รายงานผลเป็นค่า L*, a*, b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* (Lightness) บ่งบอกถึงความสว่างจากค่า 0 แสดงถึงสีดำ จนไปถึง 100 แสดงถึงสีขาว แกน a* บ่งบอกถึงแกนสีจากเขียวคือ -a* ไปจนถึงแดง +a* ส่วนค่า b* บ่งบอกถึงแกนสีจากน้ำเงิน -b* ไปจนถึงเหลือง +b*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง ได้ทำการวัดค่าสีของเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง มีค่าดังนี้

L* มีค่าอยู่ระหว่าง 62.98 ถึง 63.49 หมายความว่าวัตถุมีสีเทา ค่อนไปทางขาว

a* มีค่าอยู่ระหว่าง 4.10 ถึง 4.20 หมายความว่าวัตถุมีสีค่อนไปทางสีแดง

b* มีค่า 18.24 หมายความว่าวัตถุมีสีค่อนไปทางสีเหลืองมาก

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณน้ำอิสระ (water activty) เขียนย่อว่า a_w เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร เป็นอัตราส่วนของความดันไอ (vapour pressure) ของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ค่า water activity มีค่า ตั้งแต่ 0-1 จำแนกได้ดังนี้

4.3.2.1 อาหารสด (fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (perishable food) ที่มีค่า water activity มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารทะเล

4.3.2.2 อาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า water acitivity ระหว่าง 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม กุ้งปรุงรส

4.3.2.2 อาหารแห้ง (dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง ผักผลไม้อบแห้ง กุ้งแห้ง น้ำผลไม้ผง เก๊กฮวยผงชงดื่ม กระชายผงชงดื่ม หมูหยอง

ทำการวัดค่าปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่อง Aqua Lab รุ่น 4TE พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.2984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design (BBD) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลือง โดยพิจารณา 3 ปัจจัย 3 ระดับ คือ เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อโดยใช้ Autoclave (นาที) โดยใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด (กรัมต่อมิลลิลิตร) โดยใช้อัตราส่วน 1:5, 1:10 และ 1:15 และอัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร) โดยใช้อัตราส่วน 1:5, 1:10 และ 1:15 พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ทำการสกัดโดยใช้เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อ 10 นาที อัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด 1:11 กรัมต่อมิลลิลิตร และอัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง 1:11 กรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ร้อยละผลผลิตของเส้นใยอาหารจากกากถั่วเหลืองเฉลี่ยร้อยละ 13.10 จากการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยแต่ละชนิด พบว่า เมื่อเวลามากหรือน้อยกว่า 10 นาที จะทำให้ผลผลิตของเส้นใยอาหารต่ำลง เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณกรด มีค่าอยู่ในช่วง 8-12.5 มิลลิลิตร ต่อกากถั่วเหลือง 1 กรัม จะทำให้ผลผลิตของเส้นใยอาหารสูง และเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณกากถั่วเหลืองต่อปริมาณด่าง มีค่าเกินหรือน้อยกว่าช่วง 10-12.5 มิลลิลิตร ต่อกากถั่วเหลือง 1 กรัม จะทำให้ผลผลิตของเส้นใยอาหารต่ำลง ซึ่งเส้นใยอาหารที่ได้ เมื่อทำการบดแล้ว มีลักษณะเป็นผงเนียนละเอียด สีเหลืองอ่อน เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสี ได้ค่า L* อยู่ระหว่าง 62.98 ถึง 63.49 ค่า a* อยู่ระหว่าง 4.10 ถึง 4.20 และค่า b* มีค่า 18.24 และได้ทำการวัดปริมาณน้ำอิสระ พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.2984

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การกรองล้างกรดและด่างออกจากกาก ควรใช้น้ำกลั่นปริมาณมาก เพื่อล้างความเป็นกรด-ด่างออกให้หมด

5.2.2 ในขั้นตอนการกรอง กากเส้นใยจะติดอยู่ที่ผ้ากรอง ควรทำให้สูญเสียเส้นใยน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ธีร์ธวัช สิงหศิริ. 2557. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2557. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ประทุม พุทธิวนิช. 2540. ใยอาหาร สารที่ไม่มีคุณค่า แต่น่าสนใจ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 45 (145). 26-32.

ประภาศรี ภูวเสถียร. 2533. ใยอาหารในอาหารไทย. วารสารโชนการสร้าง. 24 (2). 43-53.

วาศินี ประดับศรี บุญอ้อม โฉมที และอำไพ ทองธีรภาพ. 2558. การศึกษาแผนแบบพื้นผิวตอบสนองขนาดเล็กสำหรับตัวแบบกำลังสองเต็มและตัวแบบลดรูปในขอบเขตทรงกลม. หน้า 363. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สหขวัญ โรจนคุณธรรม. 2556. การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณประโยชน์เชิงสุขภาพของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง. 6-18.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2546. ถั่วเหลือง: พืชทองของไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อังคณา คงคชวรรณ, ตรี อินดราริณี เวียร์ยันโตโร และ อภิรักษ์ เพียรมงคล. 2557. การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

AOAC INTERNATIONAL. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th edition AOAC. International, Arlington, USA

Fuller, S. 2018. Creation of a fibre categories database to quantify different dietary fibres. Journal of Food Composition and Analysis. 71. 36-43.

Redondo-Cuenca, A. 2007. Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst methods. Food Chemistry. 108. 1099–1105.

Weeragul, K. 2015. Extraction and Utilization of Dietary Fiber from Banana Peels. SDU Research Journal. 8 (3). 62-77.

Yang, J. 2014. Novel development and characterization of dietary fiber from yellow soybean hulls. Food Chemistry. 161. 367-375.

Zhang, H. 2018. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. Food Research International. 113. 24-35.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการคำนวณ

ก.1 ความชื้น

$$\%\text{ความชื้น} = (W\text{-}W_1)\text{-}(W\text{-}W_2) \times 100 / (W\text{-}W_1)$$

เมื่อ W = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม

W_1 = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบ

ก.2 เถ้า

$$\%\text{เถ้า} = (W_2\text{-}W \times 100) / (W_1\text{-}W)$$

เมื่อ W = น้ำหนัก crucible

W_1 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างก่อนเผา

W_2 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังเผา

ก.3 โปรตีน

$$\%\text{ไนโตรเจนในอาหาร} = (A\text{-}B) \times N \times 14 \times 100 / W \times 1000$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

W = น้ำหนักตัวอย่าง

เมื่อได้ %ไนโตรเจนในอาหารแล้ว สามารถนำมาคำนวณหา %โปรตีน ได้จากสมการ

$$\%\text{โปรตีน} = \%\text{ไนโตรเจน} \times 6.25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 ไขมัน

$$\%\text{ไขมัน} = W_2\text{-}W_1 \times 100 / W$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักบีกเกอร์ไขมันก่อนการสกัด

W_2 = น้ำหนักบีกเกอร์ไขมันหลังการสกัด

ก.5 ใยอาหาร

$$\%\text{เส้นใยหยาบ} = W_2\text{-}W_1 \times 100 / W$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

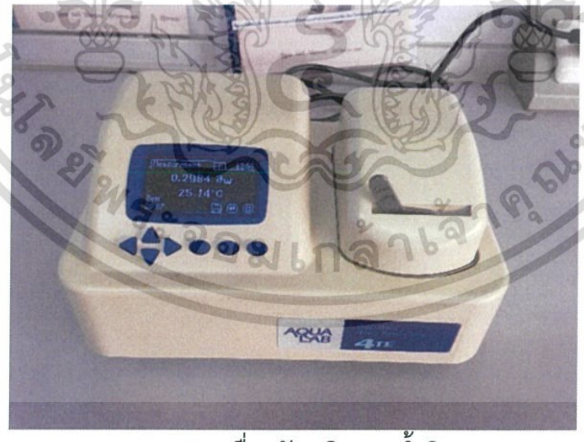
W_1 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังอบ

W_2 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพ ข.1 เครื่องวัดสี



ภาพ ข.2 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	วิรัลรวินท์ สัมปุณณะโชติ
วันเดือนปีเกิด	8 มกราคม 2540
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศึกษานารีวิทยา พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศึกษานารีวิทยา พ.ศ. 2558 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	ฝึกงานที่ บริษัท ปทุมไรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน) ฝึกงานที่ Technische Universität Dresden, Saxony, Germany
ผลงานวิจัย	-
รางวัลที่เคยได้รับ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้