ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ
Efficiency of oil adsorption by pre and post modified plants

ฐาปนี สิงห์ถม
ภัทรภรณ์ พหุโล
อรรัมภา วรคันธ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ

Efficiency of oil adsorption by pre and post modified plants

ฐาปนี สิงห์ถม
ภัทรภรณ์ พหุโล
อรรัมภา วรคันธ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Efficiency of oil adsorption by pre and post modified plants

THAPANEE SINGTHOM
PATTARAPORN PAHULO
ONRUMPA WORAKHAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONNMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ Efficiency of oil adsorption by pre and post modified plants		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวฐาปนี	สิงห์ถม	รหัสนักศึกษา 57050598
	นางสาวภัทรภรณ์	พหุโล	รหัสนักศึกษา 57050629
	นางสาวอรรัมภา	วรคันธ์	รหัสนักศึกษา 57050665
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการ	
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวฐาปนี	สิงห์ถม	รหัสนักศึกษา 57050598
	นางสาวภัทรภรณ์	พหุโล	รหัสนักศึกษา 57050629
	นางสาวอรรัมภา	วรคันธ์	รหัสนักศึกษา 57050665
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์		

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพพืชที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร (ฟางข้าว ชานอ้อย และผักตบชวา) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำมัน โดยจะทำการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาการดูดซับน้ำมัน การนำพืชกลับมาดูดน้ำมันซ้ำ หมู่ฟังก์ชันของพืช ลักษณะพื้นที่ผิวของพืช การดูดซับน้ำของพืช มุมสัมผัสน้ำ การประยุกต์ใช้พืชดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ และการประยุกต์ใช้พืชดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชัน จากการนำพืชทั้งก่อนและหลังปรับสภาพมาทดลองดูดซับน้ำมันปาล์ม พบว่าฟางข้าวก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันปาล์มได้มากที่สุด โดยฟางข้าวก่อนปรับสภาพจำนวน 2 กรัม มีร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน 9.9988 เมื่อทำการดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าชานอ้อยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 40.9449 และเมื่อทำการดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์รูปอิมัลชัน พบว่าผักตบชวาหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์รูปอิมัลชันได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 13.3711

คำสำคัญ : ปรับสภาพพืช, ไตรเมทิลคลอโรไซเลน, การบำบัดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Efficiency of oil adsorption by pre and post modified plants		
Students	Miss THAPANEE	SINGTHOM	Student ID 57050598
	Miss PATTARAPORN	PAHULO	Student ID 57050629
	Miss ONRUMPA	WORAKHAN	Student ID 57050665
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2560		
Advisor	Dr.Glinsukol Suwanarat		

Abstract

The aim of special project is to study was to study the modification of agricultural residues (straw, bagasse and water hyacinth) with Trimethylchlorosilane for oil treatment. Both types of plants were modified with Sodium Hydroxide modification and Trimethylchlorosilane. The study investigates the adsorption of oil, reuse of plants, functional group within plants, the surface area of the plants, water adsorption, water contact angle, the application of plants to adsorb oil in synthesis wastewater and the application of plants to adsorb oil in synthesis wastewater as emulsions. From experiment, it was found the most of oil was adsorped by straw before modification when using 2 g there is an efficient absorption of oil 9.9988%. And when these plants were applied to adsorb oil in synthesis wastewater was found the most of oil was adsorped by bagasse before modification Removal efficiency was 40.9449%. And when these plants were applied to adsorb oil in synthesis wastewater emulsions was found the most of oil was adsorped by water hyacinth after modification. Removal efficiency was 13.3711%.

Keywords: Modification of plants, Trimethylchlorosilane, oil treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่ได้ให้โอกาส ในการศึกษาโครงงานในเรื่องที่น่าสนใจ ทั้งยังมอบความรู้พร้อมทั้งเอาใจใส่ ตลอดการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ และ กรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมรับฟังโครงงานพิเศษนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำใน การปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์การดำเนินโครงงานพิเศษ และจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการดำเนินงาน ทำให้การจัดทำโครงงานพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษ

ฐาปนี สิงห์ถม
ภัทรภรณ์ พหุโล
อรรัมภา วรคันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขต 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 น้ำมัน 3
2.2 มลพิษทางน้ำของน้ำมัน 4
2.2.1 ผลกระทบของน้ำมันที่มีผลต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 4
2.2.2 ผลกระทบทางด้านกายภาพ 5
2.2.3 ผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม 5
2.3 การกำจัดน้ำมัน 5
2.3.1 การแยกโดยใช้เครื่องแยก (Decantation) 5
2.3.2 การแยกโดยการทำให้รวมตัว (Coalescence) 6
2.3.3 การแยกโดยใช้การลอยตัว (Flotation) 6
2.3.4 การแยกโดยใช้วิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง (Centrifugation) 6
2.3.5 การแยกโดยการใช้ความร้อน (Thermal processes) 6
2.3.6 อัลตราฟิวเตรชัน (Ultra-filtration) 6
2.4 การดูดซับ 7
2.4.1 กลไกการดูดซับ 7
2.4.2 ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับ 7
2.5 พืช 9
2.5.1 ข้าวและฟางข้าว 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อ้อยและชานอ้อย 12
2.5.3 ผักตบชวา 13
2.5.4 องค์ประกอบของพืช 14
2.6 การปรับสภาพพืช 16
2.6.1 วิธีทางกายภาพ 16
2.6.2 วิธีการทางเคมี 16
2.6.3 วิธีทางเคมีฟิสิกส์ 18
2.6.4 วิธีทางชีวภาพ 18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
2.7.1 เบญญาภาและคณะ 19
2.7.2 รัชพล 19
2.7.3 บดีศร 20
2.7.4 Jintao และคณะ 20
2.7.5 Dan และคณะ 21
2.7.6 M.Husseien 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 22
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 22
3.1.1 สารเคมี 22
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 22
3.2 การเตรียมพืชก่อนปรับสภาพ 23
3.3 การเตรียมสารละลายปรับสภาพพืช 23
3.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 23
3.3.2 สารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน 23
3.4 ปรับสภาพพืช 24
3.4.1 ปรับสภาพพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 24
3.4.2 ปรับสภาพพืชด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน 24
3.5 ศึกษาลักษณะโครงสร้างพืช 24
3.6 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพืช 25
3.7 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืชและวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำ 25
3.7.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช 25
3.7.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำ 25
3.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช 26
3.10 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ 27
3.10.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำเสียจริง 27
3.10.2 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ 27
3.10.3 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน 28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 30
4.1 การปรับสภาพพืช 30
4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างของพืช 31
4.3 ศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของพืช 36
4.3.1 ฟางข้าว 37
4.3.2 ชานอ้อย 38
4.3.3 ผักตบชวา 39
4.4 ศึกษาความสามารถดูดซับน้ำของพืช 40
4.4.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช 40
4.4.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำ 45
4.5 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช 48
4.6 การนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช 49
4.6.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช 49
4.6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช 56
4.7 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ 56
4.8 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน 58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการวิจัย 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 61
เอกสารอ้างอิง 62
ภาคผนวก 65
ภาคผนวก ก 66
ภาคผนวก ข 73
ภาคผนวก ค 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ 4

4.1 การดูดซับน้ำของพืช 41

4.2 มุมสัมผัสน้ำโดยเฉลี่ยของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ 46

4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช 48

4.4 การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ 57

4.5 การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน 58

ข.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ 75

ข.2 การดูดซับน้ำของพืช 76

ข.3 ค่ามุมสัมผัสน้ำของพืช 77

ข.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ 78

ข.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวหลังปรับสภาพ 80

ข.6 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ 82

ข.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยหลังปรับสภาพ 83

ข.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ 85

ข.9 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาหลังปรับสภาพ 87

ข.10 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 90

ข.11 การเปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ 91

ข.12 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด 92

ข.13 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด(อิมัลชัน) 94

ค.1 ค่าวิกฤตสำหรับการแจกแจงแบบ t 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลน้ำมันและไขมัน	3
2.2 ลักษณะต้นข้าว	10
2.3 ลักษณะของฟางข้าว	11
2.4 โครงสร้างของฟางข้าว	11
2.5 ลักษณะต้นอ้อย	12
2.6 ลักษณะของชานอ้อย	13
2.7 ผักตบชวา	13
2.8 โครงสร้างของเซลลูโลส	14
2.9 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	15
2.10 โครงสร้างของลิกนิน	15
2.11 การปรับสภาพเซลลูโลสด้วยด่าง	17
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพืชก่อนปรับสภาพ	32
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพืชหลังปรับสภาพ	34
4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	37
4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของฟางข้าวหลังปรับสภาพ	37
4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	38
4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของชานอ้อยหลังปรับสภาพ	38
4.7 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	39
4.8 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของผักตบชวาหลังปรับสภาพ	39
4.9 น้ำหนักของฟางข้าวตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	40
4.10 น้ำหนักของชานอ้อยตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	42
4.11 น้ำหนักของผักตบชวาตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	44
4.12 มุมสัมผัสน้ำของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ	45
4.13 มุมสัมผัสน้ำของชานอ้อยก่อนและหลังปรับสภาพ	46
4.14 มุมสัมผัสน้ำของผักตบชวาก่อนและหลังปรับสภาพ	47
4.15 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน	49
4.16 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	50
4.17 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันฟางข้าวหลังปรับสภาพ	51
4.18 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	52
4.19 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชานอ้อยหลังปรับสภาพ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.20 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ 54
4.21 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันผักตบชวาหลังปรับสภาพ 55
4.22 ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ 56
ก.1 ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR 66
ก.2 หลักการและส่วนประกอบของเครื่อง SEM 68
ก.3 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA 70
ก.4 ส่วนประกอบของเครื่อง CTA 72
ข.1 ฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ 74
ข.2 ชานอ้อยก่อนและหลังปรับสภาพ 74
ข.3 ผักตบชวาก่อนและหลังปรับสภาพ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
θ	มุมองศาที่น้ำสัมผัสพืช
°	องศา
°C	องศาเซลเซียส
μm	ไมโครเมตร
CTA	เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer)
FT-IR	เครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infared Spectrometer)
g/g	กรัมน้ำมันต่อกรัมพืช
TGA	เครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในประเทศ ทำให้มีกิจกรรมการใช้ชีวิตประจำวันต่างๆอาทิ เช่น กิจกรรมทางด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมถึงการอุปโภคบริโภค จึงก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้น โดยน้ำเสียในเขตชุมชนเกิดจากการมีสิ่งปฏิกูล เชื้อโรค สารพิษ สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันและน้ำมันถูกระบายทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะมากขึ้น เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ น้ำมันเป็นมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากการทำความสะอาดสิ่งสกปรก การปล่อยน้ำมันและไขมันทิ้งจากกิจกรรมของบ้านเรือน สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการพาณิชย์ต่าง ๆ รวมทั้งการเกิดอุบัติเหตุจากเรือชนกันหรือการล้างถังของเรือ ทำให้น้ำมันที่เกิดขึ้นปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดแผ่นฟิล์มที่ผิวน้ำ จึงมีผลต่อการบดบังแสงอาทิตย์และการละลายของออกซิเจนและทำให้สัตว์ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เกิดการย้ายถิ่นที่อยู่ของสัตว์น้ำ รวมทั้งยังมีผลกระทบต่อหน้าดินและพืชน้ำ และคุณภาพการใช้ประโยชน์ของน้ำผิวดินและน้ำทะเล รวมถึงทัศนียภาพ การประมง การเดินเรือและการพักผ่อนหย่อนใจ

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมันนั้นเนื่องจากน้ำมันทำให้เกิดฝ้า (scum) สะสมอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นจำนวนมากได้ และทำให้เครื่องกรองอุดตัน กากตะกอนที่เหลือจากระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต่อไป ณ แหล่งกำเนิดน้ำเสียจะช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนั้นการใช้วัสดุดูดซับเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างมากเพราะเป็นวิธีที่สะดวก สามารถกำจัดคราบน้ำมันปริมาณมากในพื้นที่กว้างได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันวิธีนี้มีวัสดุดูดซับสังเคราะห์ที่ใช้ต้นทุนในการผลิตและกำจัดหลังการใช้ที่สูง ซึ่งไม่เหมาะกับประเทศที่กำลังพัฒนา ทำให้ต้องหาวัสดุอื่นขึ้นมาทดแทนโดยนำมาปรับสภาพด้วยด่างและเพิ่มความไม่มีขั้วให้กับวัสดุดูดซับนั้นๆ เช่น Jintao Wang และ Aiqin Wang (2012) ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของนุ่นด้วยตัวทำละลายต่างๆคือ น้ำ NaOH $NaClO_2$ และ คลอโรฟอร์ม สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีวัสดุเหลือใช้จากเกษตรกรรมมากมายเช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นใยและมีความลอยตัว สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับได้ และในส่วนของผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงมาก จนก่อให้เกิดปัญหาต่างๆต่อแหล่งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชทั้งสามอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยด่างและเพิ่มความไม่มีขั้วให้กับพืช เพื่อที่จะได้นำมาใช้ทดแทนวัสดุสังเคราะห์ดูดซับคราบน้ำมันที่มีราคาแพงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช และนำมาทำการดูดซับน้ำมัน

2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของ ฟางข้าว ชานอ้อย และผักตบชวา

3) เพื่อนำวัสดุที่เหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ฟางข้าว ชานอ้อย ผักตบชวา

2) ปรับสภาพพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไตรเมทิลคลอโรไซเลน TMCS (C_3H_9ClSi)

3) ศึกษาลักษณะโครงสร้างในพืช ด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infared Spectrometer: FT-IR) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพืชด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช ด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำของพืชด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer: CTA)

4) ศึกษาความสามารถในการการดูดซับน้ำมันของพืชด้วยการดูดซับน้ำมันปาล์ม ศึกษาการดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ และศึกษาการดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน

5) ศึกษาการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืชจำนวน 10 ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถนำพืชมาทำการปรับสภาพเพื่อสามารถดูดซับน้ำมันได้อย่างดี

2) ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของพืชทั้งสามชนิด

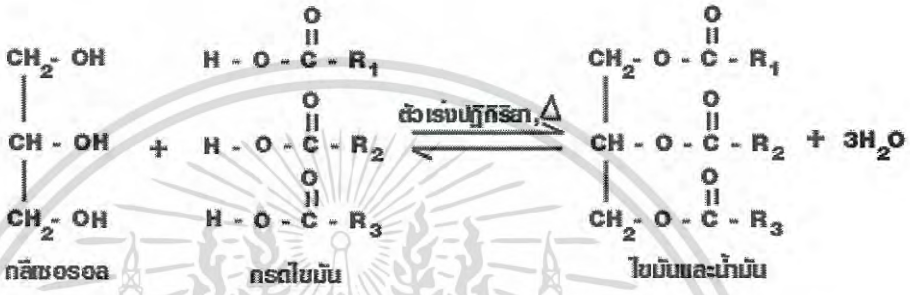
3) สามารถนำวัสดุที่เหลือใช้จากธรรมชาตินำมาทำให้เกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมัน

น้ำมันในวิชาอินทรีย์เคมีนั้นหมายถึงสารประกอบเอสเตอร์ต่างๆ ที่เป็นสารอาหารหลักหมู่หนึ่งเท่านั้น แต่ในทางสิ่งแวดล้อมมีความหมายมากกว่านั้นคือ หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่สามารถสกัดได้ ด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลน้ำมันและไขมัน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

น้ำมันปาล์มดิบ (CrudePalm Oilหรือ CPO) เป็นน้ำมันที่ได้จากกระบวนการหีบผลปาล์มซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 95% กรดไขมันอิสระประมาณ 3-5% และองค์ประกอบอื่นๆที่มีคุณค่าทางอาหาร เช่น โทโคฟรีอล (Tocopherols) โทโคไทรอีนอล (Tocotrienols) และสเตอรอล (Sterols) อีกประมาณ 1% (ศิริกานต์, 2558)

น้ำมันปาล์ม เป็นส่วนที่สกัดได้จากปาล์มธรรมชาติ โดยจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันปาล์มที่สกัดได้จากเปลือกหุ้มภายนอก บางครั้งจะเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) โดยน้ำมันปาล์มประเภทนี้จะสกัดจากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน
2. น้ำมันปาล์มที่สกัดจากเนื้อในของเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Oil) คือน้ำมันที่ได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ชื่อของกรดไขมัน	ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณที่พบ (ร้อยละ)	
		อยู่ในช่วง	ค่าเฉลี่ย
กรดไขมันอิ่มตัว Lauric acid	C12:0	0.1-1.0	0.2
Myristic acid	C14:0	0.9-1.5	1.1
Palmtic acid	C16:0	41.8-46.8	44.0
Stearic acid	C18:0	4.2-5.1	4.5
Arachidic acid	C20:0	0.2-0.7	0.4
กรดไขมันไม่อิ่มตัว Oleic acid	C18:1	37.3-40.8	39.2
Linoleic acid	C18:2	9.1-11.0	10.1
Linolenic acid	C18:3	0.0-0.6	0.4
Palmitoleic acid	C16:1	0.1-0.3	0.1

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2559)

2.2 มลพิษทางน้ำของน้ำมัน

2.2.1 ผลกระทบของน้ำมันที่มีผลต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

น้ำมันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านด้วยกัน ทั้งชนิดของน้ำมัน ระยะเวลาที่น้ำมันอยู่ในแหล่งน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ ฯลฯ

2.2.2 ผลกระทบทางด้านกายภาพ

1.การลดลงของออกซิเจน (O-Decreasing) เมื่อน้ำมันเข้าไปปกคลุมคลุมผิวน้ำจะส่งผลให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถถ่ายเทเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในน้ำ ทำให้สัตว์น้ำบริเวณนั้นการขาดออกซิเจน อีกทั้งคุณภาพแหล่งน้ำบริเวณนั้นลดลง ฝ้าที่อยู่บนผิวน้ำยังทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แสงไม่สามารถส่องผ่านลงสู่ท้องน้ำได้ เพราะน้ำมันที่ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำนั้นบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงในน้ำ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังคเคราะด้วยแสงของพืชที่อยู่ใต้น้ำ

3.การทำลายถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต คราบน้ำมันสามารถทำลายถิ่นที่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะก่อให้เกิดการอพยพย้ายถิ่นของสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้น

4.การดูดซึมโดยสิ่งมีชีวิต (Absorption by Organisms) สารพิษอื่นๆที่ประกอบในน้ำมันจะมีการละลายรวมกับน้ำนั้น สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ เป็นเหตุให้สัตว์เกิดอาการมึนเมาและตายได้ในที่สุด

5.ผลต่อพืช คราบน้ำมันที่ลอยบนผิวน้ำจะไปลดการสังเคราะห์แสงของพืชและส่วนพืชยังสามารถดูดซึมสารต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันแล้วไปทำลายเซลล์ต่างๆ นอกจากนี้คราบน้ำมันที่เกาะตามใบจะทำให้พืชนั้นสูญเสียกระบวนการหายใจ ทำให้พืชไม่สามารถดำรงเจริญเติบโตต่อไปได้ชีวิตอยู่ได้

2.2.3 ผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม

1.กระทบต่อแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากมลพิษของน้ำมันที่ทำให้คุณภาพแหล่งน้ำนั้นลดลง จนทำให้สามารถเพาะพันธุ์สัตว์น้ำในบริเวณนั้น จึงส่งผลให้ผลผลิตนั้นลดลง

2. เกิดความเดือดร้อนรำคาญเนื่องจากคราบสกปรกของน้ำมันที่ลอยไปติดกับวัตถุต่าง ๆ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินของมนุษย์

3. ด้านสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยว ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการท่องเที่ยวหรือการพักผ่อน ส่งผลทางอ้อมต่อระบบเศรษฐกิจและรายได้ของประชาชนในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ

2.3 การกำจัดน้ำมัน

2.3.1 การแยกโดยใช้เครื่องแยก (Decantation)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้เครื่องแยก อาศัยหลักการจากกฎของแรงโน้มถ่วง Stoke's law คือขนาดของหยดน้ำมันนั้นจะแปรผันตรงกับความเร็วของหยดน้ำมันที่ลอยขึ้น โดยการกำจัดนั้นจะปล่อยน้ำและน้ำมันให้แยกชั้นในถังตกตะกอน (Settling tank) ปัจจุบันได้ออกแบบถังตกตะกอนให้มีการใช้แผ่นแยกเข้ามาร่วมด้วย เพื่อที่จะช่วยเพิ่มขนาดหยดน้ำมัน

2.3.2 การแยกโดยการทำให้รวมตัว (Coalescence)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำโดยทำให้น้ำมันรวมตัว จะอาศัยหลักการส่งผ่านหยดน้ำมันให้ผ่านช่องรวบรวมน้ำมันที่มีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มโอกาสการรวมตัวกันทำให้ขนาดเส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางของหยดน้ำมันใหญ่ขึ้นทำให้ความเร็วในการลอยตัวเพิ่มขึ้น เป็นการใช้แยกอิมัลชันซึ่งไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่

2.3.3 การแยกโดยใช้การลอยตัว (Flotation)

การแยกน้ำมันปนเปื้อนในน้ำโดยการทำให้น้ำมันลอยตัว โดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงของคอลลอยด์หรืออิมัลชัน ให้รวมตัวกันเป็นก้อนและพยุงให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยแรงยกของฟองอากาศที่ติดอยู่อนุภาคนั้น

2.3.4 การแยกโดยใช้วิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง (Centrifugation)

เป็นวิธีการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำกับน้ำมันด้วยวิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง เครื่องแยกน้ำมันชนิดนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือเครื่องแยกแบบระบบไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) และ เครื่องแยกแบบระบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal) ซึ่งทั้งสองระบบใช้หลักการปั่นออกจากศูนย์กลางเช่นเดียวกัน

2.3.5 การแยกโดยการใช้ความร้อน (Thermal processes)

การแยกน้ำมันปนเปื้อนในน้ำโดยการใช้ความร้อน คือถ้าหากเราเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมันในรูปอิมัลชัน ความร้อนจะกระตุ้นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) ของหยดน้ำมันขนาดเล็กทำให้มีโอกาสชนกันและรวมตัวกันมากขึ้น ดังนั้นหยดน้ำมันจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและแยกตัวออกจากน้ำได้ในที่สุด

2.3.6 อัลตราฟิวเตรชัน (Ultra-filtration)

การแยกน้ำมันปนเปื้อนในน้ำด้วยการกรอง อาศัยการกรองอิมัลชันผ่านเยื่อกรองโดยใช้ความดัน ทำให้หยดน้ำมันจะติดอยู่กับเยื่อกรองซึ่งมีขนาดเล็กกว่า

การกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้น ทำเพื่อกำจัดปริมาณน้ำมันหรือลดปริมาณน้ำมันให้เหลือน้อยที่สุด การดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อน เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและสามารถทำได้ทันทีที่พบว่ามีการปนเปื้อนของน้ำมัน โดยในประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมาย เช่น ฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันได้และมีราคาถูก เมื่อเทียบวัสดุดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์ที่ใช้กันในปัจจุบัน (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง อรวรรณ, 2549)

2.4 การดูดซับ

เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของไหล (Fluid) หรือคอลลอยด์ (Colloid) ซึ่งเป็นสารถูกดูดซับ (Adsorbate) เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารดูดซับ (Adsorbent Material) โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลนั้น เรียกว่า กระบวนการ Adsorbtion วัสดุหรือสารดูดซับ (Adsorbent Material) ที่นำมาใช้นั้น ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) และยังมีสารดูดซับหลายชนิด เช่น ดินเหนียวกัมมันต์ (Activated Clay) ซิลิกาเจล (Silica Gel) และเบนโทไนต์ (Benthonite) แต่จะนิยมใช้ ถ่านกัมมันต์มากกว่าสารดูดซับอื่น ๆ เนื่องจากสามารถกำจัดกลิ่น สี และโลหะหนักในน้ำได้เป็นอย่างดี

2.4.1 กลไกการดูดซับ

การดูดซับของสารประกอบอินทรีย์นั้นเกิดจากแรงรวมตัว (Binding Force) หลายชนิด ระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์และพื้นที่ผิวของคาร์บอน ซึ่งแรงทั้งหมดเกิดจากอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interaction) การดูดซับที่สำคัญแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ(Physisorption) และการดูดซับทางเคมี(Chemisorption)

1.การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) เป็นกระบวนการที่ไม่เกิดการใช้หรือถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ กระบวนการนี้เป็นกระบวนจะสามารถผันกลับได้ง่ายแต่จะเกิดขึ้นช้า เพราะอาศัยการแพร่ของตัวถูกดูดซับไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบไม่จำเพาะเจาะจงบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนพื้นผิวของตัวดูดซับ แต่จะเกิดทั่วทั้งพื้นผิวของตัวดูดซับโดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั่วพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

2.การดูดซับทางเคมี (Chemisortion) จะเกิดการสร้างพันธะทางเคมีระหว่าง ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับโดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นแล้วจะผันกลับได้ยากกว่า การดูดซับทางเคมีเป็นกระบวนการที่เกิดเฉพาะเจาะจงกับพื้นที่หรือเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่ง

2.4.2 ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับ

1. ความสามารถในการละลายและขนาดของสารถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลที่อยู่ในสารละลายมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดูดซับซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์

2. ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับสารถูกดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายซึ่งในที่นี่คือน้ำ โดยสารถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ดีหรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงทำให้ยากต่อการดูดซับ นอกจากความสามารถในการละลายแล้วขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ เช่นกัน ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขนาดของสารดูดซับจะแปรผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวจะแปรผันตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ ซึ่งหมายความว่า สารที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลได้มากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย

4. การดูดซับโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Reaction) ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

5. อิทธิพลของตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับ อาจเกิดจากแรงกระทำ ระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลายในสารละลายนั้น แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับตัวดูดซับซึ่งเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายและตัวดูดซับ แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับผิวของตัวดูดซับ เป็นต้น

6. pH ของสารละลายมีอิทธิพลต่อการแตกตัวกลายเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้น pH ของสารละลายจึงมีผลต่อการดูดซับด้วยเช่นกัน

7. ระยะเวลาที่สารละลายสัมผัสกับตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งถึงเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งเป็นเวลาที่อัตราการดูดซับ (Rate of Adsorption) เท่ากับอัตราการคาย (Rate of Desorption) ความสามารถในการดูดซับจะมีค่ามากที่สุด

8.อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer) อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ขั้นตอนในการดูดซับของสารถูกดูดซับและสารดูดซับที่มีรูพรุนจะมี 4 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน

1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk Fluid Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเห็นถึงชั้นฟิล์มที่อยู่รอบ ๆ เม็ดคาร์บอน

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าการเคลื่อนที่ทั้งก้อน

3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle หรือ Pore Diffusion) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะเคลื่อนที่ได้ช้า

4) การเกาะติดทางกายภาพ (Actual Physical Attachment) เป็นการเคลื่อนที่ของของเหลวเข้าสู่สารดูดซับ จนกระทั่งเกิดแรงทางกายภาพ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ได้ค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็ว กลไกที่เกิดขึ้นมีพันธะไฮโดรเจน (H – Bonding) แรงแวนเดอร์วาล (Van Der Waals) และแรงไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

9.การปั่นกวน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ภายนอกและภายใน โดยขึ้นกับการปั่นกวนของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกวนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับไว้จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในการเข้าไปยังสารดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ (กุลธิดา, 2557)

2.5 พืช

ฟางข้าว (Rice straw) และ ชานอ้อย (Bagasse) เป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร และยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ในส่วนของฟางข้าว เป็นส่วนที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวข้าว เกษตรกรบางคนจะเผาทิ้งจนทำให้ดินบริเวณนั้นเสื่อมสภาพไป ส่วนชานอ้อยส่วนใหญ่ ได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับการต้มน้ำ และเดินเครื่องจักรตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีผู้คิดค้นหาวิธีนำชานอ้อย ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตเยื่อและกระดาษ อย่างไรก็ตามการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงก็ยังจัดว่า เป็นการใช้ประโยชน์ที่ไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร ในส่วนของผักตบชวา (water hyacinth) เป็นวัชพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูง ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆต่อแหล่งน้ำ จึงได้เลือกพืชทั้งสามชนิดนี้มาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

2.5.1 ข้าวและฟางข้าว

2.5.1.1 ข้าว (Rice) เป็นพืชล้มลุกเขตร้อนที่อยู่ใน วงศ์ (Family) Poaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. โดยมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือ ชอบขึ้นในที่ดินเหนียวมีน้ำท่วมขัง มีบางพันธุ์ที่สามารถขึ้นได้ในที่ดอนเรียกว่า ข้าวไร่ ข้าวมีลำต้นกลวงและแตกตรงข้อเจริญเติบโตแบบแตกกอ ใบยาวเรียวสากคายเหมือนใบตะไคร้หรือใบคา ดอกออกเป็นช่อดอกรวมที่ปลายยอดเรียกว่า รวงข้าว ผลหรือเมล็ดเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะมีสีเหลืองทอง ลักษณะที่สำคัญของข้าวแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตและลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ลักษณะต้นข้าว (ณรันตรี, 2560)

1. ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน มีรากพิเศษที่ขึ้นอยู่บริเวณข้อ ซึ่งอยู่เหนือพื้นดิน ต้นข้าวจะไม่มีรากแก้ว มีรากฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน ลำต้นจะมีลักษณะกลวงมีข้อและปล้องที่ชัดเจน จำนวนปล้องประมาณ 20-25 ปล้อง ขนาดของต้นจะสูงประมาณ 1-1.5 เมตร

2.ใบ จะประกอบด้วยกาบใบ (sheath petiole) ที่หุ้มลำต้น และแผ่นใบ (laminar) แคบและยาวประมาณ 0.6-2.5 ซม. เส้นกลางใบ (mid rib) เห็นได้ชัดเจน ปลายใบแหลมโคนใบเป็นกาบหุ้มรอบต้นยาวประมาณ 0.8-2.5 ซม. ผิวใบทั้งสองด้านและขอบใบมีขนสั้นๆ

3.ในส่วนของช่อดอก (inflorescence) จะเรียกว่า รวงหรือรวงข้าว (panicle) ซึ่งเกิดที่ข้อสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อ ต่อของใบธงเรียกว่า คอรวง ดอกย่อยของข้าว ประกอบด้วยกลีบรองดอก (bract) สองแผ่น ประสานกันเพื่อห่อหุ้มส่วนของดอก กลีบแผ่นนอกเรียกว่า เลมมา (lemma) ส่วนกลีบแผ่นในเรียกว่า พาเลีย (palea) อาจมีขนหรือไม่มีขน

4. ผล เป็น caryopsis รูปไข่ปลายแหลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 มม. ยาว 0.6-1.5 ซม. ผลอ่อนจะมีสีเขียว ส่วนผลแก่ถ้าสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองทอง และเมล็ดเป็นสีขาว ส่วนข้าวกล้องเป็นส่วนที่ผ่านการกะเทาะเปลือก (กลีบรองดอก : bract) ออก หรือผ่านการขัดสีครั้งเดียว จะมีสีขาวขุ่นหรือสีน้ำตาล มีส่วนของเปลือกผลซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อหุ้ม (รำข้าว) และจมูกข้าวรวมถึงเมล็ดอยู่ครบหรือเรียกว่าส่วนของผลข้าว (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2553)

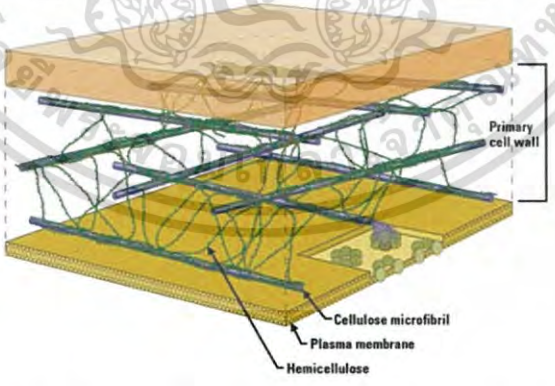
2.5.1.2 ฟางข้าว (Rice straw) จะมีขนาดที่เล็กและกลวง เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวข้าว โดยนาข้าว 1 ไร่ จะมีฟางข้าวประมาณ 320–1,600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อ 1 ฤดูปลูก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความ อุดมสมบูรณ์ของดิน น้ำ ปุ๋ย ฤดูปลูก อุณหภูมิ และพันธุ์ข้าว แม้ว่าฟางข้าวจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย แต่ด้วยภาวะเร่งรัดที่ต้องรีบทำนาในครั้งถัดไป ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตรกรเลือกที่จะเผาฟางข้าวทิ้ง คาดว่า 1 ใน 3 ที่เหลือจากการเผานั้น นอกจากความร้อนในการเผาจะส่งผลกระทบต่อดินแล้ว ยังเป็นการปล่อยมลพิษสู่อากาศอีกด้วย (กระทรวงพลังงาน, 2555)

รูปที่ 2.3 ลักษณะของฟางข้าว (Adisak, 2016)

อาจเป็นเพราะฟางข้าวนั้นมีกระบวนการในการย่อยสลายยาก องค์ประกอบของฟางข้าวส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่พันซ้อนกันเป็นร่างแหสลับกันแน่น ด้วยโครงสร้างที่ยึดติดกันแน่นเช่นนี้ จึงทำให้ฟางข้าวจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน ซึ่งโพลีเมอร์ที่พบมากใน เฮมิเซลลูโลสคือ ไซแลน โดยไซแลนจัดเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลไซโลส มีรายงานวิจัยพบว่า ไซแลน สามารถย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่าเซลลูโลสและลิกนิน และเนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยนั้นเป็นสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซากพืชและซากสัตว์ต่างๆจึงสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของฟางข้าว (วิชาการ.คอม, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อ้อยและชานอ้อย

2.5.2.1 อ้อย (Sugar cane) เป็นพืชวงศ์ POACEAE วงศ์เดียวกับไผ่ หญ้าและธัญพืช มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณ 17-35% ชานอ้อย (bagasse) เมื่อถูกบีบเอาน้ำอ้อยออกไปแล้วนั้น สามารถนำมาใช้ทำกระดาษ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วย อ้อยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้นในระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ และ 35 องศาใต้ ประเทศผู้ปลูกอ้อยที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล คิวบา และอินเดีย (ธนาคารสมอง, 2559)

รูปที่ 2.5 ลักษณะต้นอ้อย (เส้นทางเศรษฐีออนไลน์, 2016)

2.5.2.2 ชานอ้อย (bagasse) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย ชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปที่มีศักยภาพในปัจจุบันสำหรับประเทศไทยที่จะนำมาพัฒนา เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากและสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 ลักษณะของชานอ้อย (Phanuwatnandee, 2017)

2.5.3 ผักตบชวา

ผักตบชวา (Water hyacinth) เป็นไม้น้ำ อยู่ในวงศ์ (Family) pontederiaceae และมีชื่อทางวิทยาสาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms ผักตบชวาเป็นพันธุ์ไม้ต่างประเทศ และแพร่หลายไปทั่วทุกที่ในประเทศไทย ลำต้นอาจจะลอยอยู่บนผิวน้ำ หรืออาจะติดอยู่กับโคลนบริเวณที่น้ำตื้น ก้านใบจะพองออก ยาว 4.5 – 30 เซนติเมตร และลักษณะใบจะคล้ายกับใบโพธิ์ แต่จะกว้างกว่าและปลายใบจะป้านเล็กน้อย มีสีเขียว ใบมีขนาดยาวประมาณ 5 – 15 เซนติเมตร มีดอกออกเป็นช่อสีม่วง มีดอกย่อย 5-30 ดอก ประกอบกันเป็นช่อๆ สีของดอกอาจมีสีชมพูอมฟ้า และในกลีบดอกอาจมีจุดแต้มสีเหลือง ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ แต่ไม่สามารถทนน้ำเค็มได้ มีการขยายพันธุ์ที่รวดเร็วโดยการแยกกอหรือใช้การไหลของน้ำ (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2540)

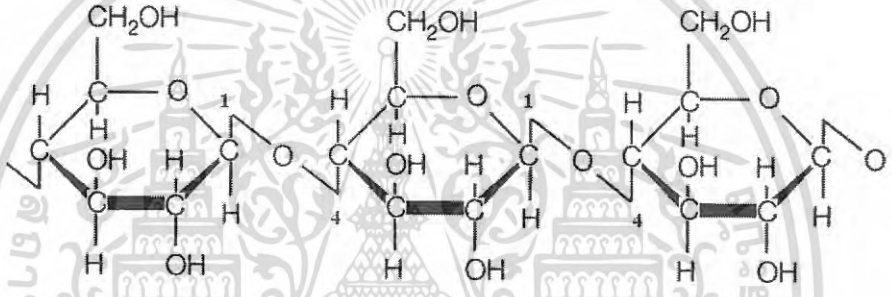
รูปที่ 2.7 ผักตบชวา (องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 องค์ประกอบของพืช

2.5.4.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นโปลิแซคาไรด์ขนาดใหญ่ ประกอบด้วยน้ำตาล D-glucose จับกันเป็นสายยาวโดยไม่มีกิ่งก้านสาขา ยาวถึง 2,000 – 10,000 หน่วยกลูโคส หน่วยกลูโคสที่เหมือนกันหมดแต่ละตัวจะจับกับตัวต่อไปโดยพันธะโควาเลนท์ประเภทไกลโคซิดิกบอนด์ C'1 β ถึง C'4 ตลอดทั้งสาย สายเซลลูโลสในพืชวางตัวเป็นชั้นๆ มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหน่วยกลูโคสต่างๆ ที่อยู่ในชั้นที่ติดกันและระหว่างหน่วยกลูโคสต่างๆ ในสายเดียวกันด้วย ทำให้เกิดเป็นแผ่นเซลลูโลสที่ละลายน้ำได้ยากและย่อยด้วยเอนไซม์ได้ไม่ง่ายนัก แต่เมื่อเซลลูโลสแตกออกมาจนเป็นน้ำตาลดี-กลูโคส ได้โดยวิธีการต่างๆ เราสามารถใช้น้ำตาลกลูโคสหน่วยเดี่ยวนี้มาเป็นอาหารของคนและสัตว์ทั่วไปได้ (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2012)

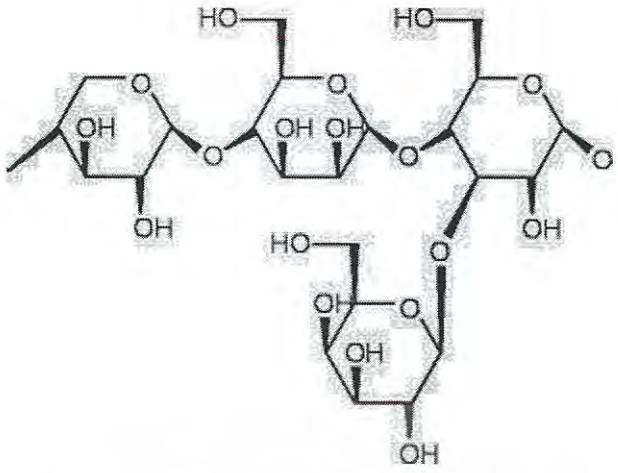


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเซลลูโลส (ชลัท, 2553)

2.5.4.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮท-เทอร์โรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่างๆหลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไวแลนดี-ไซโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูคิวโรนิก กรดกาแลคตูโรนิก จะพบปริมาณน้อยโดยไซโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2012)

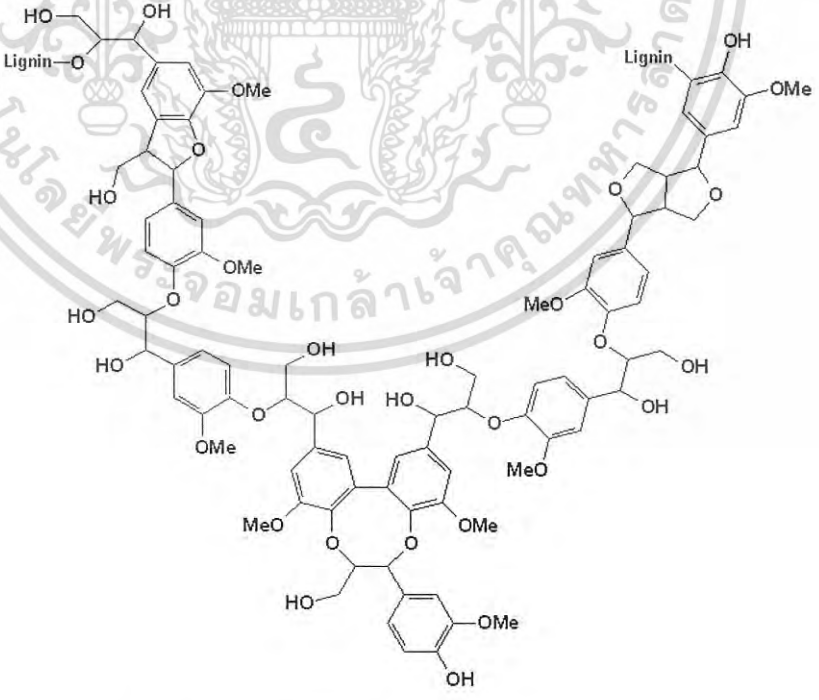
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (ชลัท, 2553)

2.5.4.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช โดยจะพบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาตินั้นลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลลินทรีย์ ลิกนินจะเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ซึ่งจะมีโครงสร้างในลักษณะ 3 มิติ (รัชพล ,2558 อ้างถึง Cheng *et al.*, 2008)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของลิกนิน (ชลัท, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4.4 สารแทรก (Extractive)

สารแทรก เป็นส่วนประกอบของไม้ล้มลุกหรือไม้ยืนต้น จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) สารแทรกนั้นจะประกอบไปด้วยเรซิน (resin acid) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) น้ำมันระเหย (volatile oil) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง สำนักวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556)

2.6 การปรับสภาพพืช

การปรับสภาพพืชก่อนนั้น ก็เพื่อเป็นการกำจัดส่วนที่เป็นลิกนินออกและเป็นการลดโครงสร้างที่เป็นผลึกของเซลลูโลสเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับพืชมากขึ้น โดยจะประกอบไปด้วย 4 วิธี (ปิยะนุช, 2557)

2.6.1 วิธีทางกายภาพ

เป็นการลดขนาดของพืชหรือการเพิ่มพื้นที่เพื่อให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ด้านในถูกย่อยสลายได้มากขึ้นโดยวิธีการหั่น การสับ การทุบ หรือการบด ซึ่งวิธีเหล่านี้จัดเป็นวิธีที่ให้ผลดีและมีต้นทุนที่ต่ำ

2.6.2 วิธีการทางเคมี

การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีนั้นคือการใช้สารเคมีเพื่อที่จะทำการลดความเป็นผลึกและกำจัดลิกนิน อีกทั้งเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำให้กับพืชมากยิ่งขึ้น โดยทำได้หลายวิธี เช่น เมอร์เซอร์ไรเซชัน (Mercerization) ซิลิเลชัน (Silylation) อะซิทิเลชัน (Acetylation) และปรับสภาพด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide treatment) เป็นต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.6.2.1 เมอร์เซอร์ไรเซชัน คือการใช้ด่างแก่ในการปรับสภาพพืชได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะเป็นด่างแก่ที่สามารถกำจัดลิกนินได้ดีและราคาถูก ภายในโครงสร้างของพืชประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH-) ที่ ตำแหน่งคาร์บอน 2, 3 และ 6 แลกเปลี่ยนไอออนกับตัวถูกดูดซับ การเกิดปฏิกิริยานั้นอาจไม่เกิดขึ้นทุกตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล เพราะจะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุลของหมู่ ฟังก์ชัน และระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ทำให้กลายเป็นสายโซ่โมเลกุลเรียงซ้อนกันและจัดเรียงเป็นระเบียบจนกลายเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) การปรับสภาพด้วยด่างนั้น จะทำให้เซลลูโลสบวมตัว ลดความเป็นผลึก ทำให้ให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การปรับสภาพด้วยวิธีนี้ จะช่วยเพิ่มคุณลักษณะใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดติดพื้นผิวของพืชโดย โซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปกำจัดสิ่งสกปรกที่เกาะติดผิวของพืช ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 2.1 (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง อรวรรณ, 2549)

$$Fiber\text{-}OH + NaOH \rightarrow Fiber\text{-}O^{-}Na^{+} + H_2O \quad \text{.....(2.1)}$$

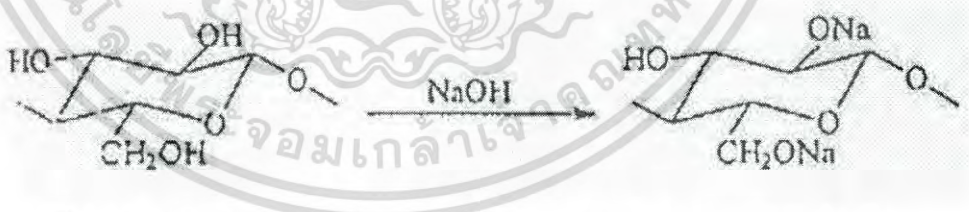
การเข้าทำปฏิกิริยาของสารเคมีกับเซลลูโลสจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous) สามารถแบ่งลักษณะการทำปฏิกิริยาได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Surface reaction คือทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวแค่ส่วนใดส่วนหนึ่ง

2. Macroheterogeneous reaction คือทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว แล้วผ่านเข้าไปในเส้นใยพืชจากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่ง จะเกิดขึ้นเมื่อเซลลูโลสเกิดการละลาย เป็นลักษณะการปรับสภาพด้วยกรด เซลลูโลสจะไม่เกิดการรวมตัว

3. Microheterogeneous reaction คือปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการบวมตัวในขณะที่เซลลูโลสอยู่ในตัวกลาง

4. Permuted reaction คือการเกิดปฏิกิริยาภายในเส้นใยพืช และบริเวณที่เป็นผลึกจะไม่ละลาย เมื่อปรับสภาพด้วยด่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และลิเทียมไฮดรอกไซด์ โดย Alkaline (ด่าง) จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสเกิดเป็น Alkali cellulose ทำให้เซลลูโลสบวมตัว (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง กันตพัฒน์, 2558) ดังรูป



รูปที่ 2.11 การปรับสภาพเซลลูโลสด้วยด่าง (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง กันตพัฒน์, 2558)

2.6.2.2 ซิลิเลชัน เป็นการปรับสภาพเส้นใยพืชโดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ไซลิล สารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้แก่ ไตรเมทิลคลอโรไซเลน (Trimethylchlorosilane) ไตรอีท็อกซีไวนิลไซเลน (Triethoxyvinylsilane) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.2

$$Fiber\text{-}OH + X\text{-}Si\text{-}R \rightarrow Fiber\text{-}O\text{-}Si\text{-}R + HX \quad \text{.....(2.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ฮาโลเจนจะแทนด้วย X และหมู่แอลคิลจะแทนด้วย R ไซเลนที่เข้าไปทำปฏิกิริยาจะเกาะตัวบนพื้นผิวของเส้นใยพืชคล้ายกับการเคลือบผิวเส้นใยพืชด้วยไซเลน ลดพื้นที่ในการดูดซับความชื้นและการกระจายตัวหยดน้ำบนเส้นใยพืชให้ลดลง สามารถทำการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยพืชการดูดซับความชื้นด้วยการวัดมุมสัมผัส นอกจากนี้ การปรับสภาพเส้นใยพืชด้วยกระบวนการซิลิเลชันยังทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงทนต่อการดึง และมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น

2.6.2.3 อะซิทิเลชัน เป็นการปรับสภาพเส้นใยพืชโดยใช้กรดอะซิติก (CH_3COOH) และปรับสภาพอีกครั้งด้วยอะซิติกแอนไฮไดรด์ โดยมีกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.3

$$\text{Fiber-OH} + CH_3COOH \xrightarrow[\text{Conc. } H_2SO_4]{(CH_3CO_2)} \text{Fiber-O-C-}CH_3 + H_2O \quad \text{.....(2.3)}$$

การปรับสภาพทำให้เกิดการแทนที่ตรงหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยพืช ทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำนั้นเพิ่มมากขึ้น

2.6.2.4 การปรับสภาพด้วยเปอร์ออกไซด์ เป็นการกระตุ้นเส้นใยพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือที่เรียกว่าเมอร์เซอร์ไรเซชัน จากนั้นปรับสภาพต่อด้วยสารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ในอะซีโตน (เบญญาภาและคณะ, 2559 อ้างถึง อรวรรณ, 2549) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.4

$$RO\text{-}OR \rightarrow 2RO$$

$$RO + \text{Cellulose} \rightarrow \text{R-OH} + \text{Cellulose} \quad \text{..... (2.4)}$$

2.6.3 วิธีทางเคมีฟิสิกส์

เป็นการปรับสภาพเส้นใยพืชโดยใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมี (ปิยะนุช, 2557)

2.6.4 วิธีทางชีวภาพ

จุลินทรีย์สามารถใช้ในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสและยังเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพในย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ ในการใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพ มักย่อยลิกนิน รวมทั้งย่อยเฮมิเซลลูโลสด้วย ส่วนเซลลูโลสจะถูกย่อยน้อยมากซึ่งเซลลูโลสมีความต้านทานในการถูกจุลินทรีย์ย่อยของจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนอื่นๆของลิกโนเซลลูโลส (รัชพล, 2558 อ้างถึง Kumar *et al.*, 2011, Sreenath *et al.*, 2001, Slininger *et al.*, 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 เบญญาภาและคณะ (2559) ศึกษาการปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติ (ผลปาล์ม และนุ่น) ด้วยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน โดยทำการศึกหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยของผลปาล์ม และนุ่น ก่อนและหลังปรับสภาพ ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใย การดูดซับน้ำของเส้นใย มุมสัมผัสน้ำ การดูดซับน้ำมัน การนำเส้นใยกลับมาดูดซับน้ำมันซ้ำ และการประยุกต์ใช้เส้นใยดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังจากการปรับสภาพเส้นใยพบว่าพื้นที่ผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้น มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้น และการดูดซับน้ำลดลง คือ เส้นใยของผลปาล์มดูดซับน้ำลดลงร้อยละ 67 มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นจาก 96° เป็น 103° ส่วนเส้นใยนุ่นดูดซับน้ำลดลงร้อยละ 34 มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นจาก 138° เป็น 168° จากนั้นนำเส้นใยทั้งสองชนิดมาดูดซับน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) พบว่าเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด คือร้อยละ 74.67 ตามด้วยเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ เส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ และเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 8.80, 5.15 และ 4.37 ตามลำดับ การนำเส้นใยกลับมาใช้ซ้ำ พบว่าเส้นใยทุกชนิดไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ และเมื่อประยุกต์ใช้เส้นใยดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการดูดซับน้ำมันบนเส้นใย คือประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 70.94, 66.86, 49.20 และ 48.84 ตามลำดับ

2.7.2 รัชพล (2554) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพผักตบชวาและจอกด้วยไมโครเวฟร่วมกับด่าง และ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมไฮโดรไลซีสตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพแล้วโดยใช้เอนไซม์เพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ โดยทำการเก็บตัวอย่างผักตบชวาและจอก (เฉพาะส่วนของใบ) ล้าง อบแห้งและลดขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้นประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินคิดเป็นร้อยละ 75.25 ± 2.21 20.05 ± 1.70 และ 3.07 ± 0.40 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ตัวอย่างถูกปรับสภาพโดยใช้วิธีทางกายภาพ (คลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟ 360 600 800 วัตต์) ร่วมกับทางเคมี (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เพื่อให้โครงสร้างภายในเหมาะสม ต่อการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ พบว่ากำลังไฟและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลในทางลบต่อปริมาณองค์ประกอบ ทางเคมีและน้ำหนักของตัวอย่าง เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณเซลลูโลสพบว่าตัวอย่างเริ่มต้นให้ปริมาณ เซลลูโลสสูงสุด (75.25 ± 2.21 ของน้ำหนักแห้ง) แตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับขั้นตอนการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์โดยการย่อยด้วยเอนไซม์คือ การไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ (ที่ความเข้มข้น 1000 ยูนิตต่อกรัมซับสเตรท) ได้แก่ 1) เซลลูเลส (C) 2)ไซลาเนส (X) 3) เซลลูเลสร่วมกับไซลาเนส (X+C) และ 4) ไซลาเนสตามด้วยเซลลูเลส (X/C) พบว่าให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการไฮโดรไลซีสด้วย C ที่เวลา 48 ชั่วโมง ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดคิดเป็น 0.24 ±

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.03 กรัมต่อ กรัมซับสเตรท และเหลือองค์ประกอบเซลลูโลสเพียงร้อยละ 47.63 ± 0.37 ของน้ำหนักแห้ง

2.7.3 บดีศร (2547) ศึกษาฟางข้าว, ไหมข้าวโพด, กาบมะพร้าว, ซังข้าวโพดบด, ฝ้าย, นุ่น, และ เกสรของดอกธูปฤาษี ได้ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุ คือ ค่าความชื้น, ค่าการลอยตัว, ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ, และอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่อน้ำ โดยชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย น้ำมันดิบ, น้ำมันดีเซล, และน้ำมัน Bunker C นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน กับปัจจัยอื่นอีก 2 ตัวแปร คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (5, 15 และ 30 นาที) และ ค่าความหนาของชั้นน้ำมัน (0.1, 0.2, 0.5, 1.0, และ 2.0 มิลลิเมตร) นุ่น, ฝ้าย, และเกสรของดอกธูปฤาษีสามารถผ่านทุกเกณฑ์มาตรฐานของวัสดุดูดซับน้ำมันซึ่งได้ กำหนดว่า ต้องมีค่าการลอยตัวมากกว่า 90 %, มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่า 10 g./g., และค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่อน้ำมากกว่า 1 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบ ของนุ่น, ฝ้าย, และเกสรของดอกธูปฤาษี ณ.เวลา 15 นาที มีค่าเป็น 35.95 g./g, 22.78 g./g., และ 17.52 g./g. ตามลำดับ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันดีเซลของนุ่น, ฝ้าย, และเกสรของดอกธูปฤาษี มีค่าเป็น 31.74 g./g., 20.27 g./g., และ 15.99 g./g. และค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน Bunker C ของนุ่น, ฝ้าย, และเกสรของดอกธูปฤาษี มีค่าเป็น 41.73 g./g., 33.31 g./g., และ 20.05 g./g. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกันกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันมีความสัมพันธ์กันกับค่าความหนาของชั้นน้ำมัน โดยที่ลักษณะของความสัมพันธ์นี้สามารถทำนายได้จากสมการซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับสมการของ Langmuir สำหรับการดูดซับน้ำมันดิบ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ของสมการเหล่านี้มีค่าเป็น 0.997, 0.989 และ 0.980 สำหรับนุ่น, ฝ้าย, และเกสรดอกธูปฤาษี ตามลำดับ สำหรับการดูดซับน้ำมันดีเซล ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ของสมการเหล่านี้มีค่าเป็น 0.997, 0.979 และ 0.978 สำหรับนุ่น, ฝ้าย, และเกสรดอกธูปฤาษี ตามลำดับ สำหรับการดูดซับน้ำมัน Bunker C ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ของสมการเหล่านี้มีค่าเป็นเท่ากับ 0.999 สำหรับทั้งนุ่น, ฝ้าย, และเกสรดอกธูปฤาษี

2.7.4 Jintao และคณะ (2012) ศึกษาใยนุ่นซึ่งเป็นวัสดุหมุนเวียนตามธรรมชาติที่มีลักษณะช่องว่างโพรงขนาดใหญ่และไม่ชอบน้ำซึ่งช่วยให้สามารถดูดซับน้ำมันได้ดี เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในการศึกษานี้เส้นใยนุ่นได้รับการปรับสภาพด้วยตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ น้ำ HCl NaOH $NaClO_2$และคลอโรฟอร์ม โครงสร้างของเส้นใยนุ่นที่ผ่านการปรับสภาพแล้วและได้รับการตรวจวัดโดยวิธีฟูเรียร์อินฟราเรด (FTIR) การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) การฉาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีเอกซ์ (XRD) และการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยรังสีเอกซ์ (XPS) ผลของการเก็บรักษาอุณหภูมิและเวลาในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยได้รับการประเมินด้วยโทลูอีนคลอโรฟอร์มฟลูออรีนและไซลีนเป็นน้ำมันแบบจำลอง ผลการทดลองพบว่ายกเว้นคลอโรฟอร์มเส้นใยนุ่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ แสดงให้เห็นถึงการดูดซับน้ำมัน เมื่อเทียบกับใยนุ่นดิบ $NaClO_2$-treated ใยนุ่นแสดงให้เห็นถึงการดูดซับน้ำมันสูงสุดด้วยอัตราร้อยละที่เพิ่มขึ้นจะพบว่า 19.8%, 30.0%, 21.5% และ 24.1% สำหรับโทลูอีน, คลอโรฟอร์ม n-เฮกเซนและไซลีนตามลำดับ นอกจากนี้เส้นใยนุ่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยตัวทำละลายสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ดีขึ้นซึ่งเป็นผลดีในการแก้ไขปัญหาน้ำมัน

2.7.5 Dan และคณะ (2013) ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตเทคโนโลยีชีวภาพใหม่โดยใช้เซลลูโลสเป็นตัวปรับเปลี่ยนเพื่อผลิตสารดูดซับน้ำมันจากแกนข้าวโพด (CMCS) การรักษาเซลลูโลสของต้นข้าวโพดดิบ(RCS) ด้วยการใส่เอนไซม์ 100 U / g ที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำมันพืช น้ำมันดีเซลและน้ำมันดิบโดย CMCS เท่ากับ 18.47, 16.15 และ 27.23 กรัมต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า RCS มาก XRD, BET และ SEM ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดลักษณะ RCS และ CMCS ศึกษาผลของตัวดูดซับ (0.1-0.5 กรัม) ปริมาณน้ำมันเริ่มต้น (5-30 กรัม) และจลนพลศาสตร์การดูดซับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแกนข้าวโพดที่ดัดแปรด้วยเซลลูโลสเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการกำจัดน้ำมันรั่วซึม

2.7.6 M.Husseien (2009) ทำการศึกษาก้านข้าวโพด (กากที่เหลือจากการเกษตร) เนื่องด้วยปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการจัดการขยะและกำจัดของเสียจากพืชจะคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจและมลภาวะ การศึกษาก้านข้าวโพดนี้ได้วิเคราะห์ลักษณะทางเทคนิคด้วย FTIR, X-ray, TGA และ SEM นอกจากนี้ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพพื้นผิวของก้านข้าวโพดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่ากลุ่ม CH_2, CH_3 และ carbonyl ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคีโตนเอสเทอร์และบางกลุ่มมีลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลสในก้านข้าวโพด จากข้อมูลความร้อนแสดงให้เห็นว่าก้านข้าวโพดสามารถใช้ได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส การดูดซับสีย้อมและน้ำมันก๊าซดีขึ้นมากหลังได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยแสดงผ่านภาพที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สิ่งที่เป็นกากทางชีวภาพมาเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

3.1.2.1 ตัวทำละลาย

1. อะซิโตน (CH_3COOH_3) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA

3.1.2.2 สารปรับสภาพพืช

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
2. ไตรเมทิลคลอโรไซเลน TMCS (C_3H_9ClSi) เกรด AR บริษัท Acros

3.1.2.3 สารอื่นๆ

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
2. โซเดียมซัลแอนไฮดรัส (anhydrous Na_2SO_4) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
3. น้ำกลั่น
4. น้ำมันปาล์ม (น้ำมันปาล์มตราหยก)
5. ฟางข้าว
6. ชานอ้อย
7. ผักตบชวา
8. เฮกเซน (C_6H_{14}) เกรด COM. บริษัท Malilinckrodt CHEMICALS
9. น้ำยาล้างจาน (ตราซันไลต์)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron microscope : SEM) รุ่น LEO 1455 VP บริษัท LEO
2. กระดาษวัดพีเอช รุ่น cat. 109535 บริษัท E-merck
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น New Classic MF บริษัท Metler Toledo
4. เครื่องเทอโมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetriiic analyzer : TGA) รุ่น Pyris 1 TGA บริษัท PerkinElme
5. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contract amgle : CTA) รุ่น OCA 20 บริษัท DATAPHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared : FT-IR) รุ่น Spectrum Gx บริษัท PerkinElme

7. เครื่องบีบน้ำมัน

8. ตู้อบ รุ่น UN55 บริษัท Memmert 1

9. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

10. นาฬิกาจับเวลา รุ่น CT-20 บริษัท Canon

11. กระชอนเหล็ก

12. กรวยแยก

13. ชามระเหย

14. เดซิเคเตอร์

15. ผ้าขาวบาง

3.2 การเตรียมพืชก่อนปรับสภาพ

1. นำพืชทั้ง 3 ชนิดมาทำการผึ่งแดดให้แห้งสนิท แต่ชานอ้อยนั้นจะต้องทำการอบเพื่อให้แห้งสนิท โดยจะอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. จากนั้นนำมาตัดเป็นเส้นขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร (กฤษณ์ และศิริพร, 2545)

3.3 การเตรียมสารละลายปรับสภาพพืช

3.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 51.0204 กรัม

2. นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3.3.2 สารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

1. ปิเปตไตรเมทิลคลอโรไซเลนมา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2. ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตนจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้ไตรเมทิลคลอโรไซเลน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ปรับสภาพพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน (C_3H_9ClSi)

3.4.1 ปรับสภาพพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. นำฟางข้าวที่ตัดเรียบร้อยและแห้งแล้ว มาแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. เมื่อแช่ครบ 48 ชั่วโมงแล้ว นำฟางข้าวมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. เมื่ออบจนครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

3.4.2 ปรับสภาพพืชด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน

1. นำฟางข้าวที่ผ่านการแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์และอบจนแห้ง มาแช่ในไตรเมทิลคลอโรไซเลนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2. เมื่อแช่ครบ 3 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. เมื่ออบครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์และทิ้งไว้ให้เย็น

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

3.5 ศึกษาลักษณะโครงสร้างพืช ด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infared Spectrometer: FT-IR)

1. นำฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม มาตัดเป็นเส้นขนาดสั้น ๆ จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบภายในเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FT-IR)

2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวที่ปรับสภาพแล้ว

3. เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพืชด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

1. นำฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม มาตัดเป็นเส้นขนาดสั้นๆ จากนั้นนำไปส่องพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM)

2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวที่ปรับสภาพ

3. เปรียบเทียบพื้นที่ผิวของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

3.7 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืชด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermo-gravimetic analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำของพืชด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contract angle analyzer: CTA)

3.7.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช

1. ชั่งฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 1.0000 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2. แช่ฟางข้าวที่ยังไม่ปรับสภาพลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปิดบีกเกอร์ด้วยแผ่นฟรอยด์ เพื่อให้พืชอยู่ในสภาวะอิ่มตัวของน้ำ

3. เมื่อแช่พืชครบ 24 ชั่วโมง นำมาผึ่งไว้บนผ้าขาวบาง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (TGA) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส

4. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพ

5. คำนวณการดูดซับน้ำ และเปรียบเทียบการดูดซับน้ำของพืชก่อนและหลังการปรับสภาพ

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 5) แต่เปลี่ยนเป็นผักตบชวาและชานอ้อย

3.7.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำ

1. นำฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี (สด) มาวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำ ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contract angle: CTA)

2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพ

3. เปรียบเทียบมุมสัมผัสน้ำของพืชก่อน และหลังปรับสภาพ

4.ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นผักตบชวาและชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช

1. นำน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม นำมาแช่ในน้ำมัน เป็นเวลา 15 นาที

2. เมื่อครบ 15 นาที นำฟางข้าวมาผึ่งบนกระชอนเหล็ก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) ซ้ำ อีก 2 ครั้ง

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวหลังปรับสภาพ

5. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าว และเปรียบเทียบความสามารถของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 5) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

3.9 การนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

1. นำน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม นำมาแช่ในน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที

2. เมื่อครบ 15 นาที นำมาผึ่งบนกระชอนเหล็ก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

3. เมื่อผึ่งฟางข้าวครบ 10 นาที นำมาบีบน้ำมันออก ด้วยเครื่องบีบเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักฟางข้าวหลังจากบีบน้ำมันออกแล้ว

4. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) ซ้ำ จนความสามารถในการดูดซับคงที่

6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 5) ซ้ำ อีก 2 ครั้ง

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 6) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวหลังปรับสภาพ

8. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 8) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์

3.10.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำเสียจริง

1. เก็บน้ำเสียที่ปล่อยออกจากท่อน้ำทิ้งรวมจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ ใส่ขวดแก้ว

2. ตวงน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟูริก (ในอัตราส่วน 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันตามวิธีของ APHA/AWWA/WEF 5520B,1998

3. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมา ใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักชามระเหย

4. นำน้ำเสียที่ได้มาทำการสกัดกรวยแยกด้วยเฮกเซน โดยเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่ากรวยแยกแรงเป็นเวลา 2 นาที

5.เมื่อเขย่ากรวยแยกครบสองนาที รอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นไขชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ใส่บีกเกอร์

6. ไขชั้นน้ำมัน (ชั้นบน) ใส่ชามระเหย โดยผ่านกระดาษกรอง ที่ด้านบนโรยโซเดียมซัลเฟต-แอนไฮดรัส

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4) – 6) ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยน้ำชั้นน้ำในบีกเกอร์มาสกัดซ้ำ

8. นำชามระเหย ไปอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

9. ชั่งน้ำหนักชามระเหยที่มีน้ำมัน จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำมันที่มีในน้ำเสีย

10.ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2) – 9) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.10.2 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตามปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจริง (ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ต่อน้ำมันที่มีอยู่จริง มิลลิกรัม)

2. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับพีเอชของน้ำให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟูริก (ในอัตราส่วน 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร)

3. ชั่งฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม แช่ในน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อครบ 15 นาที นำฟางข้าวมากรองลดความดัน จะได้น้ำเสียหลังจากที่ฟางข้าวดูดซับน้ำมันที่ปนเปื้อนออก

5. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักชามระเหย

6. นำน้ำเสียที่ได้มาทำการสกัดกรวยแยกด้วยเฮกเซน โดยเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่ากรวยแยกแรงเป็นเวลา 2 นาที

7.เมื่อเขย่ากรวยแยกครบสองนาที รอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันเป็น 2 นาที จากนั้นไขชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ใส่บีกเกอร์

8. ไขชั้นน้ำมัน (ชั้นบน) ใส่ชามระเหย โดยผ่านกระดาษกรอง ที่ด้านบนโรยโซเดียมซัลเฟต- แอนไฮดรัส

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6) – 8) ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยนำชั้นน้ำในบีกเกอร์มาสกัดซ้ำ

10.นำชามระเหย ไปอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

11. ชั่งน้ำหนักชามระเหยที่มีน้ำมัน จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับในฟางข้าว

12. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

13. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวหลังปรับสภาพ

14. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 13) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

15.ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 12) เพื่อทำเป็นชุดควบคุม โยไม่ต้องใช้พืชลงไปดูดซับน้ำมัน

3.10.3 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตามปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจริง (ในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ต่อน้ำมันที่มีอยู่จริง มิลลิกรัม)

2. ตวงน้ำยาล้างจานในปริมาตรอัตรา 1:10 ของน้ำมันที่มีอยู่จริง : น้ำยาล้างจานใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. ชั่งฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ มาจำนวน 2 กรัม แช่ในน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที

4. เมื่อครบ 15 นาที นำฟางข้าวมากรองลดความดัน จะได้น้ำเสียหลังจากที่ฟางข้าวดูดซับน้ำมันที่ปนเปื้อนออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักชามระเหย

6. นำน้ำเสียที่ได้มาทำการสกัดกรวยแยกด้วยเฮกเซน โดยเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่ากรวยแยกแรงเป็นเวลา 2 นาที

7.เมื่อเขย่ากรวยแยกครบสองนาที รอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นไขชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ใส่บีกเกอร์

8. ไขชั้นน้ำมัน (ชั้นบน) ใส่ชามระเหย โดยผ่านกระดาษกรอง ที่ด้านบนโรยโซเดียมซัลเฟต-แอนไฮดรัส

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6) – 8) ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยนำชั้นน้ำในบีกเกอร์มาสกัดซ้ำ

10.นำชามระเหย ไปอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

11. ชั่งน้ำหนักชามระเหยที่มีน้ำมัน จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับในฟางข้าว

12. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

13. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) แต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวหลังปรับสภาพ

14. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 13) แต่เปลี่ยนเป็นชานอ้อยและผักตบชวา

15.ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 12) เพื่อทำเป็นชุดควบคุม โยไม่ต้องใช้พืชลงไปดูดซับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพพืชด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลนเพื่อการบำบัดน้ำมัน ในการศึกษาพืชที่ใช้ในการทดลองคือ ฟางข้าว ชานอ้อย และผักตบชวา โดยในบทนี้นำเสนอผลการทดลอง ได้แก่ ศึกษาปรับสภาพพืช ลักษณะโครงสร้างพืช คุณลักษณะของพืช การดูดซับน้ำ มุมสัมผัสน้ำ การดูดซับน้ำมัน การนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช และการประยุกต์การดูดซับน้ำมัน ตามลำดับดังนี้

4.1 การปรับสภาพพืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน

การบำบัดน้ำมันหรือสารไม่มีขั้วโดยใช้พืชเป็นตัวดูดซับนั้น จำเป็นต้องเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicของพืชให้มากขึ้นด้วยการปรับสภาพทางเคมี โดยจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอน ในขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการเตรียมพื้นที่ผิวของพืชก่อนเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และลดคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) ให้น้อยลง เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำมันบนพื้นที่ผิวของพืช โดยปรับสภาพด้วยด่างหรือวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน เพราะองค์ประกอบภายในพืชส่วนใหญ่คือเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (R-OH) อีเทอร์ (R-O-R') เอสเธอร์ (R-COO-R') และคาร์บอกซิล (R-COOH) ที่มีความเป็นขั้วสูง ทำให้พืชมีคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารไม่มีขั้ว การปรับสภาพด้วยด่างแก่นั้นจะเข้าไปกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลในพืชให้หลุดออกไป ดังนั้นในการทดลองจึงทำปรับสภาพด้วยด่างแก่ โดยแช่พืชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมก่อนทำการปรับสภาพพื้นที่ผิวภายในของพืชในขั้นตอนถัดไป (อรวรรณ, 2549 อ้างถึง Bei Wang, 2004) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ผิวเป็นดังสมการที่ 4.1

เมอร์เซอร์ไรเซชัน :

$$\text{Fiber-OH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Fiber-O-Na+} + \text{H2O} \quad \text{.....} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 จะพบว่า Na เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะไฮโดรเจน ทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกแล้วรวมตัวกับ OH ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นน้ำ (H_2O) โดย Na^+ เข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนบนพื้นที่ผิวภายในของพืช เกิดพันธะใหม่เป็นพันธะที่เกาะกันแบบหลวม ๆ สามารถหลุดออกได้ง่าย การปรับสภาพขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวและลดความเป็นผลึกลง และช่วยเพิ่มคุณลักษณะในการยึดติดพื้นที่ผิวภายในของพืช โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปกำจัดสิ่งสกปรกที่เกาะบนพื้นผิวพืช ซึ่งเป็นการเตรียมให้พืชพร้อมที่จะทำการปรับสภาพในขั้นที่สองคือการเพิ่มคุณสมบัติความไม่มีขั้วให้กับพืชหรือเพิ่มคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic ให้กับพื้นผิวภายในของพืชด้วยการปรับสภาพพื้นที่ผิวภายในของพืชด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน (C_3H_9ClSi) ด้วยวิธีซิลิเลชัน ดังนั้นในการทดลองจึงทำปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน โดยทำการแช่พืชด้วยไตรเมทิลคลอโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเลน ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณสมบัติความไม่มีขั้วบนพื้นที่ผิวภายในของพืชหรือเพิ่มคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic ด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลนโดยวิธีซิลิเลชัน (อรวรรณ, 2549 อ้างถึง Bei Wang, 2004) เป็นดังสมการที่ 4.2

ซิลิเลชัน :

$$\text{Fiber-O-Na+} + \text{C3H9ClSi} \longrightarrow \text{Fiber-O-Si- C3H9} + \text{NaCl} \quad (4.2)$$

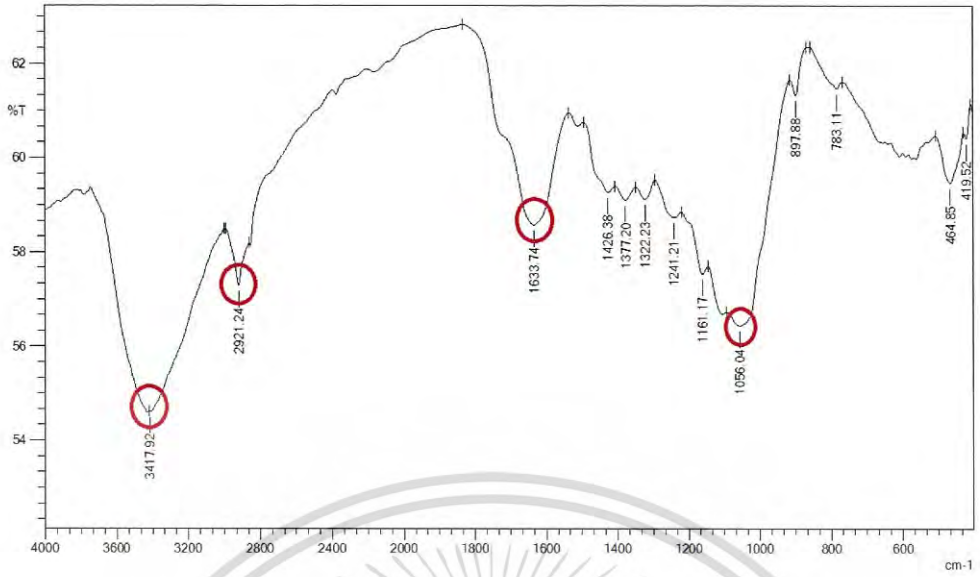
หมู่ไซลิล (R-Si) จากสารละลายไซเลนจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่ Na^+ ได้โครงสร้างใหม่ Na^+ ที่หลุดออกจะไปรวมกับ Cl เกิดเป็น NaCl หลังจากทำการปรับสภาพแล้วจะเห็นได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิลหายไป เป็นการเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้แก่พื้นที่ผิวภายในของพืชและทำให้เส้นใยภายในพืชมีความแข็งแรงมากขึ้น

โดยลักษณะทางกายภาพของพืชทั้งก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ข) ฟางข้าวก่อนปรับสภาพเป็นน้ำตาลอ่อน ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร เมื่อผ่านการปรับสภาพพืชมีสีเหลืองเข้มขึ้น ความเหนียวลดน้อยลง กรอบเปราะแตกหักง่าย เนื่องจากการทำลายโครงสร้างพื้นผิวภายในของพืช ชานอ้อยก่อนปรับสภาพเป็นสีน้ำตาลอ่อน มีความเหนียวและยืดหยุ่น เมื่อผ่านการปรับสภาพเส้นใยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ความเหนียวลดน้อยลง กรอบเปราะแตกหักง่าย เนื่องจากการทำลายโครงสร้างพื้นผิวภายในของพืชเช่นเดียวกับฟางข้าว ผักตบชวาก่อนปรับสภาพเป็นสีน้ำตาลอ่อน มีความเหนียวและยืดหยุ่น เมื่อผ่านการปรับสภาพเส้นใยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ความเหนียวลดน้อยลง กรอบเปราะแตกหักง่าย เนื่องจากการทำลายโครงสร้างพื้นผิวภายในของพืชเช่นเดียวกับฟางข้าว

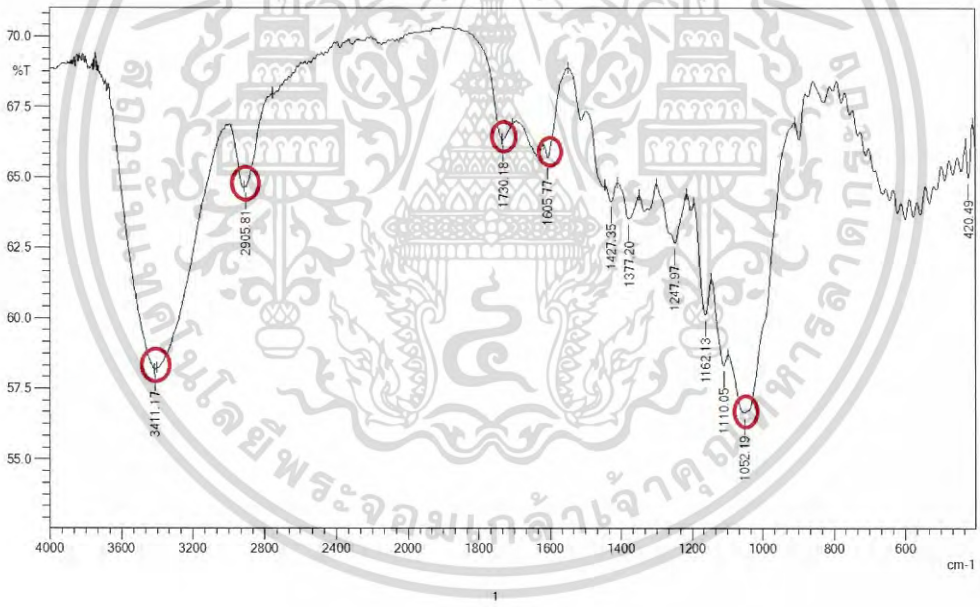
4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างของพืช ด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infared Spectrometer: FT-IR)

การศึกษาหมู่ฟังชันก์ภายในของพืชด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดหรือเครื่อง FT-IR เป็นเทคนิคทางสเปคโตสโคปีชนิดหนึ่งที่ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารไฮโดรคาร์บอน โดยการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอินฟาเรด (Infrared: IR) ของโมเลกุลต่าง ๆ ที่มีเลขคลื่นตั้งแต่ 1250-50 cm^{-1} โมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันตามชนิดของหมู่ฟังก์ชัน จากการทดลองได้นำพืชก่อนปรับสภาพ และพืชหลังปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน มาศึกษาหมู่ฟังชันก์ภายในของพืช แสดงผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

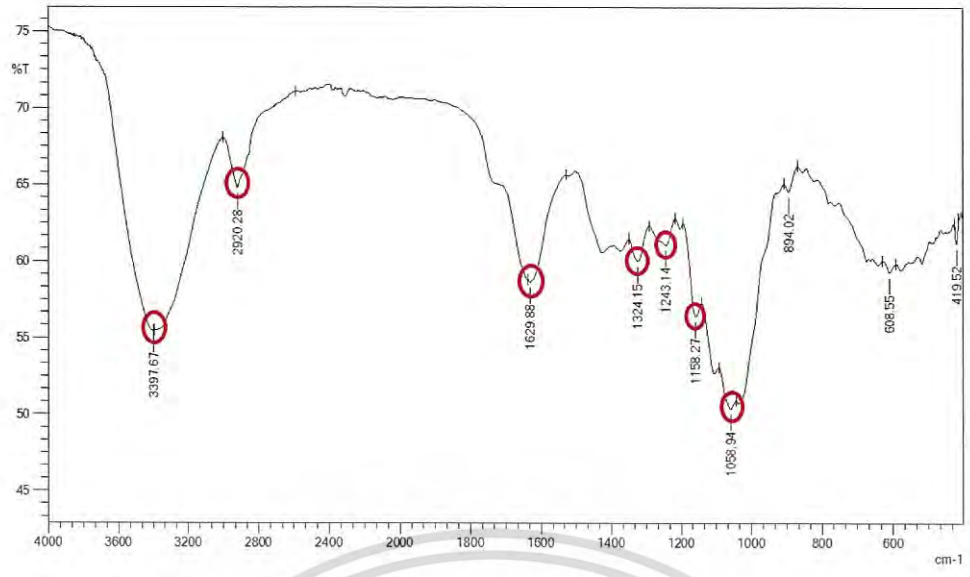


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพืชก่อนปรับสภาพ ((ก) ฟางข้าว, (ข) ชานอ้อย,(ค) ผักตบชวา)

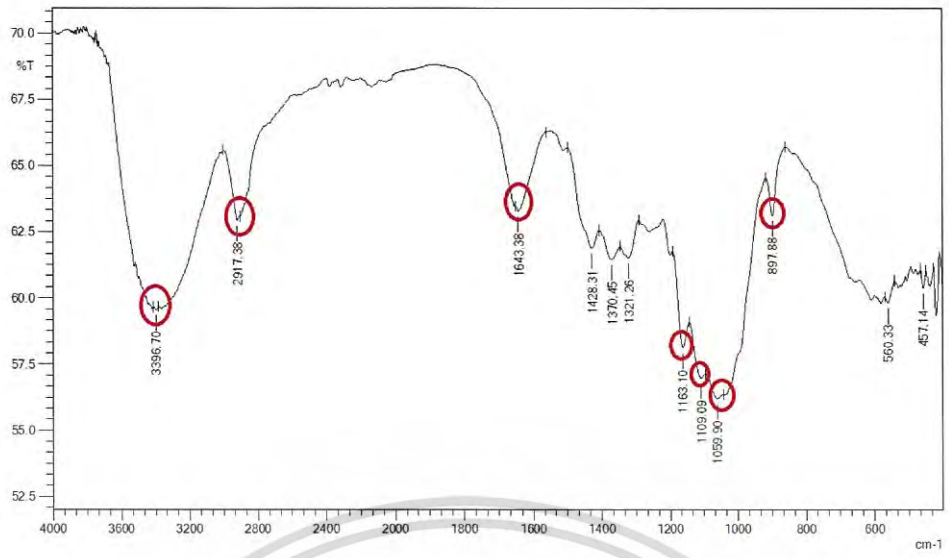
ตามผลของ FT-IR สเปกตรัมของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก. ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) ตรงตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3417 cm^{-1} ซึ่งแสดงคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic จึงจำเป็นต้องลดหรือกำจัดหมู่ฟังก์ชัน O-H ให้น้อยลง นอกจากนั้นยังปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C-H, C=C และ C-O ที่เลขคลื่น 2921, 1633 และ 1056 cm^{-1} ตามลำดับ โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างภายในพืชที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

รูปที่ 4.1 ข. พบว่า FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=O, C=C และ C-O ตรงตำแหน่งเลขคลื่น 3401, 2921, 1728, 1604 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ

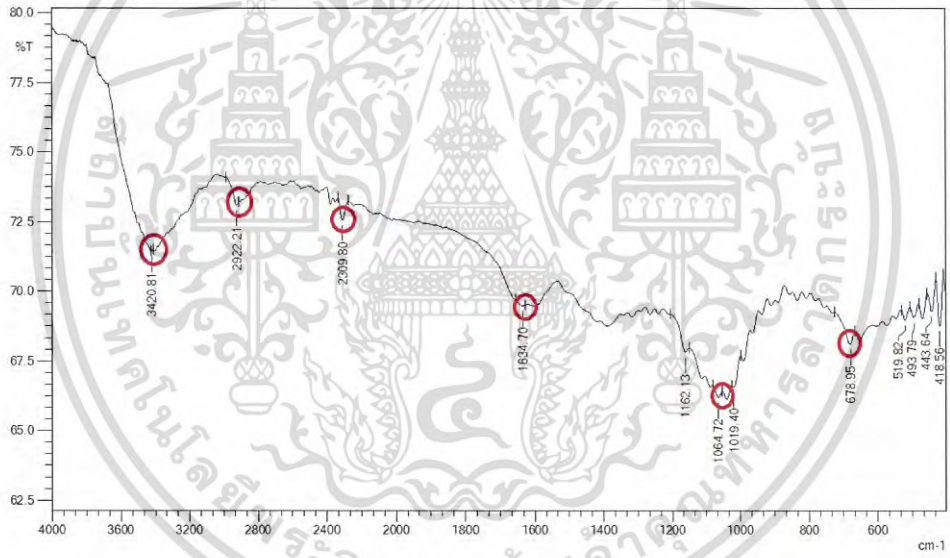
รูปที่ 4.1 ค. พบว่า FT-IR สเปกตรัมของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C และ C-O ตรงตำแหน่งเลขคลื่น 3397, 2920, 1629 และ 1058 cm^{-1} ตามลำดับ

เมื่อนำพืชที่ได้หลังจากปรับสภาพด้วยด่างหรือวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อลดความเป็น Hydrophilic ในพืชให้น้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic.ให้กับพืชด้วยวิธีซิลิเลชัน โดยปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน มาศึกษาหมู่ฟังชันก์ภายในพืชหลังจากทำปรับสภาพ ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

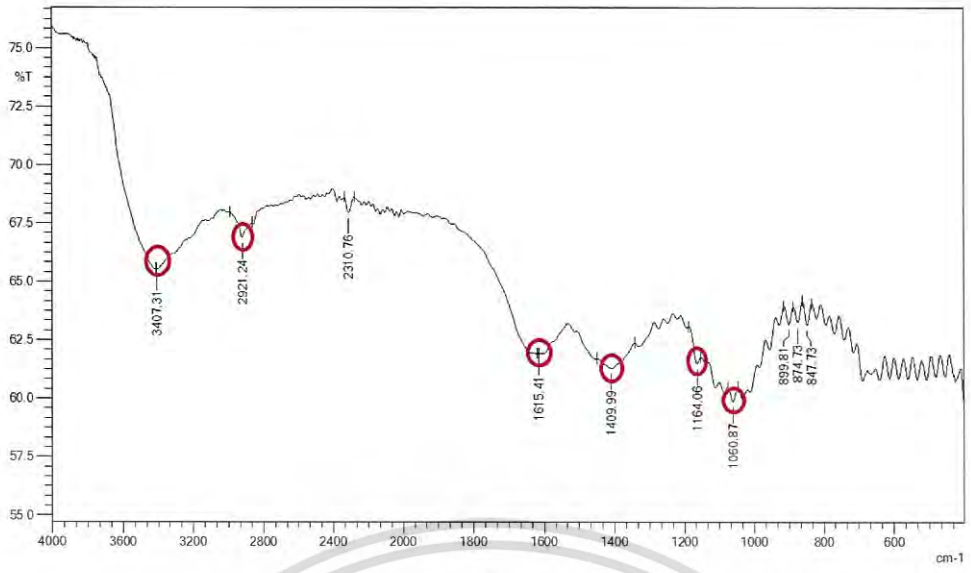


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพืชหลังปรับสภาพ ((ก) ฟางข้าว, (ข) ชานอ้อย, (ค) ผักตบชวา)

ตามผลของ FT-IR สเปกตรัมของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก. ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) ตรงตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3417 cm^{-1} ซึ่งแสดงคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic จึงจำเป็นต้องลดหรือกำจัดหมู่ฟังก์ชัน O-H ให้น้อยลง นอกจากนั้นยังปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C-H, C=C และ C-O ที่เลขคลื่น 2921, 1633 และ 1056 cm^{-1} ตามลำดับ โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างภายในพืชที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

ตามผลของ FT-IR สเปกตรัมของฟางข้าวหลังปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ก. มีการเปลี่ยนแปลงแถบสเปกตรัมที่สังเกตได้ยาก เมื่อเทียบกับแถบสเปกตรัมของพืชก่อนปรับสภาพ เนื่องจากยังคงมีแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินภายในพืช คือ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) ตรงตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3396 cm^{-1} ซึ่งแสดงคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic จึงจำเป็นต้องลดหรือกำจัดหมู่ฟังก์ชัน O-H ให้น้อยลง นอกจากนั้นยังปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C-H, C=C และ C-O ที่เลขคลื่น 2917, 1643 และ 1163-1056 cm^{-1} ตามลำดับ ที่คล้ายคลึงกับพืชก่อนปรับสภาพ แต่มีความแตกต่างในลักษณะความเด่นชัดของแถบการดูดกลืนมากกว่าพืชก่อนปรับสภาพ เนื่องด้วยหมู่ฟังก์ชันของทั้งสองเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างในส่วนที่เป็นเซลลูโลส ซึ่งหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งคาร์บอน 2, 3 และ 6 เกิดปฏิกิริยากับโซเดียม (Na+) ในปรับสภาพวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน การเกิดปฏิกิริยาจะไม่เกิดทุกตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างพืช เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน เป็นสายโซ่โมเลกุลเรียงซ้อนกันและจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจนกลายเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) (เบญญาภา อ้างถึง กันตพัฒน์,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2558) รวมทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนหนึ่งไปกำจัดลิกนิน จึงทำให้การกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลไม่เกิดขึ้นในทุกตำแหน่ง จากการปรับสภาพพืชในขั้นที่สองด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ไม่เกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแถบการดูดกลืนของพืชก่อนปรับสภาพ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไม่มีปฏิกิริยาการแทนที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของฟางข้าว

รูปที่ 4.2 ข. พบว่า FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยหลังปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=O, C=C, C-O และ C-Cl ตรงตำแหน่งเลขคลื่น 3420, 2922, 1634, 1150-1019 และ 678 cm^{-1} ตามลำดับ ไม่เด่นชัดเท่ากับพืชก่อนปรับสภาพ เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน (ปรับสภาพด้วยด่าง) โซเดียม (Na+) เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในโครงสร้างของพืช นอกจากนั้นยังปรากฏว่ามีแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C=O ที่เลขคลื่น 1728 cm^{-1} หายไป และพบว่าแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชั่น C-O ที่เลขคลื่น 1162-1019 cm^{-1} มีความเด่นชัดลดลงจากปรับสภาพพืชในขั้นที่สองด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน จึงเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแถบการดูดกลืนของพืชก่อนปรับสภาพ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาการแทนที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของชานอ้อย

รูปที่ 4.2 ค. พบว่า FT-IR สเปกตรัมของผักตบชวาหลังปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H, C-H และ C-O ตรงตำแหน่งเลขคลื่น 3407, 2921, 1615, 1409 และ 1164-1060 cm^{-1} ตามลำดับ ไม่เด่นชัดเท่ากับพืชก่อนปรับสภาพ เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน (ปรับสภาพด้วยด่าง) โซเดียม (Na+) เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในโครงสร้างของพืช นอกจากนั้นยังปรากฏว่ามีแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน N-H ที่เลขคลื่น 1615 cm^{-1} และพบว่าแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชั่น C-O ที่เลขคลื่น 1164-1060 cm^{-1} มีความเด่นชัดลดลงจากปรับสภาพพืชในขั้นที่สองด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน จึงเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแถบการดูดกลืนของพืชก่อนปรับสภาพ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาการแทนที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของผักตบชวา

เมื่อนำพืชที่ได้หลังจากปรับสภาพด้วยด่างหรือวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ในโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อลดความเป็น Hydrophilic ในพืชให้น้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic.ให้กับพืชด้วยวิธีซิลิเลชันโดยปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน มาศึกษาหมู่ฟังชันก์ภายในพืชหลังจากทำปรับสภาพ ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.2

4.3 ศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของพืช ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

4.3.1 ฟางข้าว

จากการศึกษาความพรุนของพืชของฟางข้าวก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Eletron Microscopy : SEM) ที่กำลังขยาย

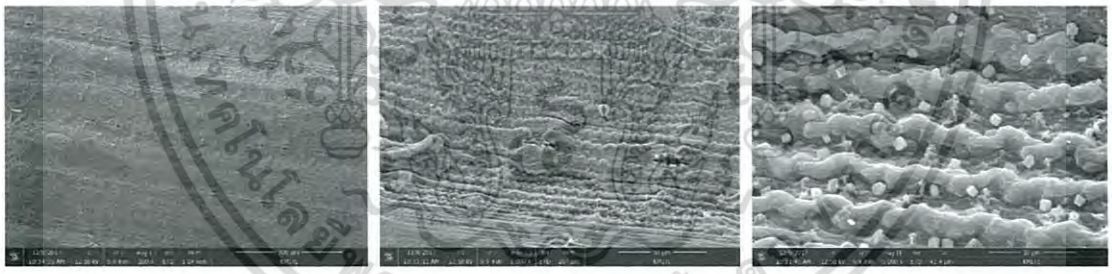
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200, 1000 และ 5000 เท่า ตามลำดับ เพื่อศึกษาพื้นที่ผิวของพืชก่อน และหลังทำการปรับสภาพ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมันของพืช ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.3

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นที่ของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่4.3 มีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระ บนผิวของพืชมีสิ่งสกปรกปกคลุมอยู่และมีลักษณะของตุ่มของ silicon bodies ปรากฏอยู่มากมาย ต่อมานำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปกำจัดองค์ประกอบอื่นๆที่เคลือบอยู่บนพืชและสิ่งสกปรก ทำลายองค์ประกอบโครงสร้างภายในพืช ทำให้รูพรุนเปิดออก จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ผลการทดลองเป็นดังรูปที่4.4



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของฟางข้าวหลังปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เมื่อทำการปรับสภาพทางเคมีทั้งสองขั้นตอนแล้ว (รูปที่4.4) พบว่าพื้นที่ผิวขรุขระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสิ่งสกปรกบนผิวของพืชลดน้อยลง แต่มีบางส่วนที่ถูกกำจัดไม่หมดจึงหลงเหลืออยู่ในรูพรุนของพืช สังเกตได้ว่าพื้นที่ผิวบนฟางข้าวมีความขรุขระและขนาดรูพรุนเด่นชัดมากกว่าพืชก่อนทำการปรับสภาพ ในการปรับสภาพฟางข้าวที่ด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน พบว่าพืชมีรูพรุนชัดเจนและเพิ่มใหญ่ขึ้น มีลักษณะขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ชานอ้อย

จากการศึกษาความพรุนของชานอ้อยก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Eletron Microscopy : SEM) ที่กำลังขยาย 200, 1000 และ 5000 เท่า ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดังรูปที่4.5

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า,ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นที่ของชานก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่4.5 มีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระและมีรูพรุนแต่ค่อนข้างเรียบแบน ต่อมานำชานอ้อยมาปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน

ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปกำจัดองค์ประกอบอื่นๆที่เคลือบอยู่บนพืชและทำลายองค์ประกอบโครงสร้างภายในพืช ทำให้รูพรุนเปิดออก จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ผลการทดลองเป็นดังรูปที่4.6

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของชานอ้อยหลังปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เมื่อทำการปรับสภาพทางเคมีทั้งสองขั้นตอนแล้ว (รูปที่4.6) สังเกตได้ว่าพื้นที่ผิวบนชานอ้อยมีความเปื่อยยุ่ยมากขึ้นกว่าก่อนที่จะทำการปรับสภาพ

4.3.3 ผักตบชวา

จากการศึกษาความพรุนของผักตบชวาก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Eletron Microscopy : SEM) ที่กำลังขยาย 200, 1000 และ 5000 เท่า ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดังรูปที่4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชผักตบชวาก่อนปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นที่ของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่4.7 มีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระและมีรูพรุนเล็กน้อย ค่อนข้างเรียบแบน ต่อมานำผักตบชวามาปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปกำจัดองค์ประกอบอื่นๆที่เคลือบอยู่บนพืชและทำลายองค์ประกอบโครงสร้างภายในพืช ทำให้รูพรุนเปิดออก จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ผลการทดลองเป็นดังรูปที่4.8

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นที่ผิวพืชของผักตบชวาหลังปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า

เมื่อทำการปรับสภาพทางเคมีทั้งสองขั้นตอนแล้ว (รูปที่4.8) พื้นที่ผิวของพืชจึงเพิ่มมาก สังเกตได้ว่าพื้นที่ผิวบนผักตบชวามีความขรุขระ และมีความเปื่อยยุ่ยมากกว่าพืชก่อนทำการปรับสภาพ

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพืชทั้งสามชนิดนั้นพบว่า เมื่อนำพืชทั้งสามชนิดไปทำการปรับสภาพแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสามชนิด และลักษณะทางกายภาพก็เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด โดยจะแสดงให้เห็นในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช ด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์(Thermogravimetric analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer: CTA)

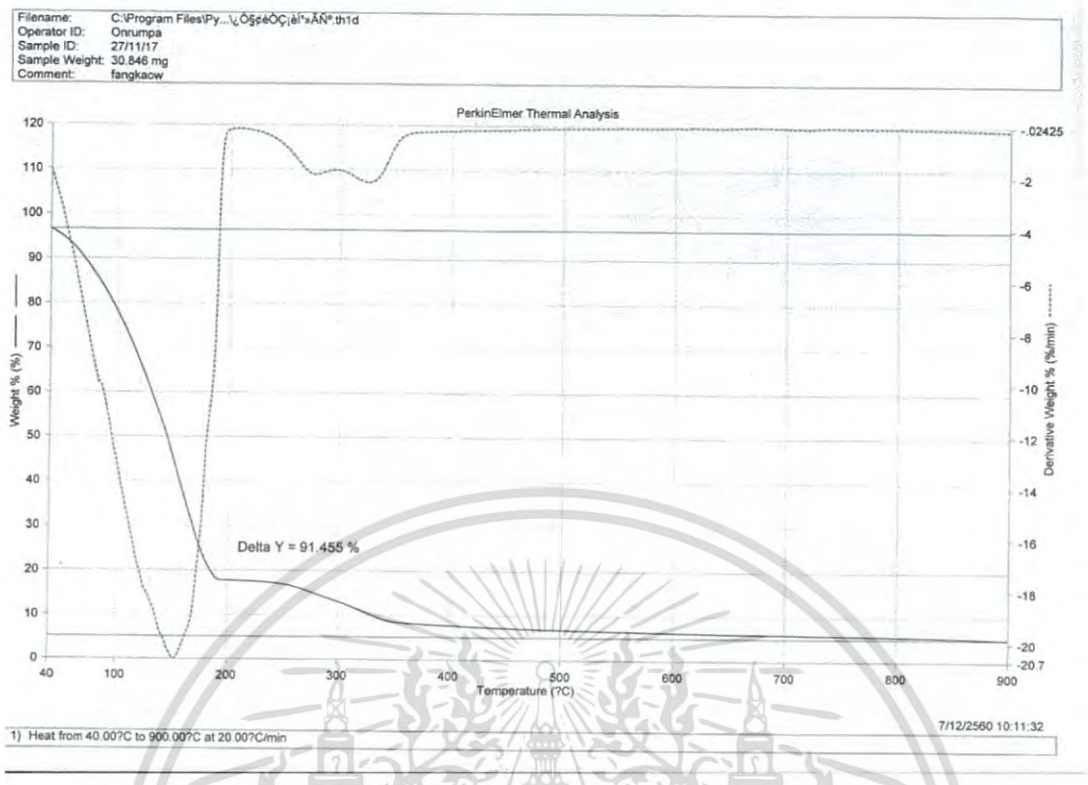
4.4.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของพืช

4.4.1.1 ฟางข้าว

การศึกษาการดูดซับน้ำของฟางข้าวก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำพืชมาแช่ในน้ำให้เกิดการอิ่มตัวอย่างยิ่งยวดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) เพื่อศึกษาคุณ สมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของพืช ที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับสภาพดังรูปที่ 4.9 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของพืช

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.9 น้ำหนักของฟางข้าวตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram) ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

ตารางที่ 4.1 การดูดซับน้ำของพืช

ชนิด	ปริมาณการดูดซับน้ำของพืช (mg/mg)	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้น/ลดลง (mg/mg)	ร้อยละการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้น
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	0.0934	0.0596	91.455
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	0.0338		96.731
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	0.0173	0.0186	98.304
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	0.0359		96.535
ผักตบก่อนปรับสภาพ	0.0204	0.0326	97.996
ผักตบหลังปรับสภาพ	0.0530		94.971

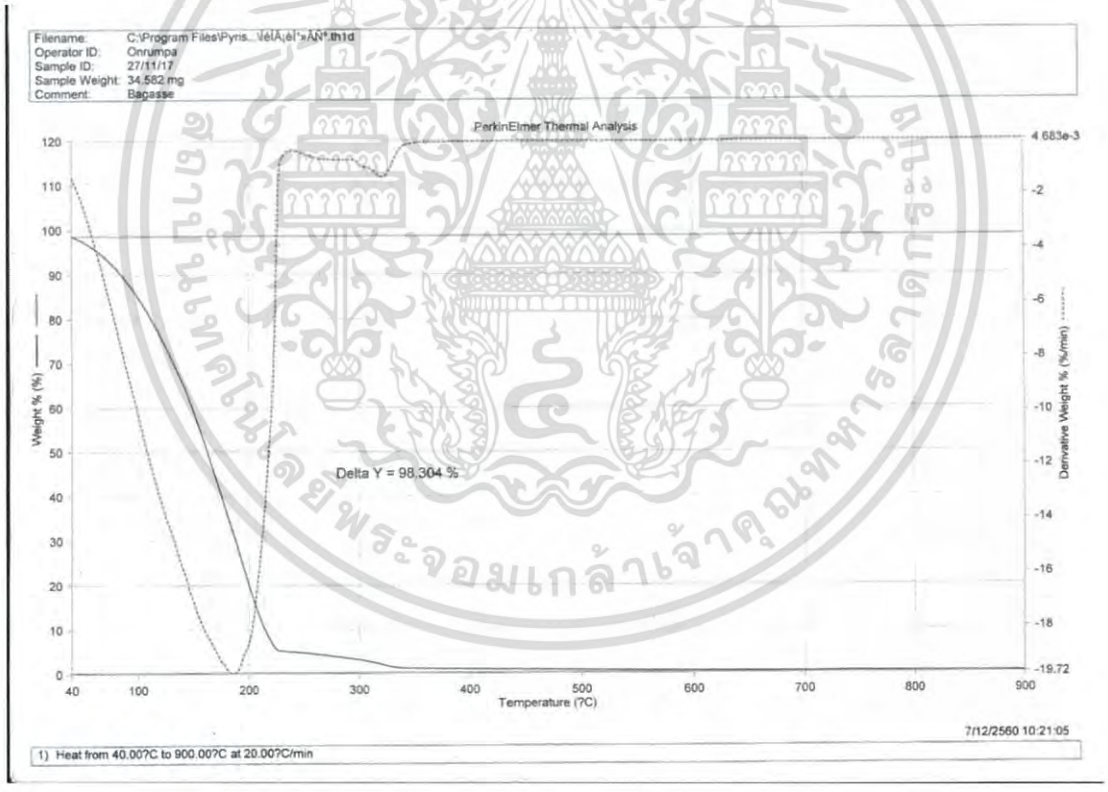
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของพืชก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ค) ได้ 0.0934, และ 0.0338 มิลลิกรัมน้ำต่อพืช 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ หรือลดลง 0.0596 มิลลิกรัม

คิดเป็นร้อยละ 96 แสดงให้เห็นว่าปรับสภาพทำให้พืชมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพจึงเหมาะที่จะนำไปเป็นวัสดุดูดซับสารไม่มีขั้ว อย่างเช่น น้ำมันและไขมันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) คือการปรับสภาพพืชทำให้หมู่ไฮดรอกซิลองค์ประกอบโครงสร้างที่สำคัญในพืชถูกทำลาย ลดความเป็น Hydrophilic และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ด้วยวิธีซิลิเลชัน จึงทำให้พืชดูดซับน้ำได้น้อยลง

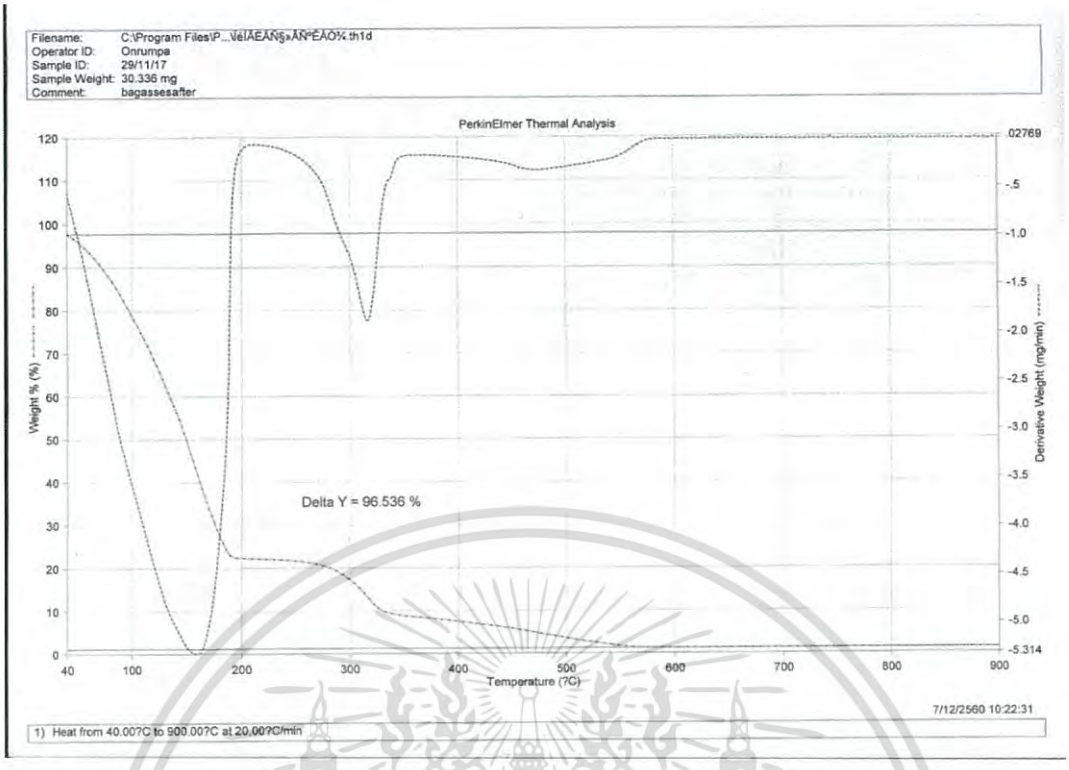
4.4.1.2 ชานอ้อย

การศึกษาการดูดซับน้ำของชานอ้อยก่อน และหลังปรับสภาพ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับฟางข้าว แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) รูปที่4.10 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของพืช



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.10 น้ำหนักของชานอ้อยตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram) ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของพืชก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ค) ได้ 0.0173, และ 0.0359 มิลลิกรัมน้ำต่อพืช 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ หรือลดลง 0.0186 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 96 แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพทำให้พืชมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพจึงไม่เหมาะที่จะนำไปเป็นวัสดุดูดซับสารไม่มีขั้ว อย่างเช่น น้ำมันและไขมัน ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) คือการปรับสภาพพืชทำให้หมู่ไฮดรอกซิล องค์ประกอบโครงสร้างที่สำคัญในพืชถูกทำลาย แต่ไม่เกิดการแทนที่ของหมู่ไซลิล (R-Si) ไม่ลดความเป็น Hydrophilic และไม่เพิ่มความเป็น Hydrophobic ด้วยวิธีซิลิเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 ผักตบชวา

การศึกษาการดูดซับน้ำของผักตบชวาก่อน และหลังปรับสภาพ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับฟางข้าว แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) รูปที่ 4.11 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของพืช

รูปที่ 4.11 น้ำหนักของผักตบชวาตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram) ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

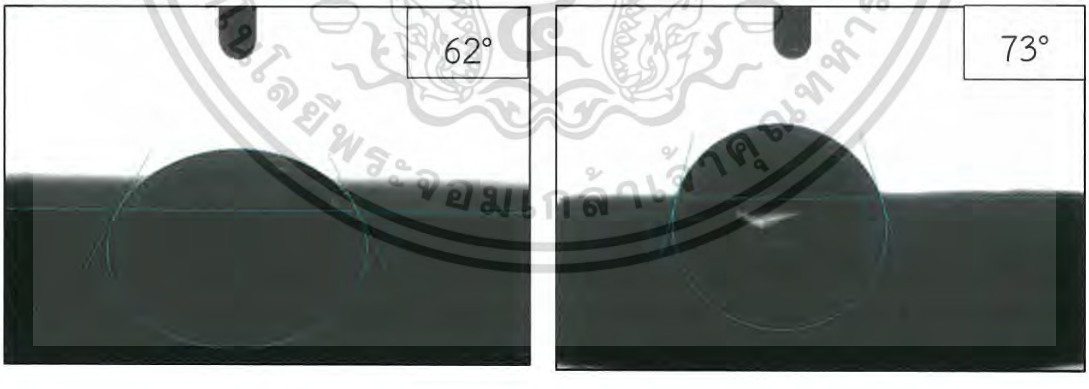
จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของพืชก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ค) ได้ 0.0204, และ 0.0530 มิลลิกรัมน้ำต่อพืช 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ หรือลดลง 0.0326 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 94 แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพทำให้พืชมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพจึงไม่เหมาะที่จะนำไปเป็นวัสดุดูดซับสารไม่มีขั้ว อย่างเช่น น้ำมันและไขมัน ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) คือการปรับสภาพพืชทำให้หมู่ไฮดรอกซิลองค์ประกอบโครงสร้างที่สำคัญในพืชถูกทำลาย แต่ไม่เกิดการแทนที่ของหมู่ไซลิล (R-Si) ไม่ลดความเป็น Hydrophilic และไม่เพิ่มความเป็น Hydrophobic ด้วยวิธีซิลิเลชัน จึงทำให้พืชดูดซับน้ำได้น้อยลง

4.4.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำหรือการเปียกของพืช

การวัดมุมสัมผัส (Contact angle, θ) เป็นการวัดมุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างหยดของของเหลว (น้ำ) บนพื้นผิวของของแข็ง ซึ่งลักษณะหยดของของเหลว (น้ำ) บนพื้นผิวของของแข็งเป็น Hydrophobic โดยมุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างของหยดของของเหลว (น้ำ) ที่ตำแหน่งจุดสัมผัสและพื้นผิวของของแข็ง เรียกว่า มุมสัมผัส (θ) หากพืชมีมุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้น หลังจากการปรับสภาพ โดยมีมุมสัมผัสมากกว่า 90° แสดงถึงความเป็น Hydrophobic เป็นผลดีเหมาะสมนำไปดูดซับสารไม่มีขั้ว จำพวก ไขมันและน้ำมัน เป็นต้นหรือพืชทำการทดลองโดยหยดน้ำลงบนพืช 5 ไมโครลิตร ทำการวัดมุมสัมผัสน้ำ (water contact angle) บนพืช

4.4.2.1 ฟางข้าว

การศึกษามุมสัมผัสน้ำของฟางข้าวก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการทำการวัดมุมสัมผัสน้ำ (water contact angle) บนพืช ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12



(ก) (ข)

รูปที่ 4.12 มุมสัมผัสน้ำของฟางข้าวก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

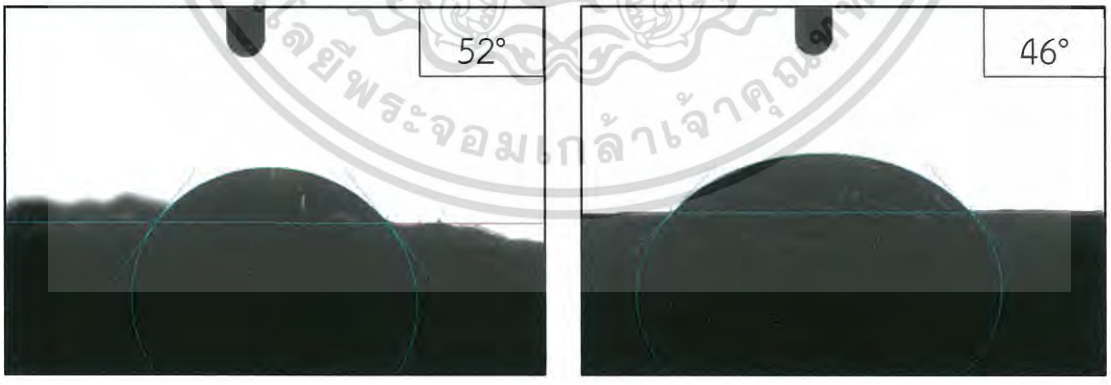
เมื่อหยดน้ำฟางข้าวก่อน และหลังปรับสภาพ ลักษณะของหยดน้ำบนพืชทั้งสองแตกต่างกัน ผลปรากฏในรูปที่ 4.12 มุมสัมผัส (เฉลี่ยด้านซ้ายและด้านขวา) ของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ เฉลี่ยประมาณ 61.65° และ 73.35° ตามลำดับ ดังตาราง

ตารางที่ 4.2 มุมสัมผัสน้ำโดยเฉลี่ยของพืชก่อนและหลังปรับสภาพ

ชนิดของพืช	ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสน้ำ (°)
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	61 ± 1.06
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	73 ± 1.34
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	52 ± 1.70
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	46 ± 1.34
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	103 ± 2.33
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	66 ± 1.13

จากตารางที่4.2 เดิมพืชก่อนปรับสภาพ ไม่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic อยู่ก่อนแล้ว เนื่องจากมีมุมสัมผัสน้ำที่น้อยกว่า 90° แต่หลังจากปรับสภาพ พืชมีมุมสัมผัสน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับน้ำโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ของพืชที่ลดน้อยลง เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชันและซิลิเลชัน หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic .ถูกกำจัดให้ลดน้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับพืชเพิ่มมากขึ้นด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ค่ามุมสัมผัสน้ำของพืชจึงเพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพ จึงมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic มากขึ้น

4.4.2.1 ชานอ้อย



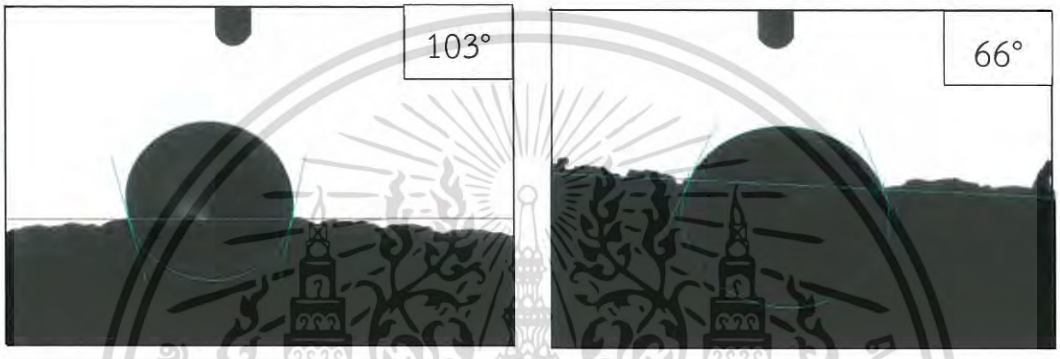
(ก) (ข)

รูปที่ 4.13 มุมสัมผัสน้ำของชานอ้อยก่อนและหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่4.2 เดิมพืชก่อนปรับสภาพ ไม่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic อยู่ก่อนแล้ว เนื่องจากมีมุมสัมผัสน้ำที่น้อยกว่า 90° แต่หลังจากปรับสภาพ พืชมีมุมสัมผัสน้ำลดน้อยขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับน้ำโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ของพืชที่ลดน้อยลง เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชันและซิลิเลชัน หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic .ถูกกำจัดให้ลดน้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับพืชเพิ่มมากขึ้นด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ค่ามุมสัมผัสน้ำของพืชจึงเพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพ จึงไม้มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic

4.4.2.2 ผักตบชวา



(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 มุมสัมผัสน้ำของผักตบชวาก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

จากตารางที่4.2 เดิมพืชก่อนปรับสภาพ มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic อยู่ก่อนแล้ว เนื่องจากมีมุมสัมผัสน้ำที่มากกว่า 90° แต่หลังจากปรับสภาพ พืชมีมุมสัมผัสน้ำลดน้อยขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับน้ำโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ของพืชที่ลดน้อยลง เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชันและซิลิเลชัน หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic .ถูกกำจัดให้ลดน้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับพืชเพิ่มมากขึ้นด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ค่ามุมสัมผัสน้ำของพืชจึงเพิ่มขึ้น พืชหลังปรับสภาพมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาความสามารถในการการดูดซับน้ำมันของพืช

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนปรับสภาพ และหลังปรับสภาพ โดยนำพืชดูดซับน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร หรือ 88.03 กรัมโดยประมาณเป็นเวลา 15 นาที นำไปผึ่งไว้อีก 10 นาที เพื่อกำจัดน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับบนพืช จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาน้ำมันที่ถูกดูดซับ ผลการทดลองดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช

ชนิดของพืช	ความสามารถในการดูดซับของพืช (กรัม/กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	4.3896 ± 0.07	9.9988
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	0.8193 ± 0.02	1.8672
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	2.4051 ± 0.18	5.5309
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	1.3173 ± 0.04	3.0226
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	3.0469 ± 0.02	6.9402
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	2.8988 ± 0.073	6.6067

พบว่า ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ จำนวน 2 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 4.3896 กรัม ดังตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช (แสดงในภาคผนวก ค) เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้ลดน้อยลงเป็น 0.8193 กรัม ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับการวิเคราะห์ลักษณะของพืชทั้งมุมสัมผัสน้ำของฟางข้าวหลังปรับสภาพ คือฟางข้าวต้องมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มมากขึ้น การดูดซับน้ำมันซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว หรือไม่ชอบน้ำ จึงควรเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่การดูดซับน้ำมันกลับลดน้อยลง และจากตารางที่ 4.3 ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ จำนวน 2 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 2.4051 กรัม เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้ลดลงเป็น 1.3173 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ FT-IR สเปกตรัมที่ไม่ปรากฏปรากฏหมู่ฟังก์ชัน $Si-CH_3$ และ Si-O-C ขึ้นภายหลังปรับสภาพ และผลการทดลองของ TGA ที่แสดงค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นของพืช รวมทั้งมุมสัมผัสน้ำบนเส้นใยที่ลดลงจากเดิม และจากตารางที่ 4.3 ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ จำนวน 2 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 3.0469 กรัม เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้นเป็น 2.8988 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ FT-IR สเปกตรัมที่ไม่ปรากฏปรากฏหมู่ฟังก์ชัน $Si-CH_3$ และ Si-O-C ขึ้นภายหลังปรับสภาพ และผลการทดลองของ TGA ที่แสดงค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นของพืช รวมทั้งมุมสัมผัสน้ำบนเส้นใยที่ลดลงจากเดิม

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับน้ำมันของฟางข้าว พบว่า ฟางข้าวก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้ดีกว่า สำหรับชานอ้อยนั้น ชานอ้อยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า และผักตบชวา พบว่า ผักตบชวาหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า เนื่องจากก่อนการปรับ

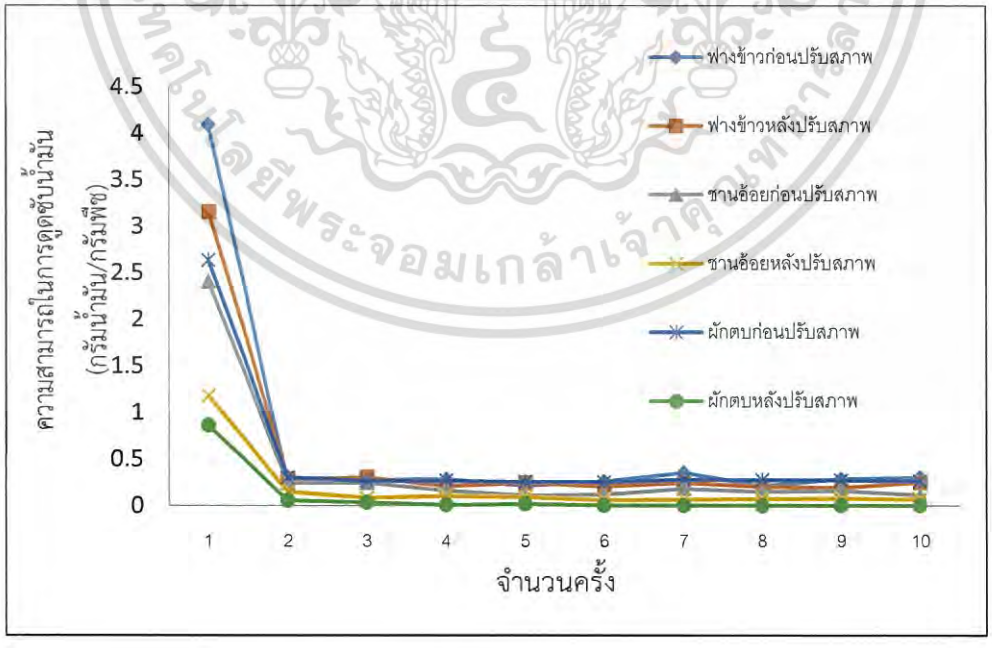
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพพืชมีลักษณะฟู แต่เมื่อทำการปรับสภาพ พืชมีลักษณะกรอบ แบน เป็นแผ่น ไม่ฟู ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับลดน้อยลง แม้พืชจะมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic มากขึ้นก็ตาม จากผลการศึกษาการดูดซับน้ำของฟางข้างลดน้อยลง และมุมสัมผัสน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่การดูดซับน้ำและมุมสัมผัสน้ำของชานอ้อยและผักตบชวาลดน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบพืชทั้งสามชนิดก่อน และหลังปรับสภาพ สังเกตเห็นได้ว่า ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ มีความสามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด รองมาเป็นผักตบชวาก่อนปรับสภาพ ผักตบชวาหลังปรับสภาพ ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ ชานอ้อยหลังปับสภาพ และฟางข้าวหลังปรับสภาพตามลำดับ ทำนายผลจากการคำนวณทางสถิติด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบด้วยวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference) เนื่องจากความแปรปรวนของกลุ่มประชากรในการคำนวณมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ไม่สามารถใช้การคำนวณด้วยวิธี One-Way Anova ได้ จึงทำการคำนวณทางสถิติด้วยวิธีนี้ พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 ชานอ้อยก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 และผักตบชวาก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05

4.6 การนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืชก่อนปรับสภาพ และหลังปรับสภาพ โดยนำพืชมาดูดซับน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปผึ่งไว้อีก 10 นาที หลังจากการดูดซับครั้งที่ 1 นำพืชไปทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมันออกจากพืช แล้วนำกลับไปดูดซับอีก ทำการคายซับแล้วนำกลับไปใช้เช่นนี้ เป็นจำนวน 10 ครั้ง

4.6.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช

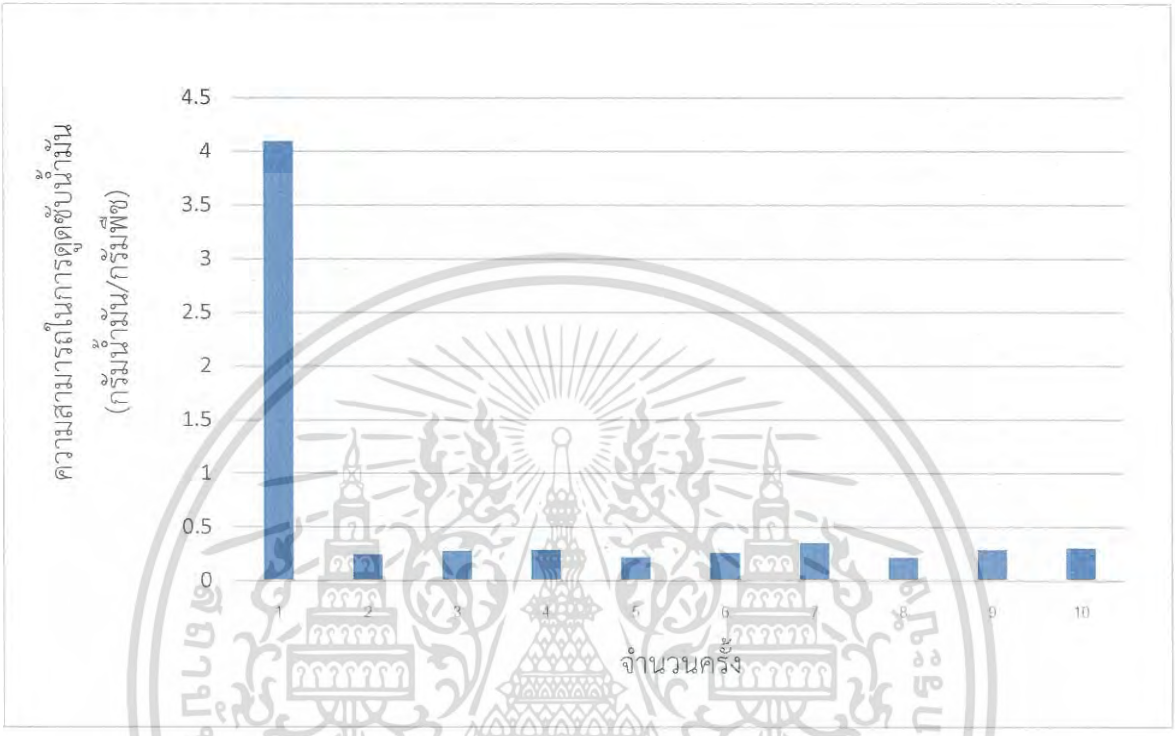


รูปที่ 4.15 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืชหลังจากทำการคายซับลดน้อยลง ทั้งพืชก่อน และหลังปรับสภาพ โดยฟางข้าวก่อนปรับสภาพ สามารถดูดซับน้ำมันครั้งที่ 1 และหลังคายซับทั้ง 10 ครั้ง ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับพืชทั้งห้าชนิด จากการคายซับน้ำมันของพืชก่อน และหลังปรับสภาพ ผลการทดลองดังนี้

4.6.1.1 ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ

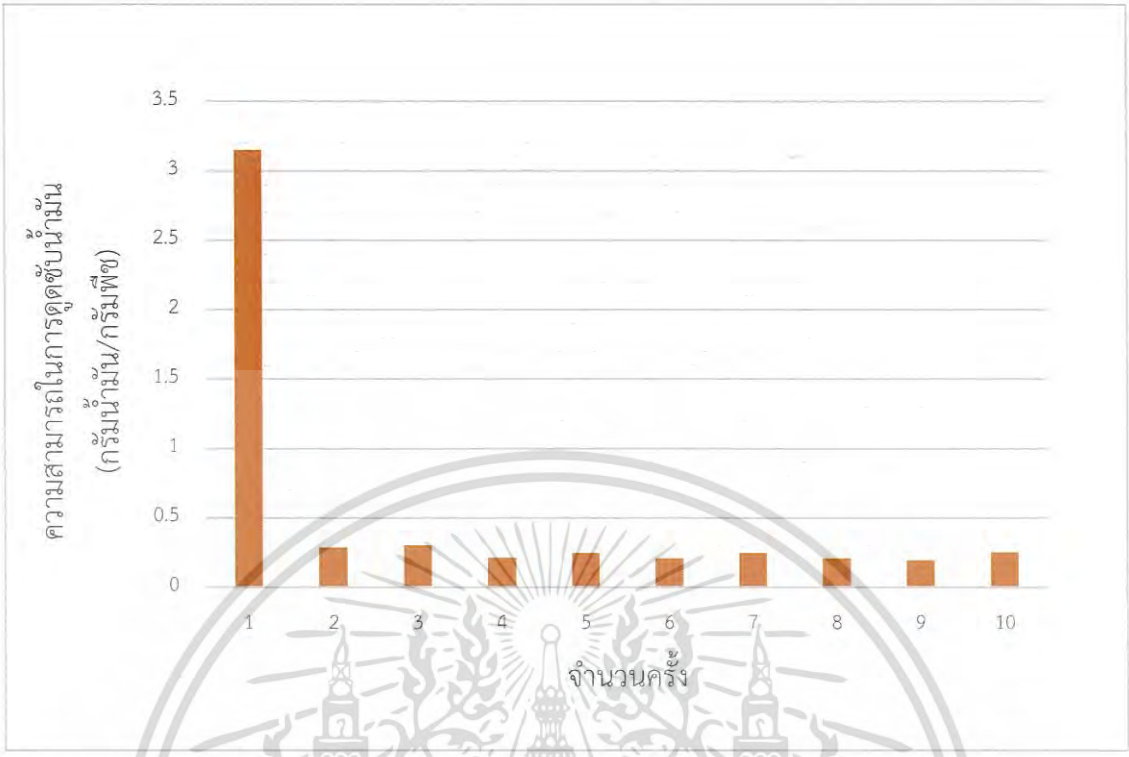


รูปที่ 4.16 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ

เห็นได้ว่าฟางข้าวก่อนปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 คือหลังการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง พืชมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 4.0916 และ 0.2425 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ หรือลดลงร้อยละประมาณ เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.2 ฟางข้าวหลังปรับสภาพ

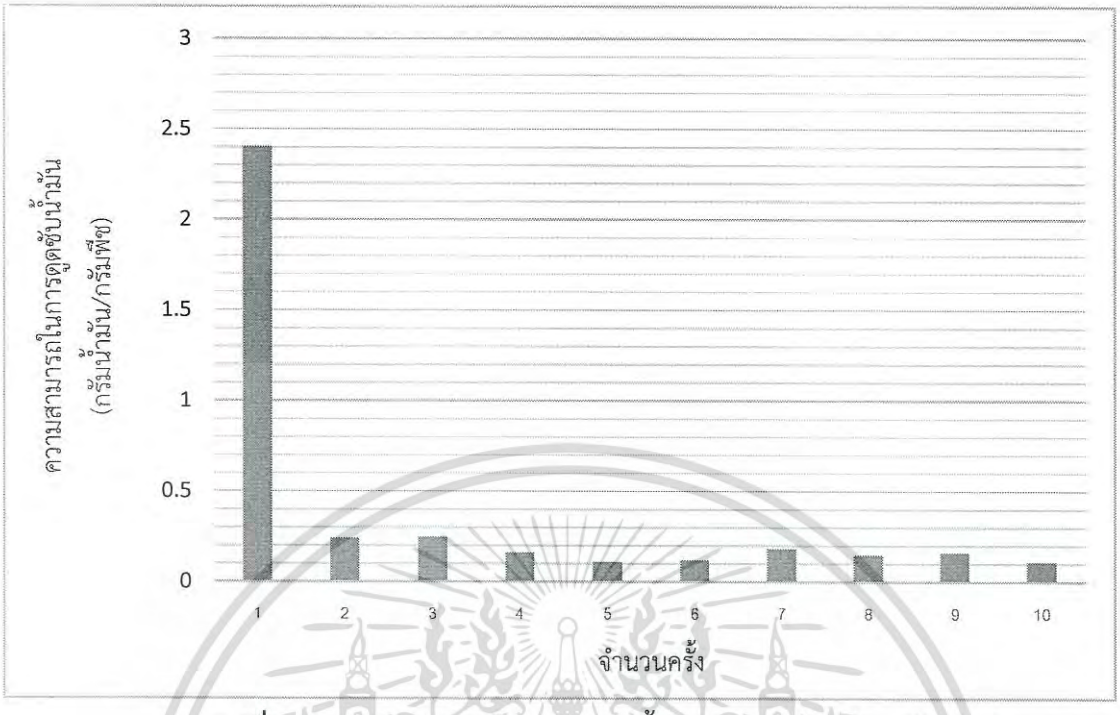


รูปที่ 4.17 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันฟางข้าวหลังปรับสภาพ

ฟางข้าวหลังปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ดังรูปที่ 4.17 เช่นเดียวกับฟางข้าวก่อนปรับสภาพ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าฟางข้าวก่อนปรับสภาพ คือในการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง ฟางข้าวหลังปรับสภาพมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ 3.1531 และ 0.2870 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ ลดลงร้อยละประมาณ เห็นได้ว่า เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับน้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง เพราะหลังทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมัน พืชถูกบีบด้วยแรงกด โดยที่พืชมีความเหนียวหรือหยืดหยุ่นน้อยลง เปราะแตกหักง่ายจากปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.3 ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ

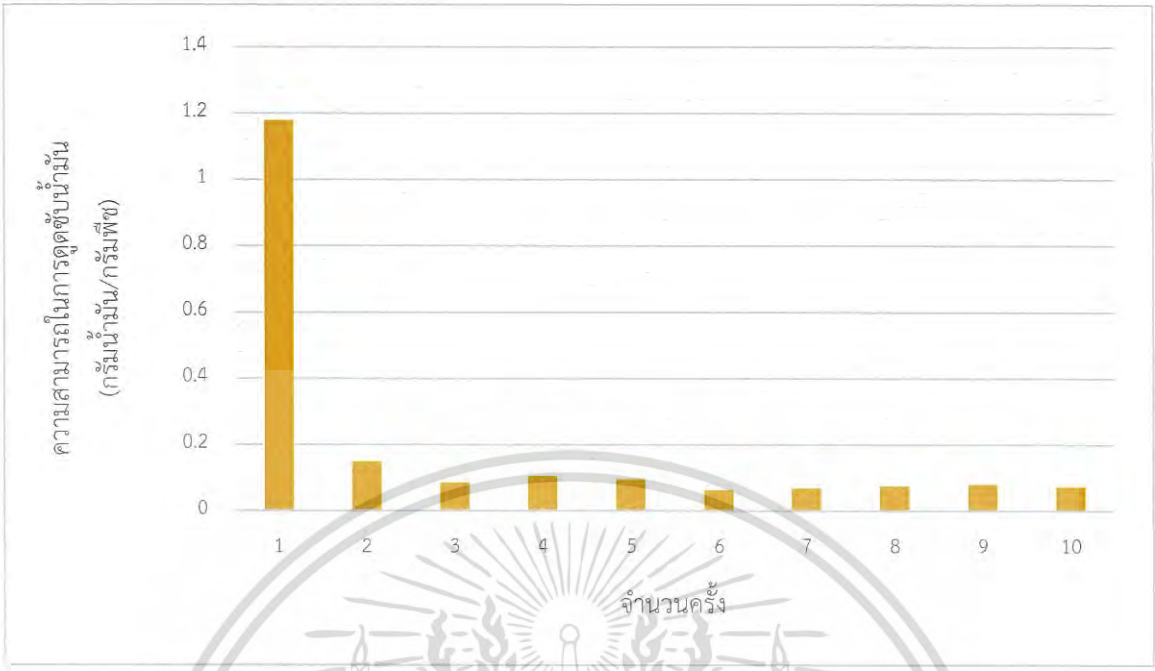


รูปที่ 4.18 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ

เห็นได้ว่า ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 คือหลังการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง พืชมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 2.4051 และ 0.2428 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ หรือลดลงร้อยละประมาณ เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.4 ชานอ้อยหลังปรับสภาพ

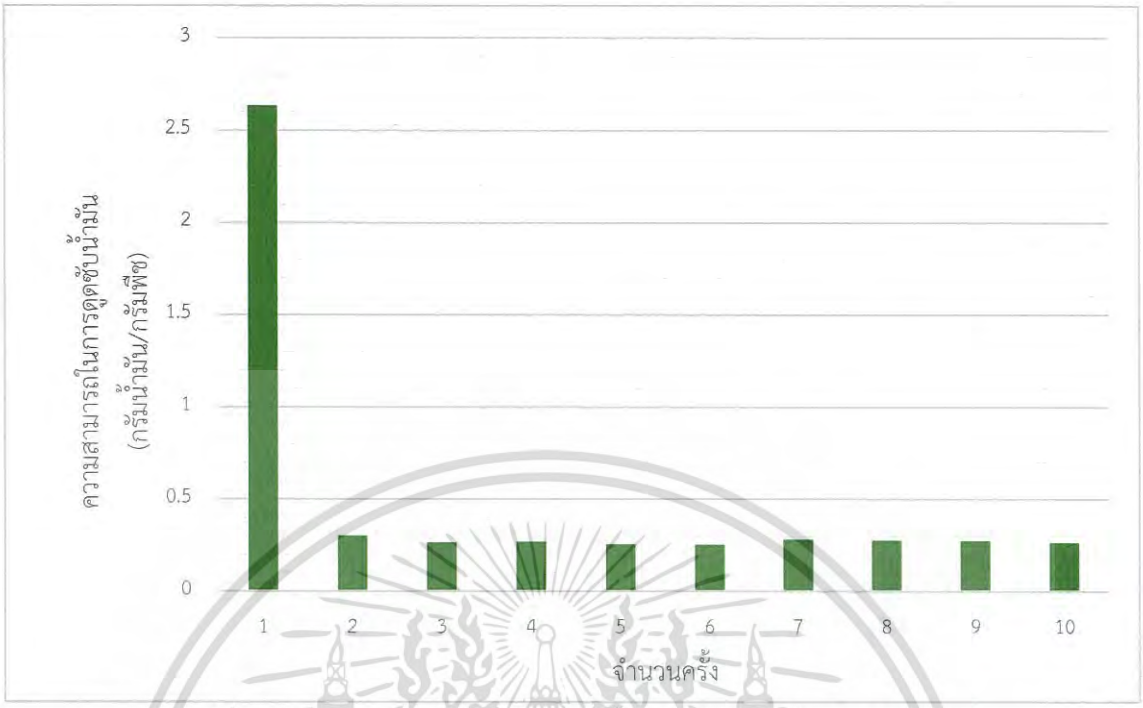


รูปที่ 4.19 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชานอ้อยหลังปรับสภาพ

ชานอ้อยหลังปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังในรูปที่ 4.19 เช่นเดียวกับชานอ้อยก่อนปรับสภาพ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าชานอ้อยก่อนปรับสภาพ คือในการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง ชานอ้อยหลังปรับสภาพมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ 1.1790 และ 0.1488 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ ลดลงร้อยละประมาณ เห็นได้ว่า เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้าเมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง เพราะหลังทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมัน พืชถูกบีบด้วยแรงกด โดยที่พืชมีความเหนียวหรือหยืดหยุ่นน้อยลง เปราะ แตกหักง่ายจากปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.5 ผักตบชวา

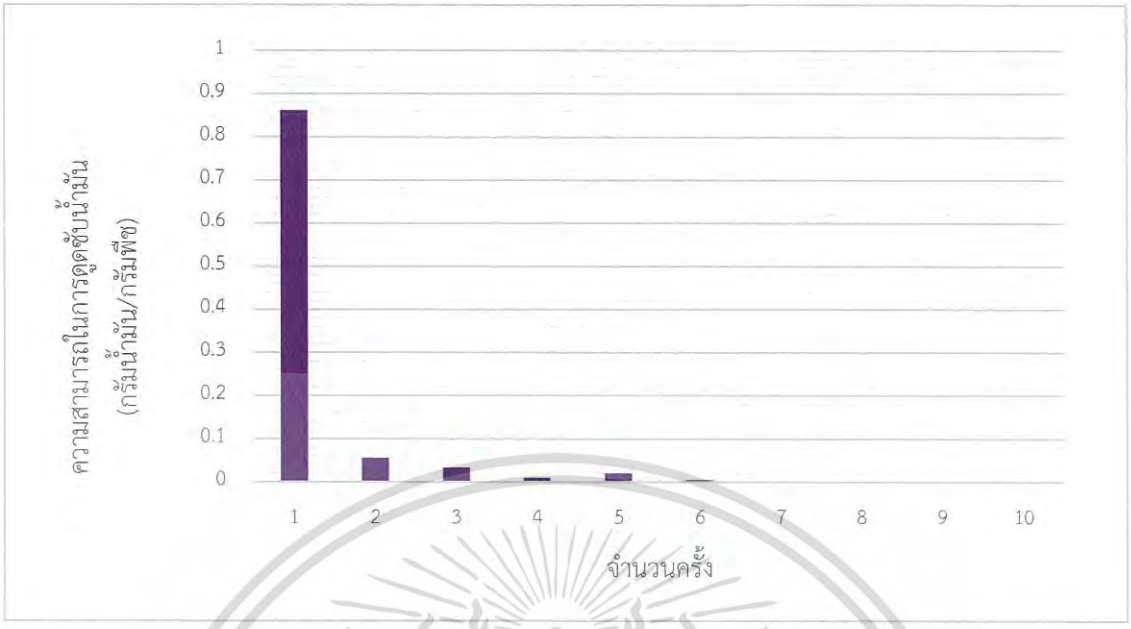


รูปที่ 4.20 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ

เห็นได้ว่า ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 คือหลังการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง พืชมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 2.6343 และ 0.3015 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ หรือลดลงร้อยละประมาณ เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.6 ผักตบชวาหลังปรับสภาพ



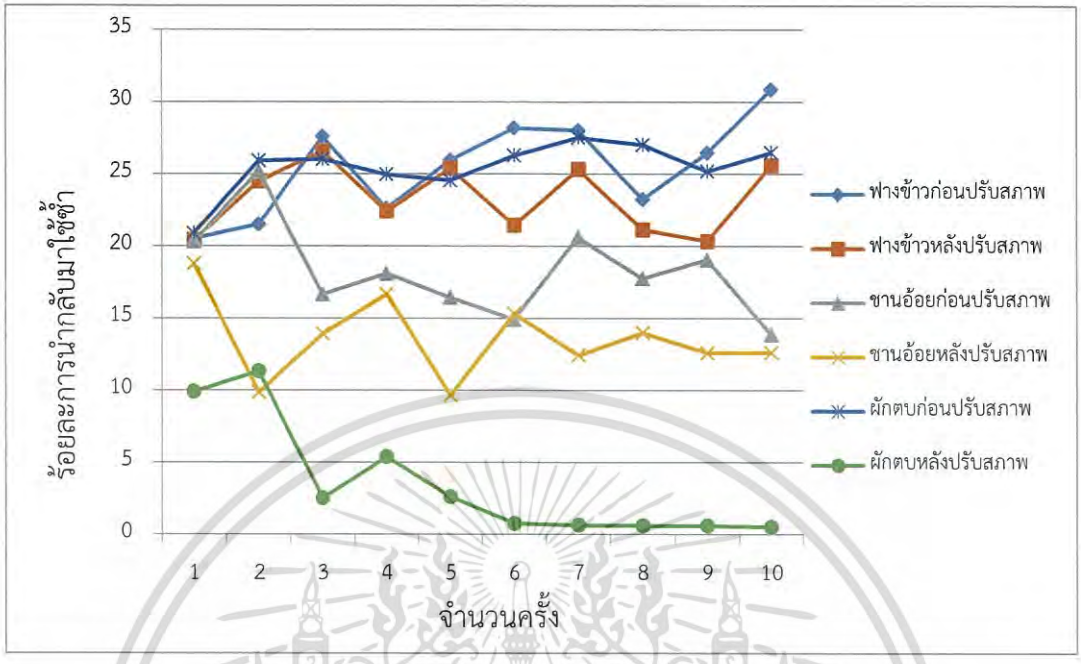
รูปที่ 4.21 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันผักตบชวาหลังปรับสภาพ

ผักตบชวาหลังปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังในรูปที่ 4.21 เช่นเดียวกับผักตบชวาก่อนปรับสภาพ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าผักตบชวาก่อนปรับสภาพ คือในการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง ผักตบชวาหลังปรับสภาพมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ 0.8616 และ 0.0562 กรัมน้ำมันต่อพืชสองกรัม ตามลำดับ ลดลงร้อยละประมาณ เห็นได้ว่า เนื่องจากหลังการคายซับ พืชมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้าเมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนพืชออกจากพืชไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง เพราะหลังทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมัน พืชถูกบีบด้วยแรงกด โดยที่พืชมีความเหนียวหรือยืดหยุ่นน้อยลง เปราะ แตกหักง่ายจากปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

เมื่อนำมาคำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืชทั้ง 6 ชนิด ได้ผลดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ

จากรูปที่ 4.22 เมื่อทำการคายซับของพืชทั้ง 10 ครั้ง พืชทุกชนิดไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ซ้ำเพราะร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำที่ไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาดูดซับน้ำมันซ้ำอีกในครั้งต่อไป เนื่องจากการกำจัดน้ำมันบนพืช หรือการคายซับน้ำมันด้วยเครื่องบีบน้ำมัน แรงกดจากการคายซับ ทำให้พืชอัดกันเป็นแผ่นมากขึ้น พื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมันลดน้อยลง จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลง ส่งผลให้ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำมีแนวโน้มลดน้อยลง

4.7 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์

ทำการทดลองโดยการเก็บน้ำเสียจริงในโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ที่ปล่อยออกจากท่อน้ำทิ้งรวมมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำมันและไขมัน พบว่ามีปริมาณอยู่ 4047 (0.4047 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) จากนั้นทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อนำพืชดูดซับน้ำมัน โดยแช่เป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองแบบลดความดัน 10 นาที จากนั้นเอาน้ำที่ผ่านการกรองไปสกัดหาค่าปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลืออยู่ ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์

ชนิดของพืช	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมัน (g/100ml)	การคำนวณน้ำมันจากชุดควบคุม (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	2.0021	0.4063	0.1741	0.1548	38.1043
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	2.0068	0.4054	0.1737	0.1628	40.1670
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	2.0094	0.4082	0.1749	0.1671	40.9449
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	2.0006	0.4097	0.1756	0.1619	39.7071
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	2.002	0.408	0.1749	0.1619	39.6694
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	2.0049	0.4077	0.1747	0.1615	39.6180

จากตารางที่ 4.4 พบว่าชานอ้อยก่อนปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันได้ดีที่สุด ไม่สอดคล้องกับการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยก่อนปรับสภาพที่สามารถดูดซับน้ำมันในพืชได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพืชอีกทั้งห้าตัวอย่าง เนื่องจากจากการทดลองความสามารถในการดูดซับน้ำมันฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากที่สุด จากการคำนวณทางสถิติด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference) พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 ชานอ้อยก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และผักตบชวาก่อนปรับและหลังปรับ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน

ทำการทดลองโดยการเก็บน้ำเสียจริงในโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ที่ปล่อยออกจากท่อน้ำทิ้งรวม มาวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำมันและไขมัน พบว่ามีปริมาณ 4047 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.4047 กรัมต่อ 100 มิลิลิตร) จากนั้นทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อนำพืชดูดซับน้ำมัน โดยแช่พืชเป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองแบบลดความดัน 10 นาที จากนั้นเอาน้ำที่ผ่านการกรองไปสกัดหาค่าปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลืออยู่ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน

ชนิดของพืช	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมัน (g/100ml)	การคำนวณน้ำมันจากชุดควบคุม (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	2.0125	0.4049	0.0631	0.0402	9.9091
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	2.0101	0.4084	0.0637	0.0536	13.1164
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	2.0276	0.4071	0.0635	0.0506	12.4207
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	2.0103	0.4053	0.0632	0.0435	10.7289
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	2.0109	0.4055	0.0632	0.0336	8.2881
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	2.0108	0.4057	0.0632	0.0542	13.3711

จากตารางที่ 4.5 พบว่าผักตบชวาหลังปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันได้ดีที่สุด ไม่สอดคล้องกับการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาก่อนปรับสภาพที่สามารถดูดซับน้ำมันในพืชได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพืชอีกทั้งห้าตัวอย่าง เนื่องจากจากการทดลองความสามารถในการดูดซับน้ำมันฟางข้าวก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากที่สุดและการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ชานอ้อยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด จากการคำนวณทางสถิติด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวก่อนปรับและหลังปรับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ชานอ้อยก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 และผักตบชวาก่อนปรับและหลังปรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองศึกษาพืชก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์และไตรเมทิลคลอโรไซเลนของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า

1.จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าฟางข้าวเป็นพืชชนิดเดียวที่ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันตามทฤษฎี

2.จากการศึกษาการดูดซับน้ำของพืชด้วยเครื่อง TGA พบว่าเมื่อนำฟางข้าวไปปรับสภาพแล้วมีปริมาณการดูดซับน้ำลดลง 0.0596 ซึ่งแสดงว่าหลังการทำการฟางข้าวมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น

3.จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพืชด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่า พื้นทั้งสามชนิดมีพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงโดยเห็นได้อย่างชัดเจน อีกทั้งลักษณะทางกายภาพภายนอกก็แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างชดเจนเช่นกัน โดยจะแสดงให้เห็นในภาคผนวก ข

4.จากการศึกษามุมสัมผัสน้ำของพืชพบว่าผักตบชวามีมุมสัมผัสน้ำมากที่สุดโดยมีมุมเท่ากับ 103 องศาซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่ชอบน้ำ

5. พืชทั้งสามชนิดก่อนปรับสภาพสามารถนั้นดูดซับน้ำมันปาล์มได้มากกว่าพืชหลังปรับสภาพ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพืชทั้งสามชนิดนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำมาปรับสภาพ เนื่องจากปรับสภาพแล้วทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันนั้นลดลง โดยฟางข้าวก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันปาล์มได้มากที่สุดโดยมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันร้อยละ 9.9988

6.จากการศึกษาการดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า ชานอ้อยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 40.9449

7.จากการศึกษาการดูดซับน้ำมันของพืชในน้ำเสียสังเคราะห์รูปอิมัลชันพบว่า ผักตบชวาหลังสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์รูปอิมัลชันได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 13.3711

8. ฟางข้าวหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชันได้ดีกว่าก่อนปรับสภาพเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวหลังปรับสภาพนั้นมีความกรอบและแตกหักง่าย เมื่อเจอกับน้ำที่ละลายอยู่กับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ทำให้เกิดความอ่อนตัวมากขึ้นจึงส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชันได้ดีกว่าฟางข้าวหลังปรับสภาพ

9. ชานอ้อยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันปาล์มน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชันได้มากกว่าหลังปรับสภาพเนื่องจากลักษะทางกายภาพของชานอ้อยก่อนปรับสภาพมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะคล้ายกับฟองน้ำทำให้สามารถดูดซับน้ำมันที่ละลายอยู่กับน้ำได้มากกว่าชานอ้อยหลังปรับสภาพที่มีลักษณะกรอบและลีบอีกทั้งยังแตกหักง่าย

10. ผักตบหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชันได้ดีได้มากกว่าก่อนปรับซึ่งมีเหตุผลเดียวกันกับฟางข้าวคือลักษณะทางกายภาพ

11.เมื่อศึกษาการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืชพบว่า พืชทั้งสามชนิดไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ซ้ำเนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลงมากกว่าร้อยละ 50

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปรับการสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน โดยใช้สารและตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับให้มากขึ้น

2.ควรมีการศึกษาพืชชนิดอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อหาพืชที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดน้ำมัน

3.ควรเปลี่ยนเครื่องบีบน้ำมันที่มีประสิทธิภาพแรงกดที่มีมาตรฐานแรงกดเท่ากันทุกครั้ง

4.ควรมีการศึกษาการขึ้นรูปเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลดน้ำหนักให้น้อยลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2555. “โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์.” รายงานฉบับสุดท้าย. : 5-1-5-3

กุลธิดา สะอาด. 2557. “ประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

กฤษณ์ และศิริพร. 2545. “การกำจัดคราบน้ำมันโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล

ชลัท ศิลปสุนทร. 2553. “อิทธิพลของการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยสับปะรดด้วยเอนไซม์ต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมพอสิคาร์บอเนตและเส้นใยสับปะรด” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ,มหาวิทยาลัยศิลปากร

ณรันตรี ชินณะ. 2560. **ข้าว.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2560). Available : http://pirun.kps.ku.ac.th/~b5620101096/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B28.html

ธนาคารสมอง. 2560. **อ้อย.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธันวาคม 2560). Available : http://www.brainbankkan.org/15757909/%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2

ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี. 2545. “การกำจัดน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ของสถานีบริการน้ำมันโดยใช้วัสดุจากพืชท้องถิ่นเป็นตัวดูดซับ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บดีศร มั่นเกษตรกิจ. 2547. “การใช้วัสดุดูดซับทางธรรมชาติในการกำจัดคราบน้ำมัน”วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล

ปิยะนุช เปียคง. 2557. “การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มเปล่า” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2560. **น้ำมันและไขมัน**. [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2560). Available : https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic8/fat.html

มหาวิทยาลัยบูรพา. 2559. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด** (SEM). [Online].]. (เข้าถึง เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2560). Available : http://www.microscopic.center.sci.buu.ac.th/service- SEM.html.

รัชพล พะวงศ์รัตน์. 2554. "การปรับสภาพผักตบชวา (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) และ จอก (Pistia stratiotes L.) ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ร่วมกับด่าง และกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เพื่อการผลิตเอทานอล" *รวมเล่มผลงานสนับสนุนทุนวิจัย*. : 13-14

ศิริกานต์ สัตถาวิชยพิชญ์. 2558. "เทคโนโลยีการกลั่นน้ำมันปาล์มบริโภค." *M.T.E.C.* เมษายน-มิถุนายน 2558. : 14

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559. **การแปรรูปปาล์มน้ำมัน**. [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2560). Available : http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical /oil% 20palm%20processing.html.

สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2540. **ผักพื้นบ้าน: ความหมายและภูมิปัญญาของสามัญชนไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหิดล. 2012. **เซลลูโลส.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2560). Available : http://www.il.mahidol.ac.th/th/index.php/2012-09-11-07-32-25/2012-09-12-07-17-23/21-2012-09-17-07-14-47.html

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2559. **เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน**. [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2560). Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html.

สถาบันวิจัยและพัฒนาที่สูง. 2553. **ข้าว,ข้าวไร่,ข้าวจ้าว.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2560). Available : https://eherb.hrdi.or.th/search_result_details.php?herbariumID=964&name=%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์. 2559 **เอกสารประกอบการสอน วิชาการวางแผนการทดลอง** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เส้นทางเศรษฐีออนไลน์. 2560. **ผู้ใหญ่บ้านที่นครสวรรค์ ปลูกอ้อย 400 ไร่ ส่งขายโรงงานน้ำตาลมิตรผลปีละครั้ง รายได้เกือบ 10 ล้าน.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2560). Available : https://www.sentangsedtee.com/career-channel/article_32960

อดิศักดิ์ เหล่าพิมพ์. 2016. **ฟางข้าว สิ่งมีค่าที่หลายคนมองข้าม.** [Online].]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2560). Available : https://www.organicfarmthailand.com/straw-manure-compost

Dan Peng, Zhoulin Lan, Chuling Guo, Chen Yang, Zhi Dang 2013. "Application of cellulose for the modification of corn stalk: Leading to oil sorption." **Bioresource Tecnology.** xxx : xxx-xxx

Jintao Wang, Yian Zheng, Aiqin Wang. 2012. "Effect kapok fiber treated with various solvents on oil absorbency." **Industial Crops and Prpducts.** 40 : 178-184

M. Husseien, A.A. Amer, Azza El-Maghraby, Neama Hamedallah. 2009. "A comprehensive characterization of corn stalk and study of carbonized corn stalk in dye and gas oil sorption." **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.** 86 : 360-363

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1.วิธีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ลักษณะของพืช

1.1 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared : FT-IR) หลักการเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง FT-IR เป็นวิธีทางสเปคโตรสโคปีที่ใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสาร โดยใช้การดูดกลืนแสงของโมเลกุลของสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีอินฟราเรด (Infared, IR) ที่มีความยาวคลื่น (λ) 0.8-200 μm ซึ่งเป็นรังสีที่มีเลขคลื่นหรือจำนวนคลื่น (Wave number,) 12500-50 cm^{-1} เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงอินฟราเรดแล้ว พันธะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน โดยโมเลกุลแต่ละตัวนั้นจะมีการดูดกลืนแสงในแต่ละช่วงคลื่นที่ต่างกัน

ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR

รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR

(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559)

การเตรียมสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เราสามารถเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย และการอัดเม็ด ส่วนของเหลวก็สามารถเตรียมได้ทั้งในสภาพของสารบริสุทธิ์ และสารละลาย จากการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยจะใช้วิธีการบดผสมพืชตัวอย่าง ด้วยการนำพืชประมาณ 2-3 มิลลิกรัม ผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) หรือ เฮไลด์ตัวอื่นที่อบแห้ง จำนวน 0.2-0.3 กรัม บดให้เข้ากันแล้วเทใส่ลงในแม่พิมพ์ อัดให้แน่นด้วยความดัน 104 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 2 นาทีจะได้แผ่น KBr ที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ (KBr disc) มีลักษณะบางและโปร่งใส ถอดออกจากแม่พิมพ์ด้วยเครื่องมือสำหรับถอดแผ่น KBr ข้อเสียของ วิธีนี้คือ แผ่น KBr เปราะ แตกง่าย และสามารถดูดความชื้นได้ ซึ่งทำให้พีคหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ของน้ำอาจรบกวนการวิเคราะห์ได้

วิธีการใช้เครื่อง FT-IR รุ่น Spectrum Gx

เครื่อง FT-IR จะต้องเปิดเครื่องอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะปรากฏไฟสีเขียวสว่างที่ Power On และ Laser On ที่แผงหน้าปัดของเครื่อง การปฏิบัติงานกับเครื่องสามารถทำได้ดังนี้

1. เปิดเครื่อง UPS, เครื่อง printer และเครื่อง Computer ใช้ระบบปฏิบัติการ Window 98 ตามลำดับ

2. เข้าโปรแกรมควบคุมการ Run คือ Spectrum

3. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมควบคุมจะปรากฏหน้าจอขึ้น Please enter your login details ให้คลิ๊ก OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คลิ๊กแถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Background เครื่องจะขึ้นว่า Instrument Initialization is require Initailize? ให้คลิ๊ก Yes แล้วรอจนกระทั่งหน้าต่าง Scan Background ปรากฏออกมา (ห้ามกดที่ Halt เด็ดขาด เพราะเป็นการสั่งหยุด (stop))

5. เมื่อหน้าต่าง Scan Background ปรากฏออกมา ให้ตั้งสัญญาณที่จะ Scan เป็น Single Beam (เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ) พร้อมทั้งตั้งชื่อไฟล์ (File) ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าในพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆ ได้แก่

- Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น 4000-400 cm^{-1}
- number of Scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6
- Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4

เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้วให้ตรวจสอบดูภายในช่องที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample) ต้องไม่มีสารตัวอย่างหรือสิ่งใด ๆ วางอยู่ ให้คลิ๊กที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Background การ Scan Background เป็นการ Scan เพื่อที่จะวัดการดูดกลืนแสง IR ขององค์ประกอบของก๊าซต่างๆและไอน้ำในส่วนที่แสงเดินผ่าน 6. ให้ Calibration เครื่อง ก่อนโดยใช้ฟิล์ม Polystyrene เป็น Standard โดยใส่ลงไปในช่อง Sample Compament ปิดฝาเครื่อง FT-IR ให้เรียบร้อย แล้วคลิ๊กที่แถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Sample หน้าต่าง Scan Sample ปรากฏออกมา ให้ตั้งค่าสัญญาณที่จะ Scan เป็น Ratio (เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ) คือเป็นการหักค่า Background ออก พร้อมทั้งตั้งชื่อไฟล์ (File) ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าในพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆ ได้แก่

- Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น 4000-400 cm^{-1}
- number of Scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6
- Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4

เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบดูภายในช่องที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample) ต้องไม่มีสารตัวอย่างหรือสิ่งใด ๆ วางอยู่ ให้กดที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Sample

7. เตรียมสารตัวอย่างที่ต้องการจะวัดจากวิธีการเตรียมตัวอย่างข้างต้น แล้วใส่สารตัวอย่างลงในช่องใส่สารตัวอย่าง (Sample)

8. คลิ๊กแถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Sample เครื่องจะทำการ scan ดังที่ตั้งค่าไว้ จากนั้นเครื่องจะปรากฏ spectrum ออกมา

9. ถ้าต้องการให้แสดงตัวเลขเพิ่มในยอดพีค (Peak) อื่น กดที่ V-Cursr ปรากฏเส้นสีเขียวยาวแนวตั้ง เลื่อนไปในตำแหน่งยอดพีค (Peak) ที่ต้องการแล้ว double click ตัวเลขแสดงตรงยอดพีค (Peak)

10. ถ้าต้องการปรับเปลี่ยนแกน X แกนY กด Format เติมตัวเลขตามที่ต้องการ คลิ๊ก OK ในกรณีที่ไม่สามารถเปลี่ยนตัวเลขใน top กับ bottom ได้ ให้ไปที่ View แล้วคลิ๊กเครื่องหมายถูกที่หน้า Overley แล้วกลับไปใช้คำสั่ง Format ก็จะสามารถเติมตัวเลขใหม่ได้

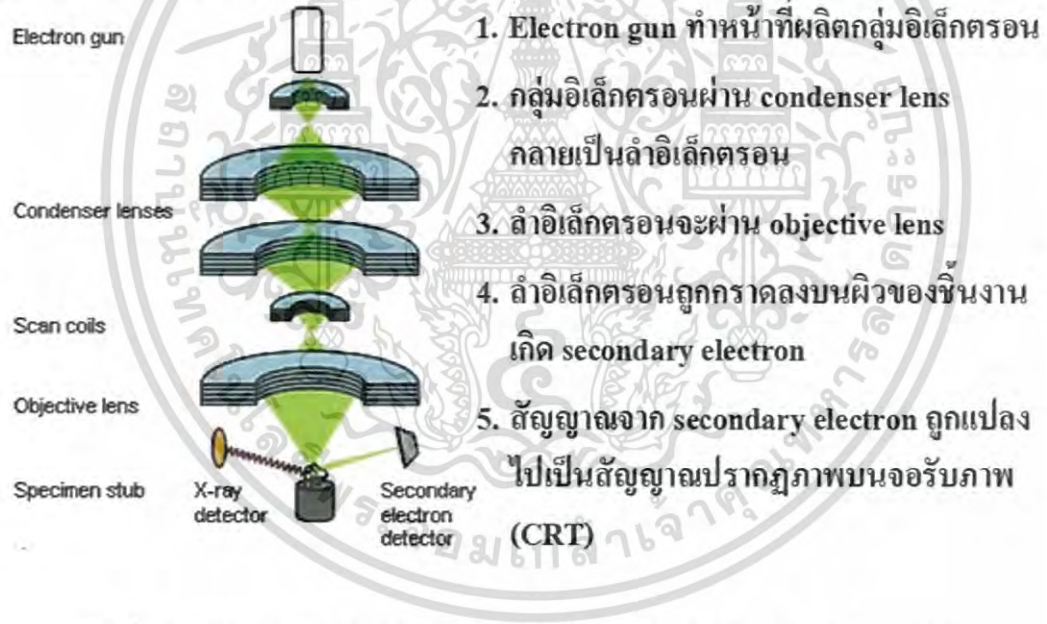
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ต้องการพิมพ์ (Print) เลือกแถบ File -> Print เครื่องจะฟ้องติดตั้งตลับหมึกไม่ถูกต้อง ไม่ต้องกดหรือกระทำการใด ๆ ปล่อยให้เครื่องพิมพ์งานต่อไป

12. เมื่อเสร็จสิ้นการวัดแล้ว ให้นำตัวอย่างออกจากช่อง Sample Compament ของเครื่อง แล้วปิดหน้าต่าง Computer แต่ละหน้า และ Shut Down ปิดเครื่อง Print และเครื่อง UPS ไม่ต้องปิดเครื่อง FT-IR

1.2 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) หลักการเกิดจากการที่ Primary electron วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น back-scatter electron รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ secondary electron เป็นต้น และในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน secondary electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กตรอน (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพ (Cathode ray tube) เพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้โดยภาพที่ออกมานั้น จะมีลักษณะ 3 มิติ จากนั้นจะบันทึกภาพลง Photographi

ส่วนประกอบของเครื่อง SEM



รูปที่ ก.2 หลักการและส่วนประกอบของเครื่อง SEM (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559)

1.3 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer : TGA)

หลักการ TGA เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal Analysis, TA) นำมาใช้ประโยชน์มากโดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน (thermal stability) และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ TGA Thermogram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์ทดสอบมีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทาง kinetics เช่น ปฏิกิริยา decomposition, evaporization และ dehydration

2. ใช้ในการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ในของผสม ดังต่อไปนี้

2.1 ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของ plasticizers, antioxidants หรือ organic accelerations

2.2 ใช้ในการวิเคราะห์ polymer blends

2.3 ใช้วิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนแบล็ค (carbon black) และตัวเติมอนินทรีย์ (inorganic fillers)

ส่วนประกอบของเครื่อง TGA

1. ส่วนของตัวเครื่อง TGA (the TGA unit itself) ประกอบด้วย

1.1 Thermal system หรือ Furnance system เป็นระบบที่ให้ความร้อนกับสาร ตัวอย่าง โดยอาศัยลวด Platinum ที่ทนต่อความร้อน (Platinum resistance wire heating element) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (ambient) ถึง 1200°C อัตราการให้ความร้อน (heating rate) และอุณหภูมิของเตา (furnance) จะถูกควบคุมโดยส่วน Temperature programming

1.2 Sample pan คือภาชนะใส่สารตัวอย่างทำด้วย Platinum ช่วงน้ำหนักใช้ได้ตั้งแต่ 0.02-500 mg full scale

1.3 Thermocouple คือ เครื่องตรวจวัดความร้อนในเครื่อง TGA มี thermocouple 2 อัน ดังนี้

- Control Thermocouple ทำด้วยลวด Platinel II. อยู่ในเตาจะเป็นตัววัดอุณหภูมิในเตา เพื่อให้เป็นตามที่ตั้งโปรแกรมไว้

- Sample Thermocouple ทำด้วยลวด Chromel-Alumel อยู่ชิดกับสารตัวอย่าง จะวัดอุณหภูมิของสารตัวอย่างขณะได้รับความร้อนและปรากฏผลที่ recorder หรือค่าอุณหภูมิที่อยู่บนแกน y ของกราฟ TGA

1.4 Balance system หรือ gravimetric part คือ เครื่องชั่งน้ำหนักซึ่งอาจจัดว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่อง TGA ได้ ในที่นี้เราใช้เครื่อง TGA ที่มีระบบการชั่งเป็นแบบ Null point balance

2. ส่วนควบคุมหรือโปรแกรมอุณหภูมิพร้อมจอแสดงผล (the temperature programming unit or control unit with screen) ส่วนนี้จะเชื่อมโดยตรงกับส่วนที่ 1 อุณหภูมิหรือความร้อนที่เตาได้รับจะถูกควบคุมด้วย temperature programming โดยทั่วไปจะทำได้ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Isothermal Programme เป็นการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนที่คงที่ตลอด เช่น 10°C/min หรือ 15°C/min เป็นต้น วิธีนี้เหมาะกับการใช้ศึกษาความทนทานต่อความร้อนหรือต่อการถูกออกซิไดส์ของสาร

2.2 Multi-stage Temperature Programme เป็นการใช้โปรแกรมให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ (segment)

3. ส่วนบันทึกข้อมูลหรือแสดงผล (the digital plotter, printer) เป็นตัวบันทึกน้ำหนักของสารเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจะได้ TGA thermogram อุณหภูมิของสารตัวอย่างและแกนเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารตัวอย่าง

รูปที่ ก.3 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA
(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559)

วิธีการใช้เครื่อง TGA Pyris I

1. เปิดถังวาล์วที่ถังแก๊สไนโตรเจน และถัง Air Zero หมุนวาล์วไปที่ลูกศร open ตรงตัวถัง
2. เปิดวาล์วสีดำ (อยู่บนโต๊ะคอมพิวเตอร์ของเครื่อง TGA มุมซ้ายมือ) สำหรับให้ถังแก๊ส N2 เข้าเครื่อง TGA โดยใช้มือดึงฝาวาล์วสีดำออก แล้วหมุนปรับสเกลไปที่ความดัน 20 Psi สำหรับ purge ตัวอย่าง และ 40 Psi สำหรับ purge ระบบ เสร็จแล้วใช้มือดันปิดฝาวาล์วเหมือนเดิม (ที่ตัววาล์วจะมีบอกไว้ว่าตัวไหน purge ตัวอย่างจะเขียนว่า sample และตัวไหนสำหรับ purge ระบบจะเขียนว่า system)
3. เปิดตัวเครื่อง TGA โดยกดปุ่ม On ที่อยู่ข้างหลังเครื่องตรงขวามือด้านล่าง
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเปิด stabilization เคสและจอคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ
5. ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ดับเบิลคลิ๊กเลือก Pyris Manager
6. ที่มุมบนซ้ายมือจะปรากฏ off line ให้ดับเบิลคลิ๊ก offline รอสักครู่จนเป็น online
7. จะปรากฏ 2 หน้า คือหน้า Method Editor-United และ Instrument Viewer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ที่หน้า Method Editor-Unitiled มี 4 หัวข้อ คือ

1 Sample Info

2. Initial State

3.Program

4.View program

9. คลิ๊กเลือก Sample Info ใส่ข้อมูลดังนี้

- Sample ID : ใส่ข้อมูลวันเดือนปี-ตัวอย่างที่
- Operator ID : .ใส่ข้อมูลชื่อผู้ทำการทดลอง
- Comment : ใส่ชื่อสารตัวอย่าง

ตรงที่ Enter Sample Weight ให้ใส่ Weight เป็น 0.00 mg และ Zero เป็น 0.00 mW เสมอ ใส่ข้อมูลเสร็จแล้วคลิ๊กเลือก Browse ตั้งชื่อไฟล์พิมพ์ลงใน File name เสร็จแล้วคลิ๊ก Save

10. คลิ๊กเลือก Initial State ใส่ข้อมูลดังนี้

- Set Initial Values
- Temperature ให้ใส่อุณหภูมิเริ่มต้น คือ 50°C
- ตรงที่บล็อก Program จะปรากฏ Initial Temp 50°C (คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ใส่ในหน้า Initial)
- Temperature Program จะเป็น Heat from 50°C to ... °C at ... °C/min *** ให้ใส่ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการทำการทดลองลงในช่อง To : ... °C และ heating rate ลงใน ช่อง Rate : ... °C/min

11. คลิ๊ก Add a step (มุมขวามือ) เลือก Temperature scan จะปรากฏ Cool from 900.00 °C to ...°C at ...°C/min ***ให้ใส่อุณหภูมิลงถึง Initial Temp ในช่อง To : ...°C และ heating rate ลงในช่อง Rate : ...°C/min

12. แขวน Platinum pan (Pl. pan) โดยเกี่ยวตะขอกระเช้า Pl.pan ลงในตะขอเส้น Platinum wire ที่ตัวเครื่อง TGA

13. ยกเตาเผาขึ้น โดยคลิ๊กที่รูป Raise Furnance (ด้านขวามือจอคอมฯ)

14. รอจนน้ำหนัก Weight คงที่ คลิ๊กที่รูป Get sample weight zero เพื่อทำให้น้ำหนักเป็นศูนย์

15. ยกเตาเผาลง โดยคลิ๊กที่รูป Low Furnance (ด้านขวามือจอคอมฯ)

16. คลิ๊กที่รูป Low Furnance (ด้านขวามือจอคอมฯ) เพื่อให้เตาเผาเข้าที่ช่องเก็บ

17. ใช้มือจับแป้นดำผลักเบา ๆ มารอง Pl.pan จากนั้นใช้ช้อนตักสารตักสารตัวอย่างใส่ลงใน Pl.pan (ใส่น้ำหนักสาร 2-5 mg หรือไม่เกิน 100 mg) ดูน้ำหนักสารที่ด้านบนตัวเครื่อง TGA หรือจอคอมฯ ตรงคำว่า weight

18. ยกเตาเผาขึ้น โดยคลิ๊กที่รูป Raise Furnance (ด้านขวามือจอคอมฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. คลิ๊กที่รูป go to temp (ด้านขวามือ) โดยใส่ตัวเลขให้สูงกว่า Initial Temp 5°C เสมอ เช่น อุณหภูมิ Initial Temp. ที่ตั้งไว้ 50°C ต้องใส่ 55°C

20. รอจนอุณหภูมิ Sample Temp. (ดูที่ Menu bar ด้านบน) ขึ้นถึง 50°C

21. คลิ๊ก Start ที่รูป Start/Stop (ด้านขวามือรูปบนสุด) เพื่อที่จะสั่งให้อุณหภูมิขึ้น

1.4 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer : CTA)

หลักการการวัดมุมสัมผัสน้ำ (Water contact angles; WCTAs) จะเกิดจากแรงเกาะติดระหว่าง โมเลกุลระหว่างของเหลวและของแข็ง (Adhesion force) ซึ่งจะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว ส่วนแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวชนิดเดียวกัน (Cohesion force) ซึ่งแรงนี้สามารถรับแรงเค้นดึงได้เล็กน้อย (Tensile stress) จะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง

ส่วนประกอบของเครื่อง CTA

รูปที่ ก.4 ส่วนประกอบของเครื่อง CTA (ลดา, 2559)

วิธีการวัดค่ามุมสัมผัส

1. ของเหลวจะถูกหยดออกจากหลอดฉีดยาขนาดเล็กลงบนพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการทดสอบ โดยการนำพื้นผิวขึ้นไปสัมผัสกับหยดของของเหลวที่แขวนอยู่ที่ปลายเข็มฉีดยาเพื่อให้ได้ของเหลวเพียงหยดเดียวที่สัมผัสกับผิววัสดุ แสงจะถูกส่องผ่านด้านหน้าของเหลว
2. ภาพของหยดของเหลวจะตกลงบนฉากรับภาพซึ่งอยู่ด้านหลังหยดของเหลว
3. มุมสัมผัสจะถูกวัดโดยใช้แกนวัดมุม (Protractor) ที่ติดอยู่กับฉากรับภาพ

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน

1. สำหรับไม่สามารถทดสอบตัวอย่างน้ำได้ทันทีให้เก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยกรดกำมะถัน (H_2SO_4) 2 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง น้ำ 1 ลิตร pH < 2 แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 °C ซึ่งเก็บรักษาไว้ได้นาน 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาตั้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator Auto Dry Box) ชั่งน้ำหนักและบันทึก (E) แล้วนำไปเก็บไว้ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติตามเดิม

3. นำตัวอย่างออกมาตั้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

4. ตรวจสอบ pH ของตัวอย่างด้วยกระดาษทดสอบ pH ซึ่งต้องน้อยกว่า 2 หาก pH มากกว่า 2 ให้ปรับ pH โดยให้ใช้กรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4) จน pH ได้น้อยกว่า 2

5. เขย่าขวดตัวอย่างออกมาตั้งให้น้ำเข้ากัน เทน้ำลงในกระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 1000 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตรที่ใช้ (ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไม่เกิน 1000 มิลลิลิตร)

6. เทตัวอย่างลงในกรวยแยก (Separatory funnel) ขนาด 2000 มิลลิลิตร เติมเฮกเซน (C_6H_{14}) 40 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก

7. เขย่ากรวยแยก (Separatory funnel) ด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker) ประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น

8. พับกระดาษกรองวางลงบนกรวยกรอง (Funnel) โรยโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ลงบน กระดาษกรองประมาณครึ่งหนึ่งของความจุกรวย

9. ไขชั้นน้ำลงในขวดตัวอย่างเดิมแล้วไขชั้นเฮกเซน (C_6H_{14}) ผ่านลงบนกรวยกรอง (Funnel) ที่มีโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ลงในชามระเหย

10. ทำซ้ำตามขั้นตอน 6-9 อีก 2 ครั้ง เก็บชั้นเฮกเซน (C_6H_{14}) ที่สกัดได้รวมกันในชามระเหยเดิม

11. นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังไอน้ำ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 80±5 °C ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ

12. ชั่งน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนัก 2 ครั้งให้ค่าต่างกันไม่เกิน 0.0005 g ถ้ามากกว่านี้ให้ชั่งครั้งที่ 3 เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่า แล้วนำค่าที่น้อยกว่ามาใช้ในการคำนวณ

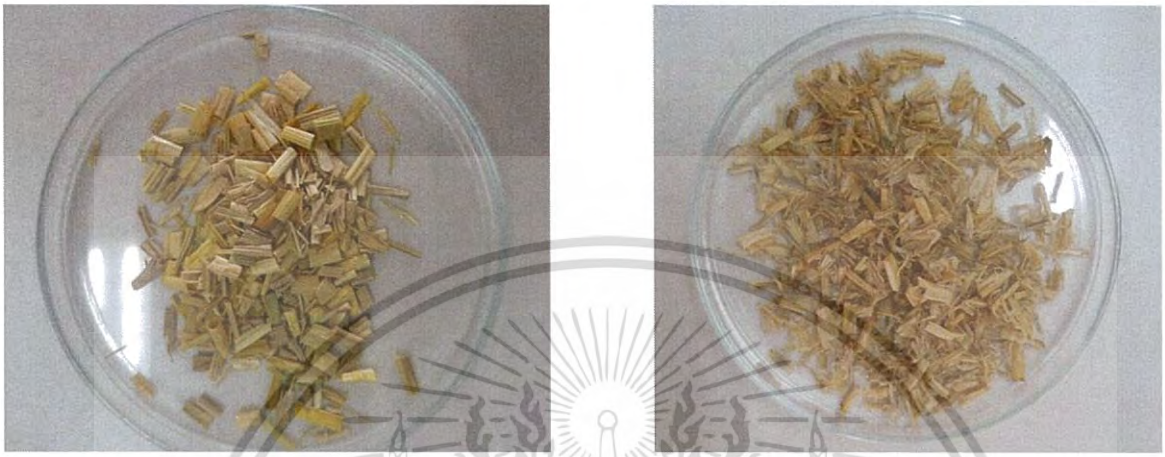
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

1. ลักษณะของพืช

1.1 ฟางข้าว



(ก) (ข)

รูปที่ ข.1 ฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

1.2 ชานอ้อย

(ก) (ข)

รูปที่ ข.2 ชานอ้อยก่อนและหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ผักตบชวา

(ก) (ข)

รูปที่ ข.3 ผักตบชวาก่อนและหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

2. อินฟราเรดสเปกตรัมของพืช

2.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ

cm^{-1}	หมู่ฟังค์ชัน	รายละเอียด
3600-3400	O–H stetching	3650-3590 cm^{-1} (sh, w) แอลกอฮอลอิสระ
		3400-3200 cm^{-1} (b) แอลกอฮอลที่เกิดพันธะไฮโดรเจน
		3400-2400 cm^{-1} (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก
3500-3200	N–H stretching	3200-3400 cm^{-1} (m) 1° เอมีนและเอมีด มี 2 แถบ
		3200-3400 cm^{-1} (w) 2° เอมีนและเอมีด มี 1 แถบ
3300 (vs)	≡C–H stretching	3300 cm^{-1} อัลไคน์ที่มี ≡C–H ที่ปลายโซ่
3100-3000 (w, sh)	=C–H stretching	อัลคีนและเบนซีน (อาจมีหลายพีค)
3000-2800	C–H stretching	หมู่ CH_3 , CH_2 และ CH ของอัลเคน
2850-2780	C–H stretching	แอลดีไฮด์
2250-2225	C≡N stretching	ไนทริล (m)
2260-2100	C≡C stretching	อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้ปรากฏ
1820-1760 (s)	C=O stretching	แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ
1800 (s)	C=O stretching	กรดคลอไรด์
1770 (s)	C=O stretching	แกมม่า-แลกโตน
1735 (s)	C=O stretching	เอสเทอร์
1725 (s)	C=O stretching	แอลดีไฮด์
1715 (s)	C=O stretching	คีโตน
1710 (s)	C=O stretching	กรดคาร์บอกซิลิก
1690-1650 (s)	C=O stretching	เอไมด์
1650-1600 (w)	C=C stretching	อัลคีน
1650-1590 (s-m)	N–H bending	1° เอมีน
1650-1550 (w)	N–H bending	2° เอมีน
1620-1590 (s)	N–H bending	1° เอมีด
1550-1510 (s)	N–H bending	2° เอมีด
1600, 1580,	C=C stretching	เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มไม่แน่นอน
1500 และ1450		อาจมี 2 , 3 หรือมีทั้ง 4 แถบ
1520 (s) และ 1350 (s)	NO_2 bending	สารประกอบไนโตร
1465-1450	C–H bending	หมู่ CH_2
1450-1375	C–H bending	หมู่ CH_3
1400-1000	C–F stretching	สารประกอบฟลูออไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cm^{-1}	หมู่ฟังค์ชัน	รายละเอียด
1300-1150	CH_2–X	สารประกอบเฮโลเจน
1300-1000	C–O stretching	อีเธอร์และเอสเทอร์
1220	C–O stretching	ฟีนอล
1150	C–O stretching	3° แอลกอฮอล
1100	C–O stretching	2° แอลกอฮอล
1050	C–O stretching	1° แอลกอฮอล
990 และ 910	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่ , $RCH=CH_2$)
970	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , trans)
890	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , $R_2C=CH_2$)
815	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 3 หมู่ , $R_2C=CHR$)
700-690	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , cis)
750 และ 690	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่)
750	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบ ออโท)
780 และ 700	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ เมตา)
825-800	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ พารา)
800-600	C–Cl	สารประกอบคลอไรด์
600-500	C–Br	สารประกอบโบรไมด์
~ 500	C–I	สารประกอบไอโอไดด์

3. การดูดซับน้ำของพืช

ตารางที่ ข.2 การดูดซับน้ำของพืช

ชนิด	น้ำหนักพืชเริ่มต้น	ร้อยละน้ำหนักพืชที่หายไป	น้ำหนักพืชที่หายไป	น้ำหนักของน้ำที่พืชดูดซับได้	ปริมาณการดูดซับน้ำของพืช
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	30.8460	91.4550	28.2100	2.6360	0.0934
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	30.7850	96.7310	29.7790	1.0060	0.0338
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	34.5820	98.3040	33.9950	0.5870	0.0173
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	30.3360	96.5350	29.2850	1.0510	0.0359
ผักตบก่อนปรับสภาพ	27.0210	97.9960	26.4790	0.5420	0.0204
ผักตบหลังปรับสภาพ	33.5060	94.9710	31.8210	1.6850	0.0530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดมุมสัมผัสน้ำของพืช

ตารางที่ ข.3 ค่ามุมสัมผัสน้ำของพืช

ชนิดของพืช	ครั้งที่	มุมสัมผัสน้ำ (องศา)		
		ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	1	60.90	62.40	61.65
	2	60.50	61.90	61.20
	3	60.70	61.10	60.90
	เฉลี่ย	60.70	61.80	61.25 ± 0.77
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	1	74.30	72.40	73.35
	2	73.90	72.70	73.30
	3	74.60	72.20	73.40
	เฉลี่ย	74.27	72.43	73.35 ± 1.29
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	1	53.40	51.00	52.20
	2	53.10	50.80	51.95
	3	53.70	51.40	52.55
	เฉลี่ย	53.40	51.07	52.23 ±1.65
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	1	45.80	47.70	46.75
	2	45.50	47.30	46.40
	3	45.20	45.90	45.55
	เฉลี่ย	45.50	46.97	46.23 ±1.04
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	1	105.50	102.20	103.85
	2	105.80	102.50	104.15
	3	105.50	102.60	104.05
	เฉลี่ย	105.60	102.43	104.02 ±2.24
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	1	66.80	65.20	66.00
	2	66.60	65.40	66.00
	3	66.30	65.90	66.10
	เฉลี่ย	66.57	65.50	66.03 ±0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

5.1 ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ

ตารางที่ ข.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
1	1	2.0063	2.0073	11.0647	10.2186	9.1026	8.4927	9.0584	8.2113	4.5150	4.0916	21.6606	20.5283
	2	2.0144		9.1630		8.3303		7.1486		3.5487		11.6484	
	3	2.0011		10.4281		8.0453		8.4270		4.2112		28.2758	
2	1	9.1026	8.4927	10.9846	10.5255	8.8545	8.5908	1.8820	2.0328	0.2068	0.2426	23.7250	21.5030
	2	8.3303		9.0656		8.4652		0.7353		0.0883		8.5149	
	3	8.0453		11.5263		8.4526		3.481		0.4327		32.2691	
3	1	8.8545	8.5908	11.4747	10.9793	8.3943	8.4822	2.6202	2.3886	0.2959	0.2778	32.5335	27.5928
	2	8.4652		10.2410		8.4040		1.7758		0.2098		22.3300	
	3	8.4526		11.2223		8.6482		2.7697		0.3277		27.9150	
4	1	8.3943	8.4822	11.7633	10.8986	9.2716	8.8532	3.3690	2.4165	0.4013	0.2850	25.5376	22.6044
	2	8.4040		9.8435		8.6165		1.4395		0.1713		15.6723	
	3	8.6482		11.0891		8.6714		2.4409		0.2822		26.6032	
5	1	9.2716	8.8532	11.144	10.7644	8.4580	8.4550	1.8724	1.9112	0.2020	0.2160	29.3947	25.9507
	2	8.6165		9.666		8.1926		1.0495		0.1218		19.2561	
	3	8.6714		11.4832		8.7143		2.8118		0.3243		29.2013	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
6	1	8.4580	8.4550	10.999	10.6547	8.0771	8.2012	2.541	2.1997	0.3004	0.2601	32.4919	28.1933
	2	8.1926		10.1486		8.3185		1.9560		0.2388		22.4988	
	3	8.7143		10.8165		8.2081		2.1022		0.2412		29.5891	
7	1	8.0771	8.2012	11.9549	11.0775	8.8273	8.3834	3.8778	2.8763	0.4801	0.3525	31.4376	28.0239
	2	8.3185		9.1350		8.2317		0.8165		0.0982		12.6857	
	3	8.2081		12.1427		8.0913		3.9346		0.4794		39.9483	
8	1	8.8273	8.3834	11.0030	10.1816	8.5276	8.2460	2.1757	1.7982	0.2465	0.2142	27.5145	23.2373
	2	8.2317		9.0432		7.8256		0.8115		0.0986		17.3230	
	3	8.0913		10.4986		8.3849		2.4073		0.2975		24.8744	
9	1	8.5276	8.2460	12.0020	10. 6486	8.4395	8.2551	3.4744	2.4026	0.4074	0.2869	35.6403	26.4532
	2	7.8256		8.7591		7.6615		0.9335		0.1193		16.2735	
	3	8.3849		11.1847		8.6642		2.7998		0.3339		27.4457	
10	1	8.4395	8.2551	11.8718	10.7897	8.3139	7.9254	3.4323	2.5346	0.4067	0.3011	36.0641	30.8364
	2	7.6615		8.6707		7.5974		1.0092		0.1317		16.1246	
	3	8.6642		11.8266		7.8649		3.1624		0.3650		40.3206	

5.2 ฟางข้าวหลังปรับสภาพ

ตารางที่ ข.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของฟางข้าวหลังปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
1	1	2.0013	2.0028	8.1920	8.3178	7.0037	7.0224	6.1907	6.3150	3.0933	3.1531	19.1949	20.4234
	2	2.0047		8.2193		7.1962		6.2146		3.1000		16.4628	
	3	2.0024		8.5422		6.8672		6.5398		3.2660		25.6124	
2	1	7.0037	7.0224	9.5169	9.0314	7.2986	7.2929	2.5132	2.0090	0.3588	0.2870	29.5159	24.5142
	2	7.1962		8.6050		7.3303		1.4088		0.1958		19.3128	
	3	6.8672		8.9722		7.2497		2.1050		0.3065		24.7138	
3	1	7.2986	7.2929	9.4329	9.6334	6.9804	7.5107	2.1343	2.2090	0.2924	0.3030	33.0010	26.5830
	2	7.3303		9.4394		7.6914		2.1091		0.2877		23.5114	
	3	7.2497		9.6334		7.8602		2.3837		0.3288		23.2368	
4	1	6.9804	7.5107	8.8949	9.0910	6.9796	7.5040	1.9145	1.5804	0.2743	0.2125	27.7837	22.4324
	2	7.6914		8.9650		7.6910		1.2736		0.1656		18.3038	
	3	7.8602		9.4132		7.8414		1.5530		0.1976		21.2096	
5	1	6.9796	7.5040	9.1967	9.3414	7.1070	7.4522	2.2171	1.8374	0.3177	0.2470	29.0422	25.3978
	2	7.6910		8.9980		8.0526		1.3070		0.1699		13.5187	
	3	7.8414		9.8296		7.1971		1.9882		0.2536		33.6327	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
6	1	7.1070	7.4522	9.2093	8.9647	7.1078	7.4510	2.1023	1.5125	0.2958	0.2084	29.1551	21.4515
	2	8.0526		8.6522		8.0461		0.5996		0.0745		9.1177	
	3	7.1971		9.0326		7.1990		1.8355		0.2550		26.0818	
7	1	7.1078	7.4510	9.1870	9.2833	7.0937	7.4463	2.0792	1.8323	0.2925	0.2479	29.1315	25.3265
	2	8.0461		9.6534		8.0440		1.6073		0.1998		21.0415	
	3	7.1990		9.0095		7.2012		1.8105		0.2515		25.8067	
8	1	7.0937	7.4463	9.1875	8.9424	7.0731	7.4404	2.0938	1.4961	0.2952	0.2072	29.4231	21.1434
	2	8.0440		8.4696		8.0455		0.4256		0.0529		6.5600	
	3	7.2012		9.1700		7.2027		1.9688		0.2734		27.4471	
9	1	7.0731	7.4404	9.1868	8.8528	7.0646	7.4338	2.1137	1.4124	0.2988	0.1956	29.5345	20.3430
	2	8.0455		8.5081		8.0340		0.4626		0.0575		7.2900	
	3	7.2027		8.8635		7.2028		1.6608		0.2306		24.2046	
10	1	7.0646	7.4338	9.1861	9.3114	7.0767	7.4420	2.1215	1.8776	0.3003	0.2533	29.3592	25.5870
	2	8.0340		9.9674		8.0457		1.9334		0.2407		24.1338	
	3	7.2028		8.7808		7.2036		1.5780		0.2191		23.2680	

5.3 ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ

ตารางที่ ข.6 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของชานอ้อยก่อนปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
1	1	2.0312	2.0241	7.2136	6.8930	6.2361	5.8983	5.1824	4.8688	2.5514	2.4051	18.8619	20.3202
	2	2.0215		6.9959		5.7337		4.9744		2.4607		25.3739	
	3	2.0197		6.4694		5.7252		4.4497		2.2031		16.7247	
2	1	6.2361	5.8983	7.6241	7.3271	6.2053	5.9736	1.3880	1.4288	0.2226	0.2428	25.3679	25.2045
	2	5.7337		6.8206		5.9506		1.0869		0.1896		18.1284	
	3	5.7252		7.5367		5.7648		1.8115		0.3164		32.1171	
3	1	6.2053	5.9736	7.7991	7.4447	6.8168	6.5419	1.5938	1.4712	0.2568	0.2466	17.0305	16.6588
	2	5.9506		7.0713		6.2066		1.1207		0.1883		17.1235	
	3	5.7648		7.4638		6.6024		1.6990		0.2947		15.8226	
4	1	6.8168	6.5419	7.7767	7.5974	6.8722	6.5945	0.9599	1.0555	0.1408	0.1616	15.7428	18.0940
	2	6.2066		7.2118		6.1196		1.0052		0.1620		21.0431	
	3	6.6024		7.8038		6.7918		1.2014		0.1820		17.4962	
5	1	6.8722	**6.5945**	7.4629	7.3143	6.4356	**6.4410**	0.5907	0.7198	0.0860	0.1101	18.9130	**16.4436**
	2	6.1196		6.9543		6.2485		0.8347		0.1364		14.3083	
	3	6.7918		7.5258		6.6388		0.7340		0.1081		16.1094	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
6	1	6.4356	6.4410	7.2365	7.3297	6.4074	6.5377	0.8009	0.8887	0.1244	0.1380	15.9280	14.9164
	2	6.2485		7.1585		6.4561		0.9100		0.1456		13.6734	
	3	6.6388		7.5941		6.7497		0.9553		0.1439		15.1478	
7	1	6.4074	6.5377	8.2728	7.9795	6.7538	6.7498	1.8654	1.4418	0.2911	0.2213	24.3367	20.6038
	2	6.4561		7.6796		6.4741		1.2235		0.1895		21.3057	
	3	6.7497		7.9861		7.0214		1.2364		0.1832		16.1689	
8	1	6.7538	6.7498	7.7678	7.6647	6.8033	6.6658	1.0140	0.9150	0.1501	0.1360	16.8131	17.7535
	2	6.4741		7.4286		6.3534		0.9545		0.1474		19.8850	
	3	7.0214		7.7978		6.8408		0.7764		0.1106		16.5625	
9	1	6.8033	6.6658	7.2820	7.3991	6.4976	6.3680	0.4787	0.7333	0.0704	0.1098	14.9387	19.0525
	2	6.3534		7.0101		6.0328		0.6567		0.1034		19.5907	
	3	6.8408		7.9053		6.5735		1.0645		0.1556		22.6281	
10	1	6.4976	6.3680	7.2918	7.2991	6.4827	6.5655	0.7942	0.9311	0.1222	0.1462	15.3804	13.8722
	2	6.0328		6.9254		6.3202		0.8926		0.1480		12.3412	
	3	6.5735		7.6800		6.8935		1.1065		0.1683		13.8950	

5.4 ชานอ้อยหลังปรับสภาพ

ตารางที่ ข.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของชานอ้อยหลังปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการสายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ(กรัม)	เฉลี่ย	ค่านวณความสามารถในการดูดซับเส้นใย (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	ค่านวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	เฉลี่ย
1	1	2.0363	2.0207	4.5816	4.4039	3.8432	3.9489	2.5453	2.3831	1.2500	1.179	29.0103	18.7924
	2	2.0067		4.1285		3.8175		2.1218		1.0574		14.6574	
	3	2.0191		4.5015		4.186		2.4824		1.2295		12.7095	
2	1	3.8432	3.9489	4.6749	4.5311	4.0466	4.2868	0.8317	0.5822	0.2164	0.1488	8.6523	9.8659
	2	3.8175		4.3185		4.0086		0.5010		0.1312		13.4051	
	3	4.186		4.5999		4.4053		0.4139		0.0989		7.5403	
3	1	4.0466	4.2868	4.9101	4.6501	4.0684	4.2815	0.4635	0.3632	0.1042	0.0803	15.3699	13.9318
	2	4.0086		4.3073		4.0121		0.2987		0.0745		12.8314	
	3	4.4053		4.7328		4.3639		0.3275		0.0743		13.5940	
4	1	4.0684	4.2815	5.1528	4.4027	4.4744	4.2717	0.6844	0.4546	0.1532	0.1052	21.7680	16.6777
	2	4.0121		4.3536		4.0484		0.3615		0.0851		13.0044	
	3	4.3639		4.7018		4.2924		0.3379		0.0774		15.2607	
5	1	4.4744	4.2717	4.816	4.6824	4.553	4.4219	0.3416	0.4107	0.0763	0.0958	9.4615	9.6618
	2	4.0484		4.3102		4.1248		0.2618		0.0647		8.0486	
	3	4.2924		4.921		4.588		0.6286		0.1464		11.4752	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับเส้นใย(กรมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	เฉลี่ย
6	1	4.553	4.4219	5.0373	4.6968	4.4983	4.2838	0.4843	0.2748	0.1064	0.062	17.9607	15.3271
	2	4.1248		4.3498		3.991		0.2250		0.0545		15.3130	
	3	4.588		4.7033		4.3622		0.1153		0.0251		12.7077	
7	1	4.4983	4.2838	4.8264	4.5775	4.4433	4.2631	0.3281	0.2937	0.0729	0.0686	13.7307	12.4368
	2	3.991		4.2757		3.9069		0.2847		0.0713		16.2539	
	3	4.3622		4.6304		4.4391		0.2682		0.0615		7.3259	
8	1	4.4433	4.2631	4.7472	4.5806	4.2973	4.2223	0.3039	0.3175	0.0684	0.0749	16.5960	13.9913
	2	3.9069		4.2426		3.9342		0.3357		0.0859		13.7931	
	3	4.4391		4.752		4.4354		0.3129		0.0705		11.5848	
9	1	4.2973	4.2223	4.7196	4.5610	4.2993	4.2385	0.4223	0.3387	0.0983	0.0802	15.6635	12.5999
	2	3.9342		4.2311		3.9877		0.2969		0.0755		10.9423	
	3	4.4354		4.7322		4.4285		0.2968		0.0669		11.1938	
10	1	4.2993	4.2385	4.6981	4.5473	4.2953	4.226	0.3988	0.3088	0.0928	0.0727	15.1326	12.6283
	2	3.9877		4.2295		3.9842		0.2418		0.0606		11.0356	
	3	4.4285		4.7144		4.3986		0.2859		0.0646		11.7167	

5.5 ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ

ตารางที่ ข.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของผักตบชวาก่อนปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
1	1	2.0008	2.0089	7.4290	7.2995	6.4283	6.1974	5.4282	5.2907	2.7130	2.6343	18.4352	20.8761
	2	2.0006		7.4241		6.2515		5.4235		2.7109		21.6207	
	3	2.0252		7.0455		5.9123		5.0203		2.4789		22.5724	
2	1	6.4283	6.1974	8.4078	8.0711	6.4411	6.4839	1.9795	1.8737	0.3079	0.3015	30.6961	25.9186
	2	6.2515		8.3559		6.7037		2.1044		0.3366		25.9972	
	3	5.9123		7.4495		6.3070		1.5372		0.2600		21.0626	
3	1	6.4411	6.4839	8.4809	8.2035	6.5062	6.5769	2.0398	1.7196	0.3167	0.2650	30.4733	26.0235
	2	6.7037		8.4473		6.7119		1.7436		0.2601		26.9192	
	3	6.3070		7.6824		6.5126		1.3754		0.2181		20.6781	
4	1	6.5062	6.5769	8.7581	8.3490	6.5826	6.7519	2.2519	1.7721	0.3461	0.2694	32.1948	24.9693
	2	6.7119		8.5920		7.2065		1.8801		0.2801		21.0198	
	3	6.5126		7.6970		6.4666		1.1844		0.1819		21.6933	
5	1	6.5826	6.7519	8.9216	8.4625	6.7352	6.8650	2.3390	1.7106	0.3553	0.2548	31.5917	24.5506
	2	7.2065		8.6390		7.3213		1.4325		0.1988		19.8497	
	3	6.4666		7.8270		6.5384		1.3604		0.2104		22.2103	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
6	1	6.7352	6.8650	9.0231	8.6010	6.7903	6.8625	2.2879	1.7361	0.3397	0.2539	31.7959	26.2811
	2	7.3213		8.8231		7.3520		1.5018		0.2051		21.5625	
	3	6.5384		7.9569		6.4452		1.4185		0.2169		25.4851	
7	1	6.7903	6.8625	9.3582	8.7846	6.9137	6.9116	2.5679	1.9221	0.3782	0.2812	33.2251	27.5253
	2	7.3520		8.9621		7.4319		1.6101		0.2190		21.9809	
	3	6.4452		8.0336		6.3891		1.5884		0.2464		27.3700	
8	1	6.9137	6.9116	9.4932	8.8147	6.9996	6.9629	2.5795	1.9031	0.3731	0.2761	33.2817	27.0283
	2	7.4319		9.0065		7.5091		1.5746		0.2119		21.3734	
	3	6.3891		7.9443		6.3799		1.5552		0.2434		26.4297	
9	1	6.9996	6.9629	9.5632	8.8681	7.3126	7.1299	2.5636	1.9052	0.3662	0.2746	29.7604	25.1838
	2	7.5091		9.0552		7.5420		1.5461		0.2059		21.4498	
	3	6.3799		7.9859		6.5350		1.6060		0.2517		24.3411	
10	1	7.3126	7.1299	9.7812	9.0072	7.5175	7.1600	2.4686	1.8774	0.3376	0.2633	29.0949	26.4738
	2	7.5420		9.1038		7.6548		1.5618		0.2071		20.3993	
	3	6.5350		8.1367		6.3077		1.6017		0.2451		29.9272	

5.6 ผักตบชวาหลังปรับสภาพ

ตารางที่ ข.9 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของผักตบชวาหลังปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
1	1	2.0225	2.0168	3.7350	3.7546	3.5171	3.5726	1.7125	1.7378	0.8467	0.8616	12.7241	9.8982
	2	2.0122		3.5191		3.4870		1.5069		0.7489		2.1302	
	3	2.0158		4.0097		3.7138		1.9939		0.9891		14.8403	
2	1	3.5171	3.5726	3.7931	3.7741	3.5226	3.5724	0.2760	0.2015	0.0785	0.0562	15.2773	11.3265
	2	3.4870		3.5772		3.4620		0.0902		0.0259		7.3610	
	3	3.7138		3.9521		3.7325		0.2383		0.0642		11.3412	
3	1	3.5226	3.5724	3.6351	3.6937	3.6002	3.6512	0.1125	0.1214	0.0319	0.0337	2.1642	2.5126
	2	3.4620		3.5520		3.5141		0.0900		0.0260		2.4614	
	3	3.7325		3.8941		3.8394		0.1616		0.0433		2.9122	
4	1	3.6002	3.6512	3.6372	3.6851	3.5639	3.5976	0.0370	0.0339	0.0103	0.0094	4.5395	5.3802
	2	3.5141		3.5559		3.4284		0.0418		0.0119		8.2594	
	3	3.8394		3.8622		3.8005		0.0228		0.0059		3.3416	
5	1	3.5639	3.5976	3.6108	3.6679	3.5902	3.6253	0.0469	0.0703	0.0132	0.0199	1.2970	2.6043
	2	3.4284		3.5478		3.4861		0.1194		0.0348		4.0180	
	3	3.8005		3.8452		3.7995		0.0447		0.0118		2.4981	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังดูดซับน้ำมัน (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักพืชหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)	เฉลี่ย	คำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช	เฉลี่ย
6	1	3.5902	3.6253	3.6159	3.6420	3.5932	3.6294	0.0257	0.0167	0.0072	0.0046	1.4246	0.7615
	2	3.4861		3.5004		3.4993		0.0143		0.0041		0.0739	
	3	3.7995		3.8097		3.7956		0.0102		0.0027		0.7860	
7	1	3.5932	3.6294	3.6026	3.6378	3.5967	3.6277	0.0094	0.0085	0.0026	0.0024	0.3734	0.6355
	2	3.4993		3.5108		3.4953		0.0115		0.0033		1.0343	
	3	3.7956		3.8001		3.7912		0.0045		0.0012		0.4988	
8	1	3.5967	3.6277	3.6012	3.6346	3.5943	3.6252	0.0045	0.0069	0.0013	0.0019	0.4371	0.6065
	2	3.4953		3.5097		3.4922		0.0144		0.0041		1.1686	
	3	3.7912		3.7930		3.7892		0.0018		0.0005		0.2138	
9	1	3.5943	3.6252	3.6003	3.6339	3.5936	3.6245	0.0060	0.0087	0.0017	0.0024	0.4246	0.5976
	2	3.4922		3.5064		3.4915		0.0142		0.0041		0.9972	
	3	3.7892		3.7951		3.7885		0.0059		0.0016		0.3709	
10	1	3.5936	3.6245	3.5998	3.6335	3.5949	3.6253	0.0062	0.0089	0.0017	0.0025	0.3107	0.5143
	2	3.4915		3.5042		3.4921		0.0127		0.0036		0.8110	
	3	3.7885		3.7964		3.7889		0.0079		0.0021		0.4212	

Activate

5.7 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช

ตารางที่ ข.10 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืชทั้ง 6 ชนิด

ชนิดของพืช	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมพืช)									
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	4.0916	0.2425	0.2777	0.2849	0.216	0.2601	0.3525	0.2141	0.2869	0.3011
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	3.1531	0.287	0.303	0.2125	0.247	0.2084	0.2479	0.2072	0.1956	0.2533
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	2.4051	0.2428	0.2466	0.1616	0.1101	0.1211	0.1828	0.1503	0.1618	0.1116
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	1.179	0.1488	0.0843	0.1052	0.0958	0.062	0.0686	0.0749	0.0802	0.0727
ผักตบก่อนปรับสภาพ	2.6343	0.3015	0.265	0.2694	0.2548	0.2539	0.2812	0.2761	0.2746	0.2633
ผักตบหลังปรับสภาพ	0.8616	0.0562	0.0337	0.0094	0.0199	0.0046	0.0024	0.0019	0.0024	0.0025

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5.8 เปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

ตารางที่ ข.11 การเปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืชทั้ง 6 ชนิด

ชนิดของพืช	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ									
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	20.5283	21.503	27.5928	22.6044	25.9507	28.1933	28.0239	23.2373	26.4532	30.8364
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	20.4234	24.5142	26.583	22.4324	25.3978	21.4515	25.3265	21.1434	20.3430	25.5870
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	20.3202	25.2045	16.6588	18.0940	16.4436	14.9164	20.6038	17.7535	19.0525	13.8722
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	18.7924	9.8659	13.9318	16.6777	9.6618	15.3271	12.4368	13.9913	12.5999	12.6283
ผักตบก่อนปรับสภาพ	20.8761	25.9186	26.0235	24.9693	24.5506	26.2811	27.5253	27.0283	25.1838	26.4738
ผักตบหลังปรับสภาพ	9.8982	11.3265	2.5126	5.3802	2.6043	0.7615	0.6355	0.6065	0.5976	0.5143

6.การดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ ข.12 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด

ชนิดของพืช	ครั้งที่	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้น (g/100ml)	น้ำหนักของชามระเหย (กรัม)	น้ำหนักชามระเหย + น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	1	2.0023	0.4061	62.6603	62.6796	0.0193	0.3868	95.2475
	2	2.0019	0.4064	62.6766	62.6957	0.0191	0.3873	95.3002
	3	2.0021	0.4063	62.6610	62.6805	0.0195	0.3868	95.2006
	เฉลี่ย	2.0021	0.4062	62.6660	62.6853	0.0193	0.3870	95.2733
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	1	2.0065	0.4052	57.1456	57.1566	0.0110	0.3942	97.2853
	2	2.0070	0.4056	57.1647	57.1753	0.0106	0.3950	97.3866
	3	2.0069	0.4054	57.1538	57.1649	0.0111	0.3943	97.2620
	เฉลี่ย	2.0068	0.4054	57.1547	57.1656	0.0109	0.3945	97.3113
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	1	2.0096	0.4082	54.5696	54.5781	0.0085	0.3997	97.9177
	2	2.0092	0.4079	62.6688	62.6758	0.0070	0.4009	98.2839
	3	2.0095	0.4084	60.6120	60.6200	0.0080	0.4004	98.0411
	เฉลี่ย	2.0094	0.4082	59.2835	59.2913	0.0078	0.4003	98.0647

ชนิดของพืช	ครั้งที่	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้น (g/100ml)	น้ำหนักของชามระเหย (กรัม)	น้ำหนักชามระเหย + น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	1	2.0008	0.4098	43.0336	43.0450	0.0114	0.3984	97.2182
	2	2.0006	0.4095	60.9313	60.9425	0.0112	0.3983	97.2650
	3	2.0005	0.4099	60.4744	60.4904	0.0160	0.3939	96.0966
	เฉลี่ย	2.0006	0.4097	54.8131	54.8260	0.0129	0.3969	96.8758
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	1	2.0019	0.4080	58.5588	58.5720	0.0132	0.3948	96.7647
	2	2.0023	0.4078	59.6302	59.6431	0.0129	0.3949	96.8367
	3	2.0018	0.4081	59.7821	59.7951	0.0130	0.3951	96.8145
	เฉลี่ย	2.0020	0.4080	59.3237	59.3367	0.0130	0.3949	96.7892
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	1	2.0049	0.4078	62.6567	62.6699	0.0132	0.3946	96.7631
	2	2.0051	0.4075	66.1704	66.1838	0.0134	0.3941	96.7117
	3	2.0048	0.4077	64.2159	64.2288	0.0129	0.3948	96.8359
	เฉลี่ย	2.0049	0.4077	64.3477	64.3608	0.0132	0.3945	96.7623
ชุดควบคุม	1	-	0.4065	57.1409	57.2965	0.1556	-	-
	2	-	0.4056	66.167	66.3564	0.1894	-	-
	3	-	0.4058	54.5691	54.746	0.1769	-	-
	เฉลี่ย	-	0.4060	59.2923	59.4663	0.1740	-	-

7.การดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน

ตารางที่ ข.13 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด(อิมัลชัน)

ชนิดของพืช	ครั้งที่	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้น (g/100ml)	น้ำยาล้างจาน (g/100ml)	น้ำหนักของชามระเหย (กรัม)	น้ำหนักชามระเหย + น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ	1	2.0123	0.4043	0.0442	60.9286	60.9511	0.0225	0.3818	94.4348
	2	2.0128	0.4050	0.0446	54.5717	54.5953	0.0236	0.3814	94.1728
	3	2.0125	0.4053	0.0444	62.2611	62.2840	0.0229	0.3824	94.3499
	เฉลี่ย	2.0125	0.4049	0.0444	59.2538	59.2768	0.0230	0.3819	94.3196
ฟางข้าวหลังปรับสภาพ	1	2.0099	0.4082	0.0482	57.1440	57.1538	0.0098	0.3984	97.5992
	2	2.0103	0.4087	0.0481	58.5579	58.5680	0.0101	0.3986	97.5287
	3	2.0102	0.4084	0.0478	57.1538	57.1641	0.0103	0.3981	97.4780
	เฉลี่ย	2.0101	0.4084	0.0480	57.6186	57.6286	0.0101	0.3984	97.5514
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	1	2.0276	0.4069	0.0466	43.0516	43.0646	0.0130	0.3939	96.8051
	2	2.0278	0.4074	0.0465	59.6296	59.6425	0.0129	0.3945	96.8336
	3	2.0274	0.4071	0.0468	60.2319	60.2446	0.0127	0.3944	96.8804
	เฉลี่ย	2.0276	0.4071	0.0466	54.3044	54.3172	0.0129	0.3943	96.8558

ชนิดของพืช	ครั้งที่	น้ำหนักพืชแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้น (g/100ml)	น้ำยาล้างจาน (g/100ml)	น้ำหนักของชามระเหย (กรัม)	น้ำหนักชามระเหย + น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน
ชานอ้อยหลังปรับสภาพ	1	2.0105	0.4055	0.0438	62.6718	62.6917	0.0199	0.3856	95.0925
	2	2.0103	0.4051	0.0445	66.1732	66.1926	0.0194	0.3857	95.2111
	3	2.0102	0.4053	0.0442	60.3412	60.3610	0.0198	0.3855	95.1147
	เฉลี่ย	2.0103	0.4053	0.0442	63.0621	63.0818	0.0197	0.3856	95.1394
ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ	1	2.0089	0.4056	0.0428	54.5715	54.6012	0.0297	0.3759	92.6775
	2	2.0090	0.4052	0.0429	60.9306	60.9605	0.0299	0.3753	92.6209
	3	2.0092	0.4054	0.0431	59.2311	59.2604	0.0293	0.3761	92.7726
	เฉลี่ย	2.0090	0.4054	0.0429	58.2444	58.2740	0.0296	0.3758	92.6985
ผักตบชวาหลังปรับสภาพ	1	2.0109	0.4055	0.0461	58.5575	58.5662	0.0087	0.3968	97.8545
	2	2.0107	0.4057	0.0458	57.1432	57.1525	0.0093	0.3964	97.7077
	3	2.0108	0.4059	0.0463	62.2424	62.2513	0.0089	0.3970	97.8073
	เฉลี่ย	2.0108	0.4057	0.0461	59.3144	59.3233	0.0090	0.3967	97.7816
ชุดควบคุม	1	-	0.0405	0.4066	59.6276	59.6904	0.0628	-	-
	2	-	0.0410	0.4052	62.6586	62.7225	0.0639	-	-
	3	-	0.0400	0.4057	60.9312	60.9943	0.0631	-	-
	เฉลี่ย	-	0.0405	0.4058	61.0725	61.1357	0.0633	-	-

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. การคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำของพืช

สามารถคำนวณได้จากกราฟ TGA thermogram ยกตัวอย่างการหาปริมาณการดูดซับน้ำของฟางข้าวก่อนปรับสภาพดังนี้

น้ำหนักฟางข้าวเริ่มต้น ประมาณ 10 มิลลิกรัม

น้ำหนักฟางข้าวสุดท้าย ประมาณ 4 มิลลิกรัม

น้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับได้ ประมาณ 6 มิลลิกรัม

จากสูตร

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำของพืช} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับได้ (มิลลิกรัมน้ำ)}}{\text{น้ำหนักพืชสุดท้าย (มิลลิกรัมพืช)}}$$

แทนค่าลงในสูตร

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำของพืช} = \frac{6\ (\text{มิลลิกรัมน้ำ})}{4\ (\text{มิลลิกรัมพืช})}$$

$$= 1.5 \text{ มิลลิกรัมน้ำต่อมิลลิกรัมพืช}$$

2.การคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช

จากสูตร

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพืช} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของพืช (กรัม)}}$$

3.การคำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของพืช

จากสูตร

ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ

$$= \frac{\text{น้ำหนักเปียกของพืช (กรัม)} - \text{น้ำหนักพืชหลังการคายซับ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปียกของพืช (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้งของพืชซ้ำที่ 1(กรัม)}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.การคำนวณปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

จากสูตร

ปริมาณน้ำมันและไขมัน (มิลิกรัมต่อลิตร)

$$= \frac{\text{น้ำหนักชามระเหยที่มีน้ำมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนักชามระเหย(กรัม)}}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง(มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

5.การคำนวณร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด

จากสูตร

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

6.การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

6.1 การทดสอบความแปรปรวนด้วยวิธี Cochran ทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่ม ซึ่งกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะมีจำนวน ตัวอย่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ลักษณะการตั้งสมมติฐาน

$H_0 : S^2_1 = S^2_2 = ... = S^2_k$

H_1 : มี S_2 อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

มีสูตรการคำนวณ

$$C=\frac{S^2_{max}}{\sum S^2_i} \quad ; \text{ d.f. } = n - 1$$

ถ้าหากค่า C ที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่ามากกว่าค่า C ที่เปิดจากตาราง ($C_{\alpha, k, \nu}$ โดยที่ $\nu=n_i-1$) จะปฏิเสธ H_0

6.2 การทดสอบของครัสคาล และวัลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance By Rank Test) เป็นวิธีการทดสอบว่าประชากร k กลุ่ม มีค่ามัธยฐานเท่ากันหรือไม่ โดยมีวิธีการที่ สำคัญคือ ค่าคาดหมายของลำดับที่ของข้อมูลตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ควรมีค่าเป็นแบบอันตรภาคชั้นที่ ใกล้เคียงกัน ข้อมูลที่นำมาทดสอบประกอบด้วยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม k ชุด แต่ละชุดอาจมีขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่จะใช้วิเคราะห์ต้องมีมาตราวัดอย่างน้อยแบบเรียงลำดับ (Ordinal Scale) และมีการแจกแจงแบบต่อเนื่อง การทดสอบนี้นิยมใช้แทนการทดสอบแบบเอฟ (F-test) ในทางสถิติที่ใช้พารามิเตอร์ ในกรณีที่ข้อกำาหนดเบื้องต้นของการทดสอบแบบเอฟไม่เป็นจริง (F-test) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดเบื้องต้นดังที่กล่าวมาคือ มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ, ข้อมูลแต่ละชนิดเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวน เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ลักษณะของการตังสมมติฐาน

H_0 : ค่ามัธยฐานของประชาการ k กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่ามัธยฐานของประชากรอย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. จัดลำดับของข้อมูลทั้งหมดร่วมกัน เรียงจากน้อยไปหามาก โดยให้ค่าต่ำสุดมีลำดับที่ 1 และค่ามากสุดเป็นลำดับที่ n เมื่อ n เป็นจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

2. หาผลรวมของลำดับที่ในข้อมูลแต่ละกลุ่ม (k) คือ R_i เมื่อ i = 1, 2, ...k

3. คำนวณค่าทางสถิติ

จากสูตร

$$H = \left[\frac{12}{n(n+1)}\sum_{i=1}^{k}\frac{R_i^2}{n_i}\right] - 3(n+1)$$

เมื่อ k = *จำนวนกลุ่มประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปที่เป็นอิสระต่อกัน*

R_i = *ผลรวมของลำดับที่ในตัวอย่างที่* i,i= 1, 2, ...k

n_i = *ขนาดตัวอย่างกลุ่มที่* i,i = 1, 2, ...k

$n_i = \sum_{i=1}^{k} n_i$

ตามทฤษฎีจะพบว่า H_0 เป็นจริง เมื่อค่า H จะมีการแจกแจงประมาณได้ด้วยไคสแควร์ (χ^2) ที่ d.f. = k-1 ถ้า n_i มีค่าใหญ่พอสมควร

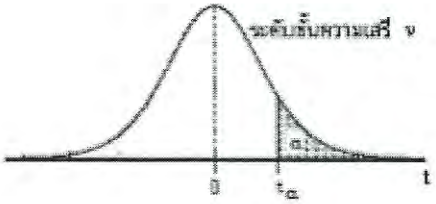
4. การหาอาณาเขตวิกฤตและสรุปผล สามารถแยกได้ตามขนาดตัวอย่าง คือ

4.1 เมื่อ $n_i > 5$ การแจกแจงของค่าสถิติ H ประมาณด้วย (χ^2) ที่ d.f. = k-1 เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ α หาอาณาเขตวิกฤตจากตาราง χ^2 ที่ d.f. = k-1 จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าของ H มากกว่าหรือเท่ากับ χ^2 จากตาราง ($\chi^2_{\text{d.f.=k-1}}$)

4.2 เมื่อ k = 3 และ $n_i \leq 5$ ในแต่ละ k ใช้ตารางที่ Kruskal-Wallis สร้างไว้ โดยแสดงค่าวิกฤตของ H พร้อมทั้งความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่า H นั้น สามารถทำการเปรียบเทียบค่า H หรือ p-value ก็ได้ คือจะปฏิเสธ H0 เมื่อค่า H จากตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ H จากตารางที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าวิกฤตสำหรับการแจกแจงแบบ t



	α				
ν	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
31	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744
32	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738
33	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733
34	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
35	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724
36	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719
37	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715
38	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
39	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

ที่มา : สิทธิชัย (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้