สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดเพื่อผลิตเอทานอลด้วย *Saccharomyces cerevisiae*

ACID HYDROLYSIS OF DURIAN PEEL FOR ETHANOL PRODUCTION WITH *Saccharomyces cerevisiae*

วพ.
ม142ก
2558
b.10752216
i.
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....141267
วัน.เดือน.ปี.....- 8 ส.ค. 2559

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558
KMITL-2015-SC-D-020-060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACID HYDROLYSIS OF DURIAN PEEL FOR ETHANOL PRODUCTION WITH *Saccharomyces cerevisiae*

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN BIOTECHNOLOGY
DEPARTMENT OF BIOLOGY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-SC-D-020-060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ "การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดเพื่อผลิตเอทานอลด้วย *Saccharomyces cerevisiae*"
"ACID HYDROLYSIS OF DURIAN PEEL FOR ETHANOL PRODUCTION WITH *Saccharomyces cerevisiae*"

ชื่อนักศึกษา นางมธุรา อุณหศิริกุล
รหัสประจำตัว 50067251
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา ชีววิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พนา โลหะทรัพย์ทวี ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผศ.ดร.อุนเรือน เพชราวัลย์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 10 พฤศจิกายน พ.ศ.2558 เวลา 13.00 - 16.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง 439 อาคารจุฬาภรณวิสัยลักษณ์ ชั้น 4

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 16 **เดือน** ธ.ค. **พ.ศ.** 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดเพื่อผลิตเอทานอลด้วย *Saccharomyces cerevisiae*
ชื่อนักศึกษา	มธุรา อุณหศิริกุล
รหัสประจำตัว	50067251
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง

บทคัดย่อ

เปลือกทุเรียนประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ งานวิจัยนี้ได้ผลิตน้ำตาลจากเปลือกทุเรียนโดยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในหม้อนึ่งความดันไอ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-60 นาที พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.71กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที และจากการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลในน้ำย่อยเปลือกทุเรียนด้วยเครื่อง HPLC พบน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครส เลือกใช้สภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลที่เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* สามารถนำไปใช้ได้สูงสุดไปใช้ในการหมักเอทานอลต่อไป โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมัก ได้แก่ สายพันธุ์เชื้อ ปริมาณกล้าเชื้อ พีเอชเริ่มต้น อุณหภูมิในการบ่ม แหล่งไนโตรเจน แมกนีเซียม และโพแทสเซียม พบว่า *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5019 เป็นสายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้สูงที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักคือ ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) พีเอชเริ่มต้น 4.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม 35 องศาเซลเซียส แอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโพแทสเซียมฟอสเฟต 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ สภาวะนี้สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อใช้ระยะเวลาการหมัก 2 วัน ศึกษาอัตราการกวนที่เหมาะสมในถังหมักขนาด 5 ลิตร พบว่า การกวนที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 9.81 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 1 ของการหมัก และศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอล พบว่า การกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน ตามด้วยการหมักในสภาวะนิ่ง 6 วัน ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 20.07 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก

คำสำคัญ : เปลือกทุเรียน, การย่อยด้วยกรด, การหมักเอทานอล, เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Acid Hydrolysis of Durian Peel for Ethanol Production with *Saccharomyces cerevisiae*
Student Name	Matura Unhasirikul
Student ID	50067251
Degree	Doctor of Philosophy (Biotechnology)
Department	Biology
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Nuanphan Na Ranong

Abstract

Durian peel is mainly composed of cellulose and hemicelluloses which can be converted to sugars. This research investigated sugar production from durian peel hydrolysed by H_2SO_4, HCl and H_3PO_4 at concentrations and times of hydrolysis in the ranges of 0.5-2.0% (v/v) and 15-60 min, respectively. The hydrolysates treated by various acids, acid concentrations, and times of hydrolysis were autoclaved at 121 °C. It was found that the highest concentration of reducing sugar, at 50.71 g/L, was obtained from the hydrolysate of durian peel treated by 2 % H_2SO_4 for 30 min. An HPLC sugar analysis found glucose, fructose, xylose and sucrose in the hydrolysate. Next, the optimal conditions for ethanol production, from the hydrolysate that had the highest concentration of sugar, by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* were determined by varying the following: yeast strain, inoculum level (%), initial pH of the fermentation medium, incubation temperature, and concentrations of nitrogen, magnesium, and potassium from sources. The results were that *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5019 was the most efficient ethanol producer among all tested strains and the optimal fermentation conditions were the following: 5% (v/v) level of inoculum, pH of 4.0, incubation temperature of 35°C, ammonium sulphate, magnesium sulphate and potassium phosphate concentrations of 0.5, 0.1 and 0.1% (w/v), respectively. Under these conditions, the highest ethanol concentration of 1.22 % (v/v) was found on the second day of fermentation. Then, the optimum agitation speed in a 5-liter reactor was determined, and it was found that the 100 rpm agitation speed resulted in the highest ethanol concentration of 9.81 % (v/v) on the first day of fermentation. Finally, the optimum agitation procedure was determined, and it was found that agitating the substrate at 100 rpm impeller speed for 1 day and then stop agitating for another 6 days yielded the highest ethanol concentration at 20.07 g/L on the second day of fermentation.

Keywords : durian peel, acid hydrolysis, ethanol fermentation, cellulose, hemicellulose.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พนา โลหะทรัพย์ทวี ผศ.ดร. อุ่นเรือน เพชรวัลย์ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ รศ.ดร. มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจรูปเล่ม ตลอดจนชี้แนะ แก้ไข ข้อบกพร่องของงานวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และน้อง ๆ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะวิธีการทดลอง ตลอดจนอำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

ขอขอบคุณร้านค้าในตลาดขายผลไม้เนินสูง ต. เนินสูง อ. เมือง จ. จันทบุรี ที่อนุเคราะห์เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมาใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบิดา มาดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลืองานวิจัยตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

มธุรา อุณหศิริกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข
กิตติกรรมประกาศ..... ค
สารบัญ..... ง
สารบัญตาราง..... ฉ
สารบัญภาพ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 ทุเรียน..... 3
2.2 เปลือกทุเรียน..... 4
2.3 การผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 8
2.3.1 การปรับสภาพขั้นต้นวัตถุดิบ..... 12
2.3.2 การย่อย..... 15
2.3.3 การหมักเอทานอล..... 21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 31
3.1 วัตถุดิบ..... 31
3.2 จุลินทรีย์..... 31
3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี..... 31
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 32
3.5 วิธีวิจัย..... 33
3.5.1 การเตรียมเปลือกทุเรียน..... 33
3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน..... 33
3.5.3 การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกทุเรียน..... 34
3.5.4 การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด..... 35
3.5.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด..... 36
3.5.6 ศึกษาการผลิตเอทานอลในถังหมักแบบใบพัดกวน..... 38
3.5.7 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์และค่าประสิทธิภาพการหมัก..... 39
3.6 แผนการทดลอง..... 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 40
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเปลือกทุเรียน 40
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ด้วยกรด 41
4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียนที่ผ่าน การย่อยด้วยกรด 46
4.4 ผลการวิเคราะห์ชนิดน้ำตาลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด 47
4.5 ผลการวิเคราะห์สารที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ใน การหมักเอทานอล 52
4.6 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จาก การย่อยเปลือกทุเรียน 53
4.6.1 ผลของสายพันธุ์เชื้อต่อการผลิตเอทานอล 53
4.6.2 ผลของกล้าเชื้อต่อการผลิตเอทานอล 54
4.6.3 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการผลิตเอทานอล 55
4.6.4 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอทานอล 56
4.6.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอล 57
4.6.6 ผลของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอล 58
4.6.7 ผลของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตต่อการผลิตเอทานอล 59
4.6.8 ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วย ด้วยกรดซัลฟูริกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับน้ำที่ได้จาก การย่อยเปลือกทุเรียนที่ไม่เติมสารใดเลย ที่สภาวะเดียวกัน 61
4.7 ผลการผลิตเอทานอลในถังหมักแบบใบพัดกวน 62
4.7.1 ผลการศึกษาความเร็วในการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล 62
4.7.2 ผลการศึกษาวิธีการหมักที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล 67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 72
บรรณานุกรม 74
ภาคผนวก 89
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ 90
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 107
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ 113
ภาคผนวก ง กราฟโครมาโทแกรม 133
ประวัติผู้เขียน 139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนปี พ.ศ. 2552-2556	4
2.2 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่พบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	11
2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพขั้นต้นวัสดุลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีต่างๆ	15
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน (โดยน้ำหนักแห้ง)	40
4.2 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียน(โดยน้ำหนักแห้ง)	40
4.3 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก	42
4.4 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริก	43
4.5 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริก	44
4.6 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก	48
4.7 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริก	50
4.8 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริก	51
4.9 ปริมาณสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำย่อยเปลือกทุเรียน	52
4.10 ผลการศึกษาอัตราการกวนต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน	66
4.11 ผลการศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน	70
ข.1 ผลของสายพันธุ์เชื้อต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	107
ข.2 ผลของปริมาณกล้าเชื้อต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	107
ข.3 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	108
ข.4 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	108
ข.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	109
ข.6 ผลของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	109
ข.7 ผลของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน	110
ข.8 ผลการเปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในสภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนที่ไม่มีการเติมสาร	110
ข.9 ค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาอัตราการกวนต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน	111
ข.10 ค่าพารามิเตอร์การศึกษาวีการหมักต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 113
ค.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 113
ค.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 114
ค.4 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 114
ค.5 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 116
ค.6 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 118
ค.7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส.....120
ค.8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาล ฟรุคโตส.....120
ค.9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส.....120
ค.10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส..... 121
ค.11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้..... 121
ค.12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส..... 121
ค.13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส.....122
ค.14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส..... 122
ค.15 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส..... 122
ค.16 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้..... 123
ค.17 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส..... 123
ค.18 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส..... 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.19 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส 124
ค.20 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส 124
ค.21 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้..... 124
ค.22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเฟอฟิวรอลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0 125
ค.23 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0 125
ค.24 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสายพันธุ์เชื้อที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 125
ค.25 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 126
ค.26 ความแปรปรวนของค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 126
ค.27 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 126
ค.28 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 127
ค.29 ความแปรปรวนของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 127
ค.30 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก..... 127
ค.31 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปรียบเทียบการหมักเอทานอลในสภาวะที่เหมาะสมกับการหมักเอทานอลที่ไม่มีการเติมสาร..... 128
ค.32 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที..... 128
ค.33 วิเคราะห์ความแปรปรวนของมวลเซลล์จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที..... 128
ค.34 วิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำตาลทั้งหมดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที..... 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.35 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที..... 129
ค.36 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200รอบต่อนาที..... 129
ค.37 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200รอบต่อนาที..... 130
ค.38 วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200รอบต่อนาที..... 130
ค.39 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 130
ค.40 วิเคราะห์ความแปรปรวนของมวลเซลล์จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 131
ค.41 วิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำตาลทั้งหมดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 131
ค.42 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 131
ค.43 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 132
ค.44 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 132
ค.45 วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ..... 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของเอทานอล	9
2.2	โครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน	11
2.3	กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส	12
2.4	กระบวนการย่อยเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลกลูโคส	16
2.5	การผลิตเอทานอลด้วยน้ำตาลเฮกโซสโดยยีสต์ผ่านวิถี Embden-Meyerhof-Parnas pathway	22
4.1	สัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วยกรด	47
4.2	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5019, 5049 และ 5059 โดยใช้ปริมาณกล้าเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	54
4.3	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันโดยใช้กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์	55
4.4	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	56
4.5	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดที่พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	57
4.6	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $(NH_4)_2SO_4$ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	58
4.7	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $MgSO_4.7H_2O$ 0.1, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	59
4.8	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $KH_2PO_4.7H_2O$ 0.1, 0.5 และ 1.0. เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	60
4.9	ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $(NH_4)_2SO_4$, $MgSO_4.7H_2O$ และ $KH_2PO_4.7H_2O$ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เปรียบเทียบกับการหมักที่ไม่เติมสารใดเลย ลงไปที่สภาวะเดียวกัน..... 62
4.10 พีเอช (ก) และมวลเซลล์ (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่อัตราการกวน 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน..... 64
4. 11 น้ำตาลทั้งหมด (ก) และเอทานอล (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่อัตราการกวน 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน..... 65
4.12 ค่าพีเอช (ก) และมวลเซลล์ (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่สภาวะไม่กวน, กวน 100 รอบต่อนาที และกวน 100 รอบต่อนาที 1 วัน ตามด้วยไม่กวนเป็นเวลา 7 วัน..... 68
4.13 น้ำตาลทั้งหมด (ก) และเอทานอล (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่สภาวะ ไม่กวน, กวน 100 รอบต่อนาที และกวน 100 รอบต่อนาที 1 วัน ตามด้วยไม่กวนเป็นเวลา 7 วัน..... 69
ก.1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DNS กับน้ำตาลกลูโคส..... 99
ก.2 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลเมื่อวิเคราะห์โดยใช้การทำปฏิกิริยาของฟีนอลและกรดกำมะถันเข้มข้นกับน้ำตาลมอลโตส..... 100
ก.3 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 101
ก.4 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 102
ก.5 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลไซโลส เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 102
ก.6 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลซูโครส เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 103
ก.7 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณเฟอฟิวรอล เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 104
ก.8 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC..... 104
ง.1 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที..... 133
ง.2 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที..... 134
ง.3 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที..... 135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 4.0 136
ง.5 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 5.0 137
ง.6 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 6.0 138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกได้มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการคมนาคมขนส่งมากยิ่งขึ้น ทำให้ความต้องการทางด้านพลังงานเชื้อเพลิงมีมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้เกิดภาวะวิกฤติการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นหลายประเทศจึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและการใช้พลังงานอื่น ๆ มาทดแทน (เสรี และเฉลิม, 2555) หลาย ๆ ประเทศทั่วโลกจึงแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่เพื่อเป็นหลักประกันความมั่นคงด้านพลังงานในระยะยาว ทั้งยังเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานที่ได้จากฟอสซิล เช่น น้ำมัน และถ่านหินอันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ, 2554) แม้ว่าการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จะยังผลิตจากแป้งและน้ำตาล แต่ปัจจุบันประเทศไทยกำลังให้ความสนใจในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส ซึ่งในปี ค.ศ. 2010 ในต่างประเทศจะเน้นการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเป็นหลัก เนื่องจากแป้งและน้ำตาลเป็นพืชอาหาร ถ้านำมาผลิตเอทานอลแล้ว อาจผลิตได้ไม่เพียงพอสำหรับการบริโภค (พิสมัย, 2548)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพดและใบข้าวโพดประกอบด้วยเซลลูโลส 40-60 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 20-30 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 15-30 เปอร์เซ็นต์ (Roberto *et al.*, 1994 ; หรรษา และ เนริสา, 2548 ; Howard *et al.*, 2003 ; Xing *et al.*, 2009) การนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ต้องมีการย่อยหรือปรับสภาพ (pretreatment) ก่อน เช่น การย่อยด้วยเอนไซม์ (Palonen *et al.*, 2004) ย่อยด้วยกรด (Mayerhoff *et al.*,1997; Nguyen, 1998 ; Buhner and Agblevor, 2004) ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โมเลกุลคู่หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีรายงานว่ามีการนำน้ำตาลโอลิโกแซ็คคาไรด์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องสำอาง (Moure *et al.*, 2006) ส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดอินทรีย์ ไซลิทอล (Millati *et al*, 2005 ; Mayerhoff *et al.*,1997 ; Canilha *et al.*, 2003) และเอทานอล (Nguyen *et al.*, 1999 ; Taherzadeh *et al.*, 2001 ; Agbogbo and Wenger, 2006 ; Asil and Qutibi, 2009 ; Jargalsaikhan and Saracoglu, 2009)

ทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมรับประทานมากในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง มีการพัฒนาสายพันธุ์และนิยมปลูกกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยมีผลผลิตประมาณกว่าแสนตันต่อปีและในปัจจุบันเกษตรกรสามารถปลูกทุเรียนให้ผลผลิตตลอดทั้งปี (สุนันท์ และคณะ, 2544a) แต่ละปีในช่วงฤดูกาลจะมีขยะเปลือกทุเรียนเป็นจำนวนมากเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและเป็นภาระหนักในการกำจัดทิ้งอย่างมาก (Khedari *et al.*, 2003b)

เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ แอลฟา-เซลลูโลส (α-cellulose) 60.45 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) 13.09 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 15.45 เปอร์เซ็นต์ และประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 1.80 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจน 57.10 กรัมต่อกิโลกรัม และออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

512.50 กรัมต่อกิโลกรัม (Nuithikul *et al.*, 2010) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการเตรียมสารและวัสดุต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้ในการเตรียมยาต่าง ๆ ได้แก่ ใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวและสารยึดเกาะในการเตรียมยาเม็ด (Umprayn *et al.*, 1990a ; Umprayn *et al.*, 1990b) ใช้เป็นสารช่วยแขวนตะกอนและสารเพิ่มเนื้อในยาน้ำ และใช้ในการเตรียมอาหารประเภทเยลลี่และแยม (Pongsammart, 1989 ; Pongsamart *et al.*, 1989) ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ (Chandra *et al.*, 2007) ใช้เป็นส่วนประกอบวัสดุก่อสร้าง (Khedari *et al.*, 2003a ; Khedari *et.al.* 2004) ผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Siralertmukul *et al.*, 2005) และเสริมใยอาหารด้วยการทดแทนส่วนของแป้งสาลีในขนมปัง (Wanlapa *et al.*, 2010) เป็นต้น

จากข้อมูลดังกล่าวจึงสนใจศึกษาวิจัยเปลือกทุเรียนเพื่อนำมาผลิตเอทานอลโดยการใช้กรดในการย่อยซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตเอทานอลลงและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขยะเปลือกทุเรียน นอกจากนั้นยังช่วยลดภาระจากการกำจัดขยะที่เป็นภาระหนักมากของผู้เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) ศึกษาการย่อยเปลือกทุเรียนโดยการใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ที่ความเข้มข้นกรดต่าง ๆ กัน และช่วงเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้หม้อนึ่งความดันไออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
2) ศึกษาชนิดของน้ำตาลและสารอื่น ๆ ที่ได้จากน้ำย่อยเปลือกทุเรียน
3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักเอทานอลเมื่อใช้น้ำย่อยเปลือกทุเรียนเป็นวัตถุดิบหลัก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการนำเปลือกทุเรียนมาย่อยด้วยกรด 3 ชนิด คือ กรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริก หลังจากนั้นนำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และตรวจสอบชนิดของน้ำตาลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดโดย HPLC คัดเลือกสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้สูงสุดเป็นวัตถุดิบในการหมักเอทานอลด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลในขวดรูปชมพู่และในถังหมักขนาด 5 ลิตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเปลือกทุเรียนเพื่อนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล
2) สามารถลดต้นทุนในก่ารผลิตเอทานอลได้โดยใช้เปลือกทุเรียนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร
3) สามารถลดปริมาณของเหลือทิ้งทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทุเรียน (Durian)

ทุเรียนได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งผลไม้ (King of fruit) (Subhadrabandhu and Ketsa, 2002) เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในแถบเอเชียตอนใต้ ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกอันดับหนึ่งของโลกทั้งในรูปสดและแช่แข็ง (Hokputsa *et al.*, 2004) การจัดจำแนกกลุ่มทุเรียนไทยเป็นการจัดจำแนกภายใต้ระดับสปีชีส์ (species) พบว่าลักษณะที่สามารถใช้เป็นเครื่องจำแนกทุเรียนไทยได้แก่ รูปร่างใบ ปลายใบ ฐานใบ ทรงผล และหนามผล ซึ่งเป็นลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ไม่แปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม การจัดจำแนกกลุ่มพันธุ์ทุเรียนพอจะจำแนกออกได้เป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มกบ กลุ่มลวง กลุ่มก้านยาว กลุ่มกำปั่น กลุ่มทองย้อย และกลุ่มเบ็ดเตล็ด (สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ, 2544) ปัจจุบันพันธุ์ที่นิยมปลูกในทางการค้า ได้แก่ ชะนี หมอนทอง ก้านยาว และกระดุมทอง แต่ละพันธุ์ต่างมีคุณสมบัติประจำพันธุ์ที่เป็นลักษณะเด่น ลักษณะด้อย และลักษณะแปรปรวนในตนเอง ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานการผลิต มีผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรสวนทุเรียนและต่อผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (หิรัญ และคณะ, 2542)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*Durio zibethinus* Murry) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่งในแถบเอเชีย (Tongdee *et al.*, 1990 ; Boonchern and Siriphanich, 1991) อยู่ในวงศ์ (family) Bombacaceae (Martin, 1980) เจริญเติบโตในแถบร้อนชื้น มีการปลูกมากในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะมาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย และฟิลิปปินส์ เป็นผลไม้ขนาดใหญ่ หนัก ปกคลุมด้วยเปลือกหนาที่รับประทานไม่ได้และมีหนามแหลมคมรูปทรงปิรามิดสามเหลี่ยมทำให้ปลอกเปลือกยาก เมื่อสุกจะมีบริเวณที่เป็นร่องอยู่กลางแต่ละพูทำให้บริเวณนี้อ่อนลงปลอกเปลือกได้ง่ายขึ้น (Siriphanich, 1994) ปกติ แต่ละผลจะมี 5 พูแต่ละพูจะมีส่วนเนื้อที่กินได้ติดเมล็ด 1-5 เมล็ด เมื่อแก่เต็มที่จะมีสีขาวเหลืองหรือสีเหลืองทอง (Nanthachai, 1994) จากการไต่ถามเรื่องการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเก็บช่วงแก่จัดหรือระยะที่ผลสุก ในประเทศไทยจะไม่เหมือนใครจะเก็บในระยะแก่จัดก่อนที่จะสุก ในมาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์จะเก็บในขณะที่ผลสุก โดยเชื่อว่าการเด็ดจากต้นขณะผลสุกจะให้กลิ่นและรสชาติดีกว่า (Pauziah *et al.*, 1992 ; Nanthachai, 1994) ในตลาดฮ่องกงและฟิลิปปินส์นิยมมาก แต่มีข้อจำกัด คือ มีอายุการเก็บแค่ 3-4 วันเท่านั้น (Pauziah *et al.*, 1992)

ในปัจจุบันแหล่งปลูกทุเรียนของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออก ภาคใต้มีการปลูกกันมากตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป ภาคกลางมีการปลูกที่จังหวัดนนทบุรี กรุงเทพมหานคร และมีปลูกบ้างเล็กน้อยที่จังหวัดชัยนาท ภาคเหนือปลูกที่จังหวัดอุตรดิตถ์ พิษณุโลก ทางด้านภาคตะวันออกปลูกได้ทุกจังหวัดเรียงตามลำดับความสำคัญ คือ จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี (วิเชียร, 2546) ปริมาณผลผลิตทุเรียนรวมทั้งประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 แสดงดังตารางที่ 2.1 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ผลผลิตส่วนใหญ่นำมาใช้ในการบริโภคภายในประเทศทั้งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการบริโภคสดและการแปรรูปถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณที่เหลือเป็นการส่งออกทั้งในรูปของผลสดและแช่เยือกแข็ง (สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2551)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนปี พ.ศ. 2552-2556

หน่วย : ตัน

แหล่งผลิต	พ.ศ. 2552	พ.ศ. 2553	พ.ศ. 2554	พ.ศ. 2555	พ.ศ. 2556
จันทบุรี	217,200	210,890	224,755	206,175	223,899
ระยอง	93,500	83,780	90,174	74,918	72,881
ตราด	32,800	28,700	29,160	24,361	25,736
ชุมพร	122,780	66,130	56,092	110,026	127,046
นครศรีธรรมราช	41,460	40,400	18,037	21,969	17,134
สุราษฎร์ธานี	36,096	32,100	22,326	31,423	30,588
สงขลา	6,369	5,310	4,235	3,204	3,580
พัทลุง	3,645	2,930	1,039	1,115	1,150
ปัตตานี	5,226	5,250	2,078	1,899	2,310
ยะลา	40,823	39,200	27,406	15,509	16,220
นราธิวาส	17,092	15,000	8,959	2,784	6,040
อื่น ๆ	19,000	19,797	18,026	21,561	23,050
ภาคตะวันออก	343,500	323,370	344,274	305,649	322,506
ภาคใต้	299,200	224,893	147,080	197,174	217,157
รวมทั้งประเทศ	661,700	568,060	509,380	524,387	562,713

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2556)

2.2 เปลือกทุเรียน (Durian peels)

ปริมาณผลผลิตทุเรียนรวมทั้งประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 คือ 661,700, 568,000, 509,380, 524,387 และ 562,713 ตัน ตามลำดับ โดยจังหวัดจันทบุรีมีปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุดในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) จากรายงานการวิจัยของ วรวรรณ (2554) พบว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีเปลือกเป็นส่วนประกอบประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณปริมาณเปลือกทุเรียนรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2552-2556 จะมีปริมาณเปลือกทุเรียนประมาณ 410,254, 352,197, 315, 816, 325,120 และ 348,8882 ตัน ตามลำดับ จากการที่มีการผลิตและแปรรูปทุเรียนในพื้นที่จำนวนมากทำให้มีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งในปริมาณมาก ทำให้โรงงานแปรรูปและหน่วยงานของรัฐต้องแบกรับภาระในการดำเนินการกำจัด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพบ เซลลูโลส 60.45 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 13.09 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 15.45 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.35 เปอร์เซ็นต์ (Technical Association of Pulp and Paper Industry, 1998) ความชื้น 45.40 กรัมต่อกิโลกรัม สารระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

698.20 กรัมต่อกิโลกรัม และพบธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน 1.80, 57.10 และ 512.50 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Nuithikul *et al*., 2010) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่น่าสนใจหลายอย่าง จึงได้มีการนำเปลือกทุเรียนมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มต่าง ๆ หลายชนิด ดังนี้

1. สารพอลิแซ็กคาไรด์จากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ในการเตรียมยาต่าง ๆ ได้แก่ เป็นสารช่วยกระจายตัวและสารยึดเกาะในการเตรียมยาเม็ด (Umprayn *et al*., 1990a ; Umprayn *et al*, 1990b) เป็นสารช่วยแขวนตะกอนและสารเพิ่มเนื้อในยาน้ำแขวนตะกอน อิมัลชัน และใช้ในการเตรียมอาหารประเภทเยลลี่และแยม (Pongsamart, 1989 ; Pongsamart *et al*., 1989) การศึกษาองค์ประกอบน้ำตาลเบื้องต้นพบว่าสารสกัดนี้ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (glucose) แรมโนส (rhamnose) อราบิโนส (arabinose) และฟรุคโตส (fructose) จับกันเป็นโมเลกุลใหญ่ มีคุณสมบัติพองตัวได้ในน้ำเป็นเจล (Pongsamart and Panmaung, 1998) นอกจากสามารถใช้ประโยชน์ดังกล่าวแล้วยังมีแนวโน้มนำมาใช้ในทางเภสัชกรรมได้หลายรูปแบบ ได้แก่ ใช้เคลือบยาเม็ด ใช้เป็นแผ่นฟิล์มปลดปล่อยตัวยาช้า ๆ รวมทั้งในรูปของยาควบคุมน้ำหนัก (diet food) หรือยาระบาย เป็นต้น (Dumitriu, 1998) จากการทดลองดูความปลอดภัยของการบริโภคในสัตว์ทดลองหนูถีบจักรยังไม่พบการเกิดพิษรุนแรงที่จะทำให้สัตว์ทดลองตาย ขณะเดียวกันมีผลที่แสดงให้เห็นว่าการให้กินสารสกัดส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide; PG) หรือ PF_{II} จะทำให้ คอเลสเทอรอลในเลือดของสัตว์ทดลองมีระดับต่ำ (Pongsamart *et al*., 2001 ; สุนันท์ และคณะ, 2544b) และจากการศึกษาในหลอดทดลอง พบว่าส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์สามารถเก็บกักสารอาหาร คอเลสเทอรอลไว้ภายในได้ (สุนันท์ และคณะ, 2544a) สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ดังกล่าวสามารถสกัดได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จากเปลือกทุเรียนแห้งและส่วนกากที่เหลือยังสามารถนำมาเตรียมสารพอลิแซ็คคาไรด์ไฟเบอร์ (polysaccharide fiber; PF) ซึ่งคล้ายพวกเซลลูโลสไฟเบอร์ (cellulose fiber) พบว่าได้ผลผลิตประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของกากที่เหลือ (สุนันท์ และคณะ, 2544b) นอกจากนั้นยังมีการนำมาเติมลงในยาสีฟันสูตรมาตรฐานของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ 100 มิลลิกรัมต่อยาสีฟัน 1 มิลลิลิตร พบว่าความเข้มข้นดังกล่าวช่วยในการออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียภายใน 1 นาที ทำให้ฟันแข็งแรงและสามารถป้องกันฟันผุได้เนื่องจากสารดังกล่าวไปช่วยเคลือบและยังไม่พบว่ามีความเป็นพิษต่อเซลล์เหงือกหรืออวัยวะอื่นใดในช่องปาก (กานต์ดา, 2550) และนำมาทำเจลสมานแผล นำไปปิดทับแผลสดในสุกรและในสุนัขพบว่า เจลเปลือกทุเรียนสามารถใช้งานได้ดีกับแผลสดหรือแผลอักเสบ (สาลินีย์, 2550)

2. คาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon) โดยใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวก่อกัมมันต์ (activation) แล้วนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มาใช้ในการดูดซับสีเมทิลลีนบลู (methylene blue) ออกจากสารละลาย (Chandra *et al*., 2007) และมีการใช้เปลือกทุเรียนแห้งที่ไม่มีการผ่านกระบวนใด ๆ เลยเพื่อลดต้นทุนการผลิตมาเป็นตัวดูดซับสีเอสิดกรีน 25 (Acid green 25) ออกจากสารละลาย (Hameed and Hakimi, 2008) นอกจากนั้นยังมีการนำเปลือกทุเรียนมาสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนกัมมันต์โดยใช้สภาวะการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis condition) แล้วนำมาใช้ในการดูดซับสีเบสิคกรีน 4 (Basic Green 4 dye) (Nuithikul *et al.*, 2010) คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากการก่อกัมมันต์โดยวิธีการทางฟิสิกส์ มีรายงานว่าขนาดของรูพรุนจะกว้างกว่าการก่อกัมมันต์ โดยวิธีการทางเคมีจะมีรูพรุนขนาดปานกลาง (Mesoporous) (Azargohar and Dalai, 2008) และนิยมนำคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูขนาดปานกลางนี้มาใช้เป็นตัวดูดซับโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โมเลกุลของสี

3. วัสดุก่อสร้าง โดยมีการนำเส้นใยทุเรียน (*Durio zibethinus*) และมะพร้าว (*Cocos nufifera*) ซึ่งมีการนำความร้อนและความหนาแน่นต่ำมาใช้เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์แข็งหรือคอนกรีต ทำให้น้ำหนักเบาขึ้น (Thongsumrit and Viengsima, 1995) และนำมาผลิตแผ่นไม้อัดกันความร้อน (particleboards) จากการเปรียบเทียบกับแผ่นไม้อัดที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า สามารถควบคุมความกว้าง ความยาว ความหนาแน่นได้ดีกว่าไม้ธรรมชาติ (Khedari *et al.*, 2001) แต่ความยืดหยุ่นจะต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีการนำความร้อนต่ำกว่าจึงสามารถประหยัดพลังงานได้มากเมื่อนำมาใช้แทนวัสดุที่ใช้ทำเพดานและผนัง และยังสามารถนำมาใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ได้อีกด้วย เป็นการช่วยบริหารจัดการของเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกทาง (Khedari *et al.*, 2003a ; Khedari *et al.*, 2004)

4. ดูดความชื้นในแอร์ ปกติตัวดูดความชื้นในแอร์จะใช้สารเคมีในรูปของแข็งและของเหลว เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) และซีโอไลต์ (zeolite) โดยมีรายงานว่าสามารถดูดซับความชื้นได้ดีแต่อุณหภูมิที่ออกมาจากแอร์จะสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้แอร์เย็น เมื่อเร็วๆ นี้มีการศึกษาการใช้ใส้ปอกระเจา (kenaf core) เป็นตัวดูดซับความชื้นโดยเปรียบเทียบกับซิลิกาเจล พบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาบรรจุเป็นตัวดูดซับความชื้นและสามารถใช้แทนตัวดูดความชื้นเคมีได้ (Willium, 1999) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการใช้เมล็ดธัญพืชเป็นตัวดูดความชื้นในเครื่องอบแห้งด้วย (Ziegler and Richter, 1998) และได้ศึกษาการใช้กาบมะพร้าวและเปลือกทุเรียนแห้งเป็นตัวดูดความชื้นในแอร์ที่มีระบบควบคุมแบบเปิด เปรียบเทียบกับการใช้ ซิลิกาเจลพบว่า สามารถดูดซับความชื้นได้ดีกว่าอุณหภูมิที่ออกมาจากแอร์ต่ำกว่า ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานในการทำให้แอร์เย็นลงได้ (Khedari *et al.*, 2003b)

5. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือซีเอ็มซี (carboxymethyl cellulose, CMC) ซึ่งเป็นสารจำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ชนิดหนึ่ง มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยมีการทดลองผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนเพื่อผลิตเป็นฟิล์มซึ่งมีคุณสมบัติย่อยสลาย พร้อมทั้งพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้นด้วยการใส่สารเติมแต่งเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และการเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ พบว่า เปลือกทุเรียนสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่ละลายน้ำได้ ไวต่อน้ำ และมีการดูดซึมความชื้นได้ดี มีศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ เช่น บรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัณฑ์ของปุ๋ย หรือยาฆ่าแมลงที่ต้องละลายน้ำ แต่ยังคงมีความสามารถในการปิดผนึกที่น้อยอยู่บ้าง เพราะจะต้องใช้วิธีการปิดผนึกอื่นที่ไม่ใช่การปิดผนึกด้วยความร้อน และต้องมีบรรจุภัณฑ์ชั้นนอกเพื่อป้องกันความชื้นก่อนการใช้งานอีก และพบปัญหาความไม่แข็งแรงและคงทนของพลาสติก ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ยังไม่ได้ประสิทธิภาพ (นิลวรรณ และคณะ, 2552)

6. เสริมใยอาหาร มีการศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนด้วยการทดแทนส่วนของแป้งสาลีจำนวน 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเพิ่มปริมาณใยอาหารจากเปลือกทุเรียนโดยการทดแทนส่วนของแป้งในขนมปังในระดับที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลง มีสีคล้ำมากขึ้น มีเนื้อสัมผัสนิ่มลง เหนียวเพิ่มขึ้นและยืดหยุ่นตัวลดลง การเสริมใยอาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้ปริมาตรและเนื้อสัมผัสของขนมปังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้มีการเสริมใยอาหาร การเสริมใยอาหารในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี ปริมาตร และเนื้อสัมผัสของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนในขนมปังจึงทำได้ในปริมาณไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (Wanlapa *et al.*, 2010)

7. ยับยั้งและควบคุมการเจริญของแบคทีเรีย โดยศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผลไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มังคุดสุก ส้มเขียวหวาน กล้วยน้ำว้าดิบ และหมากสงดิบ เมื่อสกัดด้วยน้ำร้อน เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซีโตน พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดด้วยอะซีโตนให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียทุกชนิดที่ทดสอบ คือ *Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus, Escherichia coli* และ *Salmonella typhimurium* สูงที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) น้อยกว่า 195.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมา คือ สารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยอะซีโตน มีค่า MIC ต่อ *B. subtilis* และ *S. typhimurium* เท่ากับ 373 และ 273 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีค่า MIC ต่อ *S. aureus* และ *E. coli* เท่ากัน คือ 2,984 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากเปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทดสอบด้วยอะซีโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำร้อนและสารสกัดด้วยเอทานอล และพบว่า ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจพบในเปลือกผลไม้ นอกจากนี้เปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทำการศึกษาสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (Tantipaibulvut *et al.*, 2012) และมีการนำสารสกัดหยาบเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จากพืช 10 ชนิด ได้แก่ เปลือกทุเรียน ใบฝรั่ง เปลือกกล้วย เปลือกทับทิม เปลือกส้ม เปลือกมังคุด กานพลู กระเทียม สะเดา และใบยอ ไปใช้ในการการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* (Xac-Hys) ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคแคงเกอร์ของพืชตระกูลส้ม ด้วยวิธี paper disc diffusion method พบว่า สารสกัดจากพืช 4 ชนิด ที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

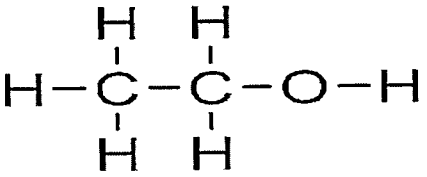
แบคทีเรีย ได้แก่ สารสกัดจากใบฝรั่ง เปลือกมังคุด เปลือกทับทิม และกานพลู มีรายงานว่าพืชดังกล่าวมีสารออกฤทธิ์ คือ แทนนิน (tannin) และยูจีนอล (eugenol) ด้วยประสิทธิภาพของสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทั้งสองชนิดนี้ อาจส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย X. a. pv. citri (Xac-Hys) ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุดพบว่ามีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่การยับยั้งมากกว่าสารสกัดจากใบฝรั่ง เปลือกทับทิม และ กานพลู ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน คือ 25,000 พีพีเอ็ม อาจเนื่องมาจากเปลือกมังคุดมีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์กลุ่มแทนนิน ในปริมาณสูงกว่าพืชทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งมีปริมาณสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักอื่นๆ อีกหลายชนิด โดยเฉพาะส่วนของเปลือกมังคุด ในปริมาณสูง โดยสารสำคัญดังกล่าวมีรายงานว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ได้หลายกลุ่ม (สิริวรรณ และฐานันดร, 2557)

8. ผลิตเพคติน โดยศึกษาปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเปลือกส่วนด้านนอกและด้านใน และเพื่อหาเทคนิคขั้นตอนที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนโดยเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากสภาวะต่างๆ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมซึ่งสกัดเพคตินได้มากที่สุดคือการใช้เวลาสกัด 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พีเอช 2 และล้างตะกอนด้วยอะซิโตน โดยพบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนด้านในได้ปริมาณเพคตินต่อน้ำหนักแห้งเท่ากับ 11.74 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าที่สกัดจากเปลือกด้านนอกซึ่งได้เพคตินเท่ากับ 7.91 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเฉลี่ยคิดเป็น 50.10 และ 47.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเพคตินทางการค้าที่มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเท่ากับ 39.63 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น พบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนด้านในและด้านนอกมีปริมาณดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชันเฉลี่ย 66.34 และ 82.75 ตามลำดับ ปริมาณเมทอกซิลเฉลี่ย 10.83 และ 13.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีคุณสมบัติเป็นเพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิลสูง (รัชฎาพร และ อธิยา, มปป)

2.3 การผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

เอทานอล (Ethanol) หรือที่เรียกว่า เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี จุดติดไฟ และระเหยง่าย มีสูตรทางเคมี คือ C_2H_5OH แสดงดังภาพที่ 2.1 สามารถละลายได้ในน้ำและสารละลายอื่น ๆ มีจุดเดือด 78.32 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -243.1 องศาเซลเซียส เอทานอลสามารถผลิตได้ 2 วิธี คือ การสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis) และการหมักโดยจุลินทรีย์ (Yeast Fermentation) ปัจจุบันเอทานอลที่ผลิตส่วนใหญ่ จะได้จากกระบวนการทางชีวภาพที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเอทานอล
ที่มา : https://www.google.co.th

การผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรม สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การผลิตเอทานอลทางเคมีและการผลิตเอทานอลทางชีวภาพ (Liu *et al.*, 2012) การผลิตเอทานอลทางเคมีเป็นวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี มีข้อดีหลายประการ เช่น ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วและให้ความถูกต้องซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างใกล้เคียงและแน่นอน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์เอทานอลมีหลากหลายวิธี และใช้เวลาในการผลิตไม่นาน เหมือนกระบวนการหมักเอทานอลด้วยวิธีการทางชีวภาพ ส่วนข้อเสียของวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลทางเคมี คือ สารเคมีที่ใช้ผลิตมีราคาแพง และเอทานอลที่ผลิตได้มีสารปนเปื้อนที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมปนมาในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ กฎหมายจึงไม่อนุญาตให้นำเอทานอลจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีไปใช้รับประทานหรือใช้ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต การสังเคราะห์เอทานอลในทางเคมี สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาของการสังเคราะห์เอทานอลทางเคมีจะรุนแรงหรือมีความจำเพาะ และของเสียจากกระบวนการผลิตมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมจึงไม่นิยมใช้วิธีการผลิตโดยทางเคมี (ชุติมา, 2548)

สาหรับการผลิตเอทานอลทางชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นซึ่งส่วนใหญ่จะหมายถึงสารละลายน้ำตาล หากเป็นวัตถุดิบที่ไม่ใช่น้ำตาล เช่น แป้งหรือเซลลูโลส จำเป็นต้องเปลี่ยนวัตถุดิบเหล่านั้นให้กลายเป็นน้ำตาลที่สามารถหมักได้ก่อน ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าการปรับสภาพ ให้กลายเป็นเอทานอลโดยอาศัยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตที่สำคัญคือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Zymomonas mobilis* ข้อดีของการผลิตเอทานอลทางชีวภาพคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี ต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์เอทานอลด้วยวิธีทางเคมี นอกจากนี้ปริมาณของวัตถุดิบยังมีมากและหาได้ง่าย โดยเฉพาะของเหลือทิ้งทางการเกษตร ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่พืชผลทางการเกษตร สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ช่วยลดขยะ และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ตัวอื่นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ทำน้ำแข็งแห้ง น้ำโซดา และเอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งผลิตได้จากยีสต์ก็สามารถนาไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมัก

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ (คณะกรรมาธิการพลังงาน, 2545) ดังนี้

1) วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ เป็นต้น

2) วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล บีทรูท ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น

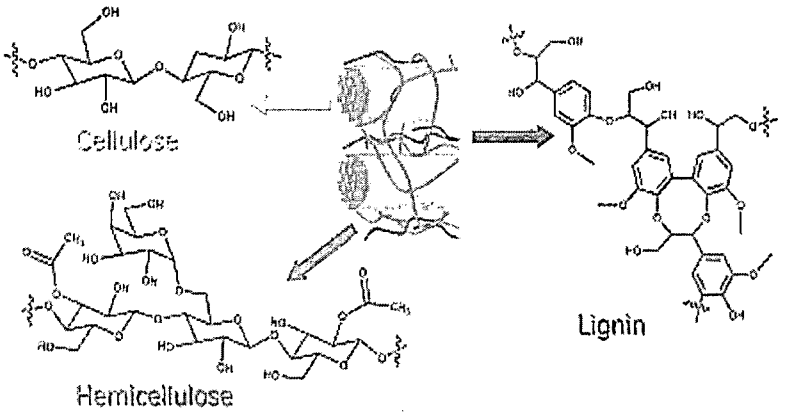
3) วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด รำข้าวเศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น

ของเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมกำลังได้รับความสนใจนำมาใช้ประโยชน์ในด้านผลิตเอทานอลเพื่อใช้ในด้านพลังงาน เนื่องจากราคาน้ำมันที่สูงขึ้น และเป็นการสำรองไว้ใช้แทนพลังงานจากฟอสซิส (fossil fuel) ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย (Parisi, 1989) การที่ของเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถนำมาใช้ผลิตเอทานอลได้นั้น เนื่องจากองค์ประกอบหลักเป็นลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนเฮมิเซลลูโลส สามารถถูกย่อยได้ง่ายในกรดเจือจาง ภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น ไซโลสและกลูโคส น้ำตาลที่ผลิตได้สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลได้โดยยีสต์ ปัจจุบันกระบวนการหมักเอทานอลในทางอุตสาหกรรมจะใช้น้ำตาลเฮกโซสที่เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสจากน้ำที่ได้จากการย่อยเฮมิเซลลูโลสมาใช้ในการผลิตเอทานอล (Jargalsaikhan and Saracoglu, 2009)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในอัตราส่วน 4 : 3 : 3 (Brauns and Branus, 1960) สูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.2

เซลลูโลส คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในผนังเซลล์พืช เกิดจาก ดี-กลูโคสต่อกันเป็นสายยาว ช่วยทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงป้องกันการแตกของเซลล์ ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสเหมือนกับแป้ง แต่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา (β-1,4 – glycosidic bones) เอนไซม์อะไมเลสจึงไม่สามารถย่อยได้ เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ และไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกระเพาะอาหารหรือลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยกเว้นสัตว์กินพืชเท่านั้นที่สามารถใช้เซลลูโลสเป็นพลังงานเพราะสัตว์กลุ่มนี้มีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในกระเพาะสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ (ดาวัลย์, 2548) มีการประเมินกันว่าทั่วโลกพืชสามารถผลิตเซลลูโลสได้มากถึง 100 พันล้านตันในแต่ละปี (Campell and Reece, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

ที่มา : https://www.google.co.th/search?q=cellulose&biw

เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ของพืชเช่นกันแต่เป็นสารพอลิเมอร์ของพวก ดี-ไซโลส ซึ่งมีแขนงข้างเป็นน้ำตาลอะราบิโนสหรือน้ำตาลชนิดอื่นๆ มีสายสั้นกว่าเซลลูโลส สูตรโครงสร้างแสดง ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์อะโรมาติกที่ไม่มีรูปผลึกจะเกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใยทำหน้าที่ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน โครงสร้างพื้นฐานของลิกนินคือฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ลิกนินไม่สามารถถูกย่อยได้โดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนแต่จะถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยพวกเชื้อราประเภท white rot fungi และ moulds (Betts, 1991)

องค์ประกอบหลักของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวสาลี ฟางข้าว ชานอ้อย ผักตบชวา ซังข้าวโพด เปลือกลูกนัด ไม้โอ๊ก และใบข้าวโพด ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่พบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัตถุดิบ	องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์)			เอกสารอ้างอิง
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	
ฟางข้าวสาลี	49.7	26.4	8.4	Delgenes *et al.*, 1990
ฟางข้าว	32	24	13	Roberto *et al.*, 1994
ชานอ้อย	34.08	20.31	8.39	หรรษา และเนริสา, 2548
ผักตบชวา	65.2	20	12	Nasimul *et al.*, 2002
ซังข้าวโพด	45	35	15	Howard *et al.*, 2003
เปลือกลูกนัท	25-30	25-30	30-40	Howard *et al.*, 2003
ไม้โอ๊ก	49.3	25.9	21.7	Lee *et al.*, 2003
ใบข้าวโพด	33.64	24.4	8.65	Xing *et al.*, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การปรับสภาพวัตถุดิบ การย่อยวัตถุดิบให้เป็นน้ำตาล และการหมักให้ได้เอทานอลออกมา ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 กระบวนการการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Sun and Cheng (2002)

2.3.1 การปรับสภาพขั้นต้นวัตถุดิบ (pretreatment)

การปรับสภาพขั้นต้นวัตถุดิบเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตเอทานอล เพื่อให้เข้าสู่กระบวนการย่อย (hydrolysis) วัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดอุปสรรคในขั้นตอนการหมักด้วย (Sun and Cheng, 2002) โดยวิธีการปรับสภาพขั้นต้นแบ่งออกเป็น 4 วิธี (ประเวทย์ และคณะ, 2552) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1.1 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ (physical pretreatment) ที่นิยม คือ การลดขนาดโดยวิธีการบด ซึ่งวิธีการบดเป็นการบดผลึกของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมากและในแต่ละไมโครไฟบริลนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) ให้แตกออก เพื่อให้สารละลายย่อยสลายได้ง่ายขึ้น รวมทั้งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบทำให้สารละลายทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น โดยรายงานการวิจัยของ เสรี และเฉลิม (2555) มีการนำลำต้นมันสำปะหลังมาสับ ให้ได้ขนาดประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมาบดให้ละเอียดให้ได้ขนาดประมาณ 500 ไมครอน แล้วเก็บไว้ในภาชนะที่แห้งและปิดให้มิดชิด เพื่อป้องกันความชื้นก่อนการนำไปใช้

2.3.2.1.2 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (chemical pretreatment) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) การใช้กรด เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารละลายกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก ทำให้เฮมิเซลลูโลสละลายน้ำออกมา กระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การใช้กรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.5 – 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาวะนี้จะได้ผลผลิตของเฮมิเซลลูโลสสูงถึง 75 – 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ การใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดสารข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์และเป็นพิษต่อกระบวนการหมักในขั้นตอนต่อไป ถึงแม้ว่าการใช้กรดอ่อนจะมีต้นทุนต่ำ แต่การกำจัดสารพิษที่เกิดขึ้นมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการคิดกระบวนการใหม่โดยเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ใช้และใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้สามารถลดการเกิดสารพิษลงได้ (ณัตติยา, 2553)

Zhang *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากต้นธูปฤาษี โดยการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 – 1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 140–180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5–10 นาที ผลจากการปรับสภาพ พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคสสูงถึง 97.1 เปอร์เซ็นต์

ณัตติยา (2553) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 2 โมลาร์ ภายใต้ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 6.12 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้มากกว่าการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1 โมลาร์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 4.15 และ 5.16 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2) การใช้ด่าง เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีผลทำให้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินละลายน้ำออกมา และยังทำให้เกิดการพองตัว (swelling) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ

ระวีวรรณ (2537) ได้ทำการปรับสภาพฟางข้าวขั้นต้นโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะทำให้การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์เซลลูเลสเกิดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกศมณี และคณะ (2546) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกสับปะรด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลาร์ พบว่า ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณเซลลูโลส 91.32 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 0.46 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 4.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.3.2.1.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีฟิสิกส์ (physic - chemical pretreatment) เป็นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมี เช่น การใช้สารละลายด่างเจือจางและความร้อนภายใต้ความดันสูง ในการปรับสภาพ ซึ่งประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายด่างและความร้อน เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นการแตกตัวของน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสารประเภทเฟอฟิวรอล (furfural) ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) หรือ กรดฟอร์มิก (formic) เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวขัดขวางขั้นตอนในการ ไฮโดรไลซิส (ชัชนันท์ และเฉลิม, 2555)

Acebal *et al.* (1986) ปรับสภาพฟางข้าว โดยเปรียบเทียบวิธีทางกายภาพคือ การบดและวิธีการทางเคมีฟิสิกส์ การบดและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ในการปรับสภาพฟางข้าวทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเซลลูโลสสูงกว่าการใช้วิธีทางกายภาพเพียงอย่างเดียว คือ 0.557 เปอร์เซ็นต์ และ 0.240 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่อมา Badal (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนในสภาวะความดันสูงในการปรับสภาพฟางข้าวต่อกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ พบว่า ประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความร้อนภายใต้สภาวะความดันสูงเพียงอย่างเดียวการไฮโดรไลซิสลดลงเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแตกตัวของน้ำตาลที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็นสารประเภทเฟอฟิวรอล สารฟอร์มัลดีไฮด์ หรือ กรดฟอร์มิก ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์

2.3.2.1.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ (biological pretreatment) เป็นการใช้เอนไซม์เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างที่ซับซ้อนของเซลลูโลสให้อยู่ในรูปโซ่ตรงและช่วยลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับขั้นตอนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (ชัชนันท์ และเฉลิม, 2555) จากรายงานการวิจัยของกัลยา และคณะ (2548) ได้นำกากมันสำหลังปะหลังแห้งและบดละเอียดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชเท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 44.59 เปอร์เซ็นต์ นำสารละลายจากปฏิกิริยาที่ได้มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสที่พีเอช เท่ากับ 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 79.99 เปอร์เซ็นต์

ปัจจุบันมีวิธีการปรับสภาพขั้นต้นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีการต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอล ตารางที่ 2.3 ได้รวบรวมประสิทธิภาพของของวิธีการปรับสภาพขั้นต้นต่าง ๆ ของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพขั้นต้นวัสดุลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีต่าง ๆ

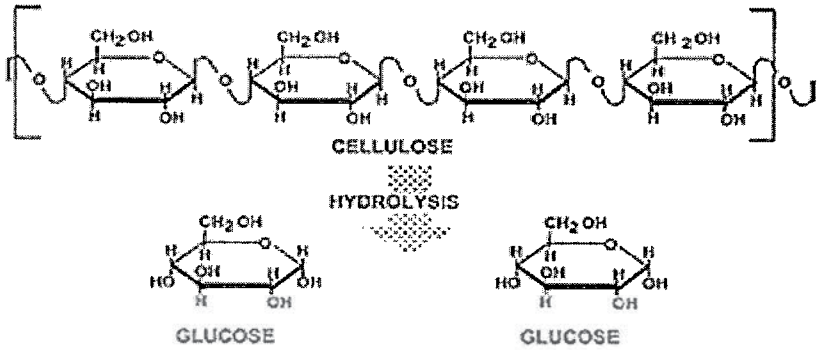
ประเภทการปรับสภาพ	วิธีการ	วัตถุดิบ	น้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับวัตถุดิบที่ไม่ปรับสภาพขั้นต้น	งานการศึกษา
กายภาพ	ไมโครเวฟ	วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเอทานอล	1.93	Linde *et al.*, 2008
	เครื่องบดบอลมิลล์ (ball milling)	ยูคาลิปตัส	5.10	Inoue *et al.*, 2008
เคมี	โซเดียมไฮดรอกไซด์	เหง้ามันสำปะหลัง	1.32	พรรณวิไล, 2545
	กรดซัลฟูริกเจือจาง	กากมันสำปะหลัง	2.00	Kosugi *et al.*, 2009
	กรดฟอสฟอริกเจือจาง	ซังข้าวโพด	1.37	Um *et al.*, 2003
เคมี กายภาพ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับไอน้ำความร้อนและน้ำ	เปลือกมันสำปะหลัง	1.16	กัลยา, 2546
	ไมโครเวฟร่วมกับกรดซัลฟูริกเจือจาง	กากมันสำปะหลัง	2.50	Kosugi *et al.*, 2009
		วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเอทานอล	2.71	Linde *et al.*, 2008
ชีวภาพ	เอนไซม์เซลลูเลส เพคติเนส เฮมิเซลลูโลส และเบต้ากลูโคซิเดส	กากมันสำปะหลัง	2.50	Kosugi *et al.*, 2009

2.3.2 การย่อย (hydrolysis)

การย่อยหรือไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการเปลี่ยนพอลิแซ็กคาไรด์ (แป้งและเซลลูโลส) เป็นน้ำตาล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยอย่างสมบูรณ์ คือ กลูโคส ดังสมการ 2.1 (คุณากรณ์, 2549; กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) กระบวนการเปลี่ยนจากเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสแสดงดังภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(C_6H_{10}O_5)n + nH_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6 \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$



ภาพที่ 2.4 กระบวนการย่อยเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลกลูโคส
ที่มา: Sun and Cheng (2002)

การย่อยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การย่อยด้วยสารเคมีและการย่อยด้วยเอนไซม์ (พักตร์ประไพ, 2546)

2.3.2.1 การย่อยด้วยสารเคมี เช่น สารละลายกรดหรือด่าง จะเกิดปฏิกิริยาทำลายพันธะไกลโคซิดิก ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 กับออกซิเจนภายใต้สภาวะที่รุนแรง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยอย่างสมบูรณ์คือ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส

1) การย่อยด้วยกรด (acid hydrolysis) แบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ คือ

ก. กระบวนการใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริกเข้มข้น ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส แต่ข้อเสีย คือ จะต้องมีการแยกกรดออกจากน้ำตาลก่อนนำไปใช้และการนำกรดกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งปัญหาการสูญเสียกรดไปกับส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายและการผุกร่อนของเครื่องมือจากการใช้กรดแก่

Aguilar *et al.* (2002) ย่อยซานอ้อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 100 - 128 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-300 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อย คือ กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 นาที สารละลายที่ย่อยได้ประกอบด้วยไซโลส กลูโคส เฟอฟิวรอล และกรดอะซิติก ปริมาณ 21.6, 3.0, 0.5 และ 3.65 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะนี้เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยไป 90 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าความเข้มข้นของไซโลสจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิ 122 และ 128 องศาเซลเซียส เกิดจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลไซโลสเป็นเฟอฟิวรอล และกลูโคสที่ได้มาจากส่วนพอลิเมอร์ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักต่อไป ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกมีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของกลูโคสโดยพบว่าปริมาณกลูโคสสูงที่สุด 8.86 กรัมต่อลิตร เมื่อใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 128 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าน้ำตาลกลูโคสเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นไฮดรอกซิเมทิลเฟอฟิวรอล

Gamez *et al.* (2006) ย่อยชานอ้อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2-6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-300 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยคือ กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที ที่สภาวะนี้พบน้ำตาลไซโลส 17.6 กรัมต่อลิตร อะราบิโนส 2.6 กรัมต่อลิตร กลูโคส 3 กรัมต่อลิตร เฟอฟิวรอล 1.2 กรัมต่อลิตร และกรดอะซิติก 4.0 กรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาลไซโลสและกลูโคสเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและเวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มขึ้น

ชมพูนุช (2547) ผลิตน้ำตาลทางการย่อยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ชานอ้อย เปลือกทุเรียน และฟางข้าว ด้วยกรดซัลฟูริกร่วมกับการใช้รังสีแกมมาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการย่อย คือ กรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยชานอ้อย เปลือกทุเรียน และฟางข้าว 53.73, 47.83 และ 49.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การฉายรังสีปริมาณ 100 กิโลเกรย์ ร่วมกับการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีพบว่า ตัวอย่างชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ทุเรียนและฟางข้าวเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉายรังสีที่ 75 กิโลเกรย์

ข. กระบวนการใช้กรดอ่อน เป็นการใช้กรดออนที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการย่อยคือ เซลลูโลสยังมีโครงสร้างเป็นเส้นใยอยู่และวิธีการนี้จะไม่สามารถนำกรดกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่จะถูกทำให้เป็นกลางด้วยปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์บอเนต

การย่อยด้วยกรดเจือจาง (dilute acid hydrolysis) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตน้ำตาลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสเนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วและใช้ต้นทุนต่ำ (Sivers *et al.*, 1996) เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโตส (pentose) และเฮกโซส (hexose) พอลิเมอร์นี้สามารถย่อยได้ง่ายได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monomeric sugars) ชนิดต่าง ๆ เช่น ไซโลส และกลูโคส เมื่อใช้กรดเจือจางภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง ซึ่งสามารถยืนยันได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Chen and Gong, 1985 ; Parekh *et al.*, 1988 ; Ferrari *et al.*, 1992 ; Eken-Saracoglu *et al.*, 1998 ; Aguilar *et al.*, 2002 ; Jargalsaikhan and Saracoglu, 2009) แต่ปัญหาหนึ่งที่เกิดจากการย่อยด้วยกรดเจือจาง คือ การเกิดสารประกอบที่เป็นพิษ (toxic compounds) เช่น ฟูแรน (furans) กรดอะลิพลาติค (aliphatic acid) (Taherzadeh *et al.*, 1999) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) (Palmqvist and Hahn-Hagerdal, 2000) ซึ่งการกำจัดสารพิษ (detoxification) เหล่านี้โดยการใช้ด่าง (alkali) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เพื่อปรับสภาพน้ำย่อยให้เหมาะสำหรับใช้ในการหมักต่อไป หลักการของวิธีการนี้ คือ เปลี่ยนอนุพันธ์ของฟูแรนไปอยู่ในรูปสารประกอบอื่นที่เป็นพิษน้อยลง (Persson *et al.*, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

141267

Eken-Saracoglu *et al.*, (1998) ย่อยเฮมิเซลลูโลสในซังข้าวโพดแบบกะด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 นอร์มัล โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดต่อซังข้าวโพดเท่ากับ 4: 1 ย่อยในหลอดแก้วที่ปิดฝาสนิทแบบช้าและแบบเร็ว ที่อุณหภูมิ 98-130 องศาเซลเซียส และย่อยเปลือกเมล็ดทานตะวันแบบกะด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2, 0.6 และ 1.0 นอร์มัล ใช้อัตราส่วนสารละลายกรดต่อเปลือกเมล็ดทานตะวันเท่ากับ 4 : 1 ย่อยในหลอดแก้วที่ปิดฝาให้สนิทที่อุณหภูมิ 98-130 องศาเซลเซียส แบบช้าและแบบเร็ว วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลพบว่า ซังข้าวโพดมีน้ำตาลเท่ากับ 78.9 กรัมต่อลิตร เปลือกเมล็ดดอกทานตะวันมีน้ำตาลเท่ากับ 70.5 กรัมต่อลิตร ซังข้าวโพดให้ผลผลิตสูงกว่าเกิดจากความแตกต่างของโครงสร้างเฮมิเซลลูโลสของวัตถุดิบทั้งสองชนิดแตกต่างกัน เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยในโครงสร้างของพอลิเมอร์แบบสุ่ม พืชต่างชนิดกัน โครงสร้างต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการย่อยต่างกัน ปริมาณน้ำตาลกลูโคสพบต่ำมากแสดงว่าเซลลูโลสยังคงไม่ถูกย่อย เนื่องจากไซแลน (xylan) เป็นโครงสร้างหลักของเฮมิเซลลูโลสจะถูกทำให้แตกออกที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 0.2, 0.4 และ 1 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 98, 120 และ 130 องศาเซลเซียส แต่ระหว่างเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเฟอฟิวรอล (furfural) และพบว่าเปลือกเมล็ดทานตะวันจะเหมาะต่อการย่อยแบบเร็ว ส่วนซังข้าวโพดจะเหมาะกับการย่อยแบบช้า

Nguyen (1998) ย่อยไม้เนื้ออ่อนโดยใช้กรดเจือจาง ขั้นตอนแรกใช้กรดซัลฟูริก 0.7 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ขั้นตอนที่สองใช้กรดซัลฟูริก 0.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 215 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที นำน้ำที่ได้จากการย่อยในแต่ละขั้นตอนมารวมกันและปรับพีเอชให้เป็นกลาง วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลพบ แมนโนส 89 เปอร์เซ็นต์ กาแลกโตส 82 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาหมักด้วย *S. cerevisiae* พบว่าประสิทธิภาพการหมักเอทานอลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

Nguyen *et al.* (1999) นำเศษไม้ 3 ชนิดที่ได้จากป่าที่มีไม้เนื้ออ่อนอยู่อย่างกระจัดกระจายมาเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลโดยการย่อยด้วยกรดเจือจาง 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกนำเศษไม้มาแช่ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.4-0.7 เปอร์เซ็นต์ และใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลสประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำการกรองน้ำที่ได้จากการย่อยและนำไปหาปริมาณน้ำตาล ตะกอนที่เหลือนำมาล้างน้ำอบให้แห้งเป็นเวลา 1 คืน นำมาแช่ในกรดเจือจางครั้งที่ 2 แต่ย่อยโดยใช้อุณหภูมิ 210-220 องศาเซลเซียสพบเซลลูโลส 45 เปอร์เซ็นต์ของเซลลูโลสที่ยังคงเหลืออยู่ ผลผลิตที่ได้คือน้ำตาลเฮกโซส 74-89 เปอร์เซ็นต์ โอลิโกแซ็กคาไรด์มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และพบว่าอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสจะเกิดการสูญเสียเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าแต่จะเกิดเฟอฟิวรอล (furfural) และไฮดรอกซิเมทิลเฟอฟิวรอล (hydroxymethyl furfural; HMF)

Kim *et al.* (2001) ย่อยเซลลูโลสโดยการใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.07 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักภายใต้สภาวะที่รุนแรงคือ อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองแบบ batch reactors และ bed-shrinking flow-through (BSFT) พบว่าแบบกะ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลูโคส 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 205 และ 220 องศาเซลเซียส และพบว่ากลูแคนยังคงอยู่ในส่วนของแข็งสูง ส่วนแบบ BSFT จะได้กลูโคส 87.5, 90.3 และ 90.8 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 205, 220 และ 235 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การย่อยกลูแคนจะมีความสัมพันธ์กับทุกอุณหภูมิภายใต้สภาวะ ELA (extreamly low acid) กลูโคสจะทำปฏิกิริยาควบแน่นกับสารที่ไม่มีพันธะไกลโคซิดิก (nonglycosidic) ในส่วนของเหลวเปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิเมทิลเฟอฟิวรอล สังเกตได้จากผลผลิตกลูโคสจะลดลง จากผลการทดลองแสดงว่าสภาวะ ELA สามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสได้ในปริมาณสูงจึงเป็นวิธีการที่ควรปฏิบัติก่อนการใช้เอนไซม์ในการย่อยต่อไป

Byung-Hwan *et al.*, (2003) ทำการล้างเปลือกข้าวโพดด้วยน้ำกลั่น กรองปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 และแช่ในสารละลายทวีน-80 ปริมาณ 0-10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาย่อยแบบกะโดยใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ความเข้มข้น 0-2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้ความเข้มข้นของของแข็ง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-120 นาที พบว่าการใช้กรดเจือจางเป็นวิธีแยกเฮมิเซลลูโลสและย่อยเซลลูโลสที่มีประสิทธิภาพ จะย่อยเซลลูโลสได้ 62-90 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้กรดซัลฟูริกจะมีประสิทธิภาพในย่อยเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสดีกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก การใช้สารลดแรงตึงผิวจะมีประสิทธิภาพในการย่อยมากกว่าไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว

Jargalsaikhan and Saracoglu (2009) นำกากเปลือกเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการผลิตน้ำมัน มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.7 โมลาร์ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่าง 1 : 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 37 กรัมต่อลิตร กำจัดสารพิษในน้ำย่อยโดยวิธีโอเวอร์ลิมมิ่ง (overliming) คือ ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชให้เท่ากับ 10 ทำการกรอง และปรับพีเอชให้ลดลงเป็น 6.0 ด้วยกรดซัลฟูริก นำมาหมักเอทานอลโดยใช้เชื้อ *Pichia stipitis* ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้อาหาร 135 มิลลิลิตร กล้าเชื้อ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้น 4.6-7.4 อัตราเขย่า 55-150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 300 ชั่วโมง พบว่าที่สภาวะพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 อัตราการเขย่า 100 รอบต่อนาที ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุด 12.9 กรัมต่อลิตร

2) การย่อยด้วยด่าง (alkaline hydrolysis)

สารเคมีที่นิยมใช้ในการย่อย คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เอทิลลีนไดอะมีน และแอมโมเนีย เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้สายของพอลิแซ็กคาไรด์สั้นลง ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียสและต้องการออกซิเจนปริมาณเล็กน้อย

นุจรีย์ และอนงค์นาฏ (2555) นำใบอ้อยมาสกัดน้ำตาลกลูโคสโดยกระบวนการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด เมื่อใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นเวลา 60 นาที และปริมาณใบอ้อยที่ใช้ 125 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส และการย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที และปริมาณใบอ้อย 125 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส การย่อยด้วยกรดจะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากกว่าการใช้ด่าง ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดเท่ากับ 109.6 กรัมต่อลิตร

พิชญ์สินี และคณะ (2556) ศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวด้วยด่างโดยใช้สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า สามารถกำจัดลิกนินได้ 38.6 และ 77.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลาดับ การปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดลิกนินแต่ไม่ย่อยเซลลูโลส หลังจากการย่อยพบเซลลูโลส 67 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพไปย่อยด้วยเอนไซม์พบว่า เอนไซม์ย่อยเซลลูโลสและไซแลนได้ดีขึ้น สามารถผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น 3.5 และ 0.3 เท่าเมื่อทำการปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลาดับ จากการวิเคราะห์น้ำตาลด้วย HPLC พบว่า การปรับสภาพฟางข้าวด้วยแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมที่สุดต่อการย่อยโดยใช้เอนไซม์เชิงซ้อน โดยสามารถผลิตน้ำตาลกลูโคสได้ 2.6 กรัมต่อลิตร และผลิตน้ำตาลไซโลสได้ 8.08 กรัมต่อลิตร

2.3.2.2 การย่อยด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis)

การย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนแป้งและเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส โดยเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยทั่วไปจะผลิตจากเชื้อราและแบคทีเรีย เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาภายในเซลล์และมีความจำเพาะต่อสับสเตรท จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโดยมีผลผลิตข้างเคียงน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ทำให้เกิดการผุกร่อนของเครื่องมือ (พักตร์ประไพ, 2546)

ข้อดีของการย่อยด้วยเอนไซม์ คือ เอนไซม์มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยา ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดผลค้างเคียงต่อปฏิกิริยาหรือผลพลอยได้และการย่อยสสายสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ (Ballesteros *et al.*, 2008)

Srinorakutara *et al.* (2006) นำกากมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตเอทานอลได้โดยผ่านขั้นตอนการปรับสภาพ (pretreatment) ด้วยการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล การย่อยด้วยกรดจะใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2-5.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 60, 110 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และใช้อัตราส่วนกากมันสำปะหลังต่อกรดเท่ากับ 1:2 พบว่า การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดเท่ากับ 6.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในขณะที่การย่อยด้วยเอนไซม์ผสมพบว่า การใช้เอนไซม์ผสมระหว่างเซลลูเลสและเพคติเนส ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช 4.5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ย่อยต่อด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช 5.5 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 6.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

Aita *et al.* (2011) ผลิตเอทานอลจากชานอ้อยโดยการปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 28 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และน้ำ อัตราส่วน 1:0.5:8 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้ความดัน 09 -1.1 MPa หลังจากผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการนี้พบว่าจะมีลิกนินหลุดออกมา 55 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 30 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 9 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ๆ เช่น เถ้า โปรตีน อีกประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสได้กลูโคสเท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลผลิตเอทานอล 23 กรัมเอทานอลต่อ 100 กรัมชานอ้อยแห้ง การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยแอมโมเนียทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสหลุดออกมา ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสที่เอนไซม์จะเข้าทำปฏิกิริยามีเพิ่มขึ้น

2.3.3 การหมักเอทานอล (fermentation)

มีทั้งระบบต่อเนื่องและแบบกะ แต่ส่วนใหญ่นิยมแบบกะเพราะมีต้นทุนไม่มากและง่ายต่อการดูแลรักษา อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส การที่ใช้อุณหภูมิสูงเพราะว่าต้องการเฉพาะเอทานอล จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงสารให้กลิ่นรสซึ่งจะเกิดได้น้อยและระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง ช่วยลดต้นทุนการผลิต (Hacking *et al.*, 1984)

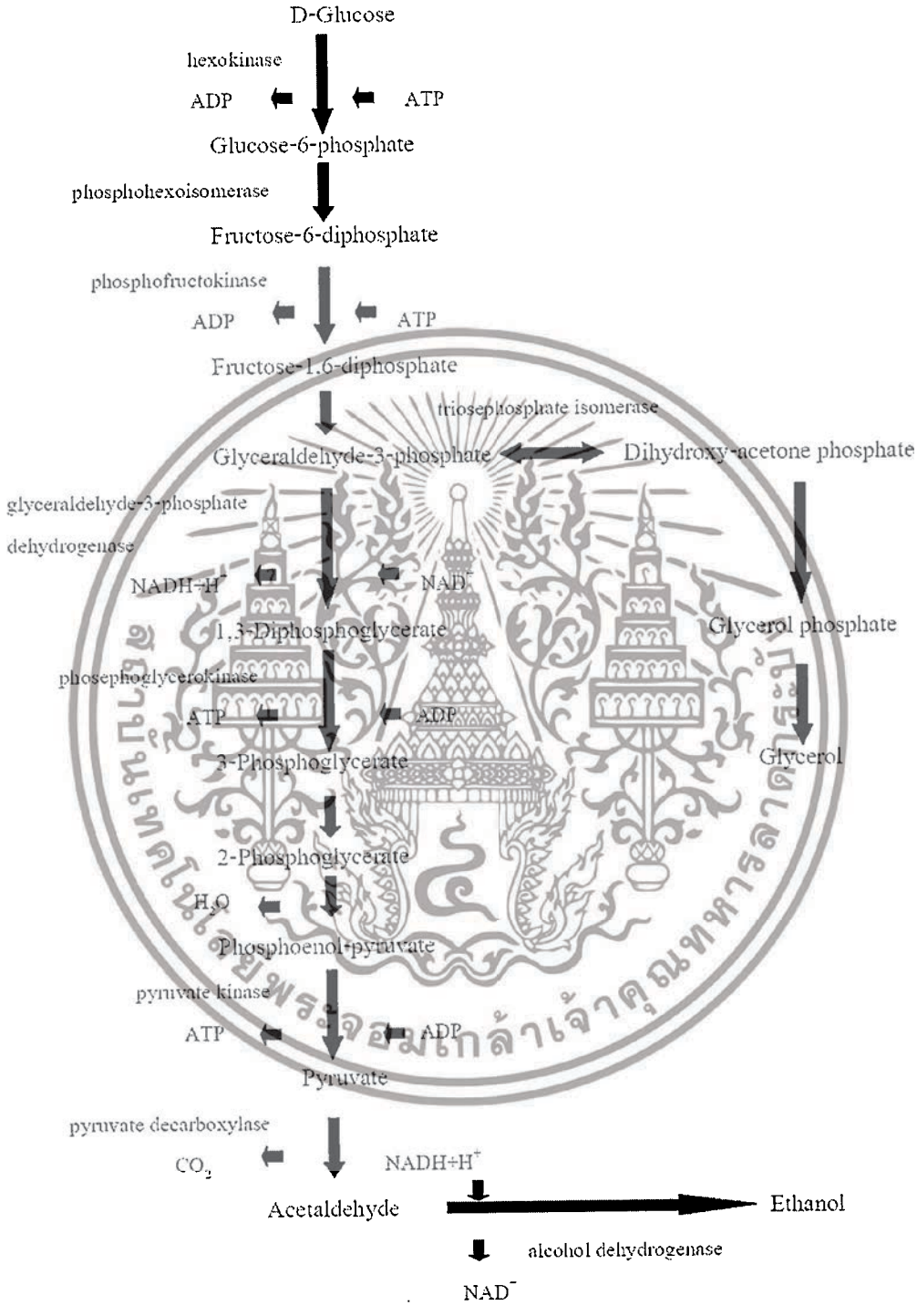
2.3.3.1 ยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

ยีสต์ที่ใช้ผลิตเอทานอลระดับอุตสาหกรรมมีหลายสปีชีส์ เช่น *Saccharomyces cerevisiae, S.uvarum (carlsbergensis), Schizosaccharomyces pombe* และ *Kluyveromyces fragilis* สำหรับ *S. cerevisiae* เป็นยีสต์ที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่า *S. uvarum* และยีสต์ชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จึงใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* นอกจากนั้นในปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Zymomonas* คือ *Zymomonas mobilis* และสกุล *Clostridium* คือ *Cl. thermocellum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนสามารถหมักเซลลูโลสและเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามแบคทีเรียทั้งสองสกุลดังกล่าวมีความทนต่อเอทานอลต่ำกว่ายีสต์ (สาวิตรี, 2549) และพบว่า *Zymomonas mobilis* มีความสามารถในการผลิตเอทานอลได้ดีกว่ายีสต์ เช่น ระยะเวลาในการหมักสั้นกว่า 3-4 เท่าเมื่อใช้น้ำตาลเท่ากัน ให้ผลเอทานอลใกล้เคียงกับทฤษฎี แต่ข้อด้อยกว่ายีสต์ก็คือแบคทีเรียชนิดนี้ใช้น้ำตาลได้จำกัด คือใช้น้ำตาลได้ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส (Roger *et al.*, 1979)

2.3.3.2 ชีวเคมีของการหมักเอทานอล

ยีสต์ *S. cerevisiae* เป็นยีสต์ที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ ซึ่งกระบวนการผลิตพลังงาน และผลผลิตที่ได้ทั้งสภาวะทั้งสองก็แตกต่างกัน ตัวแปรที่สำคัญในการที่ยีสต์จะใช้กระบวนการในการใช้สารอาหารในการผลิตพลังงาน และได้ผลผลิตออกมานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนและความเข้มข้นของน้ำตาลในสภาวะแวดล้อมที่มียีสต์เจริญอยู่ การใช้น้ำตาลกลูโคสผ่านกระบวนการสร้างพลังงานของยีสต์ ในสภาวะที่ไม่มีอากาศโดยทั่วไปเรียกว่าการหมัก พลังงานในรูป ATP ได้มาจากการใช้ซับสเตรทผ่านกระบวนการ Embden-Meyerhof-Parnas pathway (EMP pathway) (ภาพที่ 2.5) ในกระบวนการหมักแบบไม่มีอากาศโดย *S. cerevisiae* นอกจากจะได้แอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตหลักแล้วยังได้สารอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล อะซีเตท เอสเตอร์ และสารประกอบคาร์บอนิลที่มีส่วนในการเพิ่มกลิ่นและรสชาติของแอลกอฮอล์ได้ (Reedy, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 การผลิตเอทานอลด้วยน้ำตาลเฮกโซสโดยยีสต์ผ่านวิถี Embden-Meyerhof-Parnas pathway

ที่มา: Scragg (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหมักเอทานอลของยีสต์ผ่านกระบวนการ Embden-Meyerhof-Parnas pathway (EMP pathway) จนได้ไพรูเวต ถ้าเริ่มจากน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล จะให้ไพรูเวต 2 โมเลกุล ดังสมการ 2.2

$$\text{glucose} + 2ATP + 2NAD^{+} \longrightarrow 2\text{pyruvate} + 4ATP + 2(NADH + H^{+})$$

(สมการ 2.2)

ต่อจากนั้นไพรูเวตเกิดการแยกเอาคาร์บอนไดออกไซด์ (decarboxylation) โดยมีเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซีเลส (pyruvate decarboxylase) เป็นตัวเร่งสร้างแอซีทาลดีไฮด์ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยมีเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากไม่มีตัวรับไฮโดรเจนจากภายนอก เช่น ออกซิเจน จึงต้องมีขั้นตอนการสร้างและการใช้ $NADH_2$ ในขณะที่แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสรีดิวซ์แอซีทาลดีไฮด์ไปเป็นเอทานอลจะเกิดการออกซิไดส์ $NADH_2$ ที่ได้จากวิถี EMP (สาวิตรี, 2549)

2.3.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักเอทานอลของยีสต์

ปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการหมักเอทานอล คือ เอทานอล ความเข้มข้นของซับสเตรท สารอาหาร และสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (สาวิตรี, 2549)

2.3.3.3.1 เอทานอล โดยทั่วไปการเจริญและการหมักเอทานอลของยีสต์จะถูกยับยั้งด้วยเอทานอล โดยพบว่าเอทานอลความเข้มข้น 1-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้การเจริญของยีสต์ลดลง และเอทานอลความเข้มข้น 4.7-7.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้ยีสต์ทั่วไปหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นเอทานอลจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการจำกัดการผลิตเอทานอลของยีสต์ (Panchal and Tavares, 1990)

2.3.3.3.2 ความเข้มข้นของซับสเตรท การใช้ซับสเตรทความเข้มข้นสูงในการหมักเอทานอลทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ทำให้ซับสเตรทเจือจางจนถึงระดับที่เหมาะสมลดลงและลดการปนเปื้อนของเชื้ออื่น ๆ ที่มากับซับสเตรท แต่มีผลในการยับยั้งการเจริญและการหมักเอทานอล อัตราการเจริญและการผลิตเอทานอลลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลูโคสความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดแรงดันออสโมซิสเพิ่มขึ้น แรงดันออสโมซิสที่สูงขึ้นจากความเข้มข้นของน้ำตาลนั้นมีผลให้สารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญและการรักษาชีวิตของเซลล์หมด และเยื่อหุ้มเซลล์มีสภาพแข็งแกร่งมากขึ้นทำให้การผ่านเข้าออกของสารอาหารไม่ดี (สาวิตรี, 2549)

2.3.3.3.3 สารอาหาร สำหรับการเจริญของยีสต์นั้นต้องการสารอาหารซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน แหล่งคาร์บอน รวมทั้งธาตุอาหารหลักอื่น ๆ ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ต้องการธาตุอาหารในปริมาณมาก ได้แก่ แมกนีเซียมและโปตัสเซียม ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี นิเกิล โคบอลต์ และโมลิบดินัม นอกจากนั้นยังต้องการสารประกอบบางชนิดเพื่อทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

growth factor เช่น วิตามิน พิวรีน ไพริมิดีน และนิวคลีโอไทด์ (Issac and Jenning, 1995; Walker, 1998)

1) คาร์บอน

ภายในแซลล์ยีสต์มีคาร์บอนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ยีสต์เป็นคีโมออร์กาโนโทรฟ (chemoorganotroph) ซึ่งต้องใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ส่วนใหญ่สารอินทรีย์ที่ใช้คือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ยีสต์ทุกชนิดสามารถเมแทบอลิซึมได้ ยีสต์บางชนิดสามารถเมแทบอลิซึมกลูโคสได้โดยการหมัก โดยปกติถ้ายีสต์ชนิดใดไม่สามารถหมักกลูโคสจะไม่สามารถหมักฟรุคโตสและแมนโนสได้ สำหรับการหมักในระดับอุตสาหกรรมจะใช้ซับสเตรทเป็นน้ำตาลมอลโทส ซูโครส ฟรุคโทส ไซโลส และแลกโทส ยีสต์บางชนิดเมแทบอลิซึมน้ำตาลห้าคาร์บอนได้ดีกว่ากลูโคส เช่น *Pichia stipites* และ *Pachysolen tannophilus* ใช้ไซโลสได้ดี ในขณะที่ *S. cerevisiae* ไม่ใช้ไซโลสแต่ใช้เซลลูโลส

2) ไนโตรเจน

ยีสต์มีไนโตรเจนภายในเซลล์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงปริมาณมากรองลงมาจากคาร์บอน แหล่งไนโตรเจนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและใช้ได้ง่าย เช่น แอมโมเนียม ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ไนเตรต แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต มักใช้ในอุตสาหกรรมการหมักโดยยีสต์ โดยเฉพาะแอมโมเนียมซัลเฟตนิยมใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงยีสต์เพราะนอกจากจะให้ไนโตรเจนแล้วยังให้ซัลเฟอร์ด้วย นอกจากอินทรีย์ไนโตรเจนแล้วอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน เปปไทด์ พิวรีน และเอมีน ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนของยีสต์บางชนิดได้

ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีแต่เมื่อใช้ยูเรียนเป็นแหล่งไนโตรเจน จำเป็นต้องมีการเติมไบโอตินลงไปในอาหารด้วย การใช้ยูเรียของยีสต์จะลดลงเมื่อมีแหล่งไนโตรเจนอื่นที่ยีสต์ใช้ได้ดีกว่าเนื่องจากการกดดันของไนโตรเจน (nitrogen suppression)

3) ซัลเฟอร์

ยีสต์มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในเซลล์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง แหล่งซัลเฟอร์ได้จากสารประกอบซัลเฟอร์หลายชนิดรวมทั้งซัลเฟต ซัลไฟต์ ไทโอซัลเฟต อนินทรีย์ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตไอออน โดยเฉพาะแอมโมเนียมซัลเฟตหรือโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นแหล่งซัลเฟอร์ที่นิยมใช้ในอาหาร โดยยีสต์ทุกชนิดสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์จากซัลเฟตได้ การนำเข้าซัลเฟตที่รวดเร็วสัมพันธ์กับการมีเอนไซม์โฮโมซีสทีอีนซินเทส (homocystein synthase) ซึ่งทำให้ซัลเฟตถูกนำเข้าไปสร้างซีสเทอีน โดยซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟต์ทันทีแล้วจึงถูกเมแทบอไลต์ต่อไป ดังนั้นซัลไฟต์จึงใช้เป็นแหล่งซัลเฟอร์ได้แต่ต้องใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงจะยับยั้งการเจริญของยีสต์บางชนิดได้ ยีสต์ *S. cerevisiae* ใช้ธาตุซัลเฟอร์เป็นแหล่งซัลเฟอร์ได้ โดยธาตุซัลเฟอร์ถูกรีดิวซ์นอกเยื่อหุ้มเซลล์กลายเป็นไทออลไอออน (thiol ion) แล้วผ่านเข้าไปในเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมไทโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เพียงชนิดเดียวที่ใช้เป็นแหล่งซัลเฟอร์ได้โดยเมไทโอนีนมีผลทำให้ยีสต์มีการเจริญดีกว่าซัลเฟต (Berry and Brown, 1987; Walker, 1998)

4) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสถูกแอซิมิเลตในรูปของไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออนหรือออร์โทฟอสเฟตไอออน (orthophosphate ion, $H_2PO_4^-$) เท่านั้น บทบาทหลักของฟอสฟอรัสคือเป็นองค์ประกอบของน้ำตาลฟอสเฟต กรดนิวคลีอิก และนิวคลีโอไซต์ไดฟอสเฟต หรือนิวคลีโอไทด์ไทรฟอสเฟต และยังพบในอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของพอลิเมอร์สายตรงคือพอลิฟอสเฟต มีความสำคัญในการควบคุมเมแทบอลิซึมของเซลล์ ให้ฟอสเฟตสะสม และให้พลังงาน ฟอสฟอรัสทำให้มีประจุลบในไซโทพลาสซึมของยีสต์จากการที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตและกลุ่มฟอสเฟตในสารอินทรีย์ ฟอสเฟตในเซลล์ยีสต์มีประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ในอาหารเลี้ยงยีสต์แหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญ คือ ออร์โทฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟต (Berry and Brown, 1987; Walker, 1998)

5) เกลือแร่

เกลือแร่ที่ยีสต์ต้องการในปริมาณมากคือ โปตัสเซียมและแมกนีเซียม ยีสต์ทุกชนิดต้องการโปตัสเซียมสำหรับการเจริญเติบโตโดยโปตัสเซียมทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์สำหรับเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับออกซิเดทีฟฟอสโฟริเลชัน (oxidative phosphorylation) การสังเคราะห์โปรตีน และเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังร่วมในการนำสารอาหารอื่นเข้าเซลล์ ที่พีเอชต่ำโปตัสเซียมจะกระตุ้นการหมักและการหายใจเนื่องจากทำให้ระดับของ NADP, ADP และอนินทรีย์ฟอสเฟตในเซลล์เพิ่มขึ้น สารที่ใช้เป็นแหล่งโปตัสเซียม เช่น โปตัสเซียมคลอไรด์ โปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และไดโปตัสเซียมไอออน

แมกนีเซียมเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของยีสต์ มีอยู่ในเซลล์ประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ทำหน้าที่เกี่ยวกับโครงสร้างและเมแทบอลิซึม เช่น การทำงานของเอนไซม์สำหรับการเคลื่อนย้ายฟอสเฟต (transphosphorylation) ต้องอาศัยแมกนีเซียมไอออน

เกลือแร่อื่น ๆ ที่ยีสต์ต้องการปริมาณต่ำมากคือ แมงกานีส แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง นิเกิล โคบอลต์ และโมลิบดินัม ในขณะที่ เงิน แบเรียม ปรอท ลิเทียม และตะกั่ว เป็นสารพิษเพราะถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 100 ไมโครโมลาร์จะมีผลเสียต่อการเจริญ

6) Growth factor

Growth factor เป็นสารอินทรีย์ที่ยีสต์ต้องการที่ความเข้มข้นต่ำมาก มีบทบาทในการเร่งหรือเป็นส่วนในโครงสร้าง สารที่เป็น Growth factor สำหรับยีสต์ คือ วิตามิน พิวรีน ไพริมิดีน นิวคลีโอไทด์ นิวคลีโอไซต์ กรดอะมิโน กรดไขมัน และสารอื่น ๆ เช่น พอลิเอมีน โคลีน และมีโซ-อิโนซิทอล การที่ยีสต์ต้องการ Growth factor หมายความว่ายีสต์นั้นไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองในบางครั้งความต้องการอาจไม่ใช่ความต้องการที่แท้จริงแต่เมื่อเติมลงไปยีสต์จะมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น เรียกว่า relative growth factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธนภูมิ และคณะ (2552) ศึกษาการย่อยกากมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาล และการหมักเอทานอลในขั้นตอนเดียว โดยใช้เชื้อผสมระหว่าง *Rhizopus oryzae* และยีสต์ *S. cerevisiae* ในการเพาะเลี้ยงแบบ solid state พบว่า การเติม $MgSO_4.7H_2O$ และ KH_2PO_4 มีผลทำให้การผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้น ขณะที่มีการเติมแหล่งไนโตรเจนมีผลทำให้ไม่มีการผลิตเอทานอล การเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังทำให้ปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น

2.3.3.3.4 สภาวะแวดล้อม

1) อุณหภูมิ

ปกติจุลินทรีย์เจริญเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ การเลี้ยงยีสต์ส่วนใหญ่บ่มที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส โดยการเจริญจะลดลงมากที่ 20 องศาเซลเซียส และไม่เจริญที่ 60-70 องศาเซลเซียส (Halasz and Lasztity, 1991)

2) พีเอช

ไฮโดรเจนไอออน (H ion) หรือโปรตอน (proton) มีความสำคัญต่อสรีรวิทยาของยีสต์ พีเอชทั้งภายในและภายนอกเซลล์มีอิทธิพลต่อการเจริญและเมแทบอลิซึมของยีสต์มาก ยีสต์ปกติเจริญดีมากในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีพีเอช 4-6 แต่ยีสต์บางชนิดสามารถเจริญได้ในพีเอชช่วงกว้าง พีเอช 2-8 และยีสต์ส่วนใหญ่เจริญไม่ดีในพีเอชที่เป็นด่าง การเจริญของยีสต์อย่างรวดเร็ว ทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเป็นผลรวมจากการนำเข้าของไอออนต่างชนิดกัน การปลดปล่อยโปรตอนระหว่างการขนส่งสารอาหาร การปลดปล่อยกรดอินทรีย์และการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ การผลิตเอทานอลมีผลจากการเปลี่ยนพีเอชของอาหารมากเช่นกัน (Issac and Jenning, 1995; Walker, 1998) พีเอชเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในการหมักเอทานอล เนื่องจากพีเอชมีผลต่ออัตราการหมัก การสร้างผลผลิตพลอยได้ ตลอดจนควบคุมเชื้อปนเปื้อนซึ่งมีผลต่อการเจริญของเชื้อที่กำลังหมัก พีเอชที่ *S. cerevisiae* สามารถเจริญได้ดี คือ พีเอชในช่วง 2.4-8.6 โดยมีพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการหมักเอทานอลจากน้ำตาลเท่ากับ 4.5 โดยการหมักไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงพีเอช 3.5-6.0 และพบว่าการหมักซูโครสจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชมากกว่าการหมักกลูโคสทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์อินเวอร์เทสมีการเปลี่ยนแปลงที่พีเอชต่ำมากกว่า

3) ออกซิเจน มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลในขั้นตอนของการเตรียมกล้าเชื้อ (starter) หน้าที่หลักของออกซิเจน คือ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนขั้นสุดท้ายในลูกโซ่การหายใจ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็น growth factor ของยีสต์ โดยเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมทั้งกรดโอลีอิก ลิโนลีอิก และเออร์กอสเตอรอล ซึ่งนอกจากช่วยส่งเสริมการเจริญภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจนของยีสต์แล้วยังเพิ่มความทนเอทานอลของยีสต์ด้วย

มัลลิกา และปวีณา (2548) เลี้ยงเชื้อยีสต์ 2 สายพันธุ์ คือ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งใช้น้ำตาลกลูโคสและ *Kluyveromyces marxianus* ซึ่งใช้น้ำตาลไซโลส เพื่อทดสอบความสามารถในการผลิตเอทานอลในสภาวะให้อากาศต่างกันพบว่า *S. cerevisiae* สามารถผลิตเอทานอลเมื่อใช้อาหารกลูโคสได้ทั้งในสภาวะที่มีการเขย่าเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศและในสภาวะนิ่งซึ่งสัมผัสอากาศเฉพาะผิวหน้า โดยในสภาวะเขย่าจะให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าสภาวะไม่เขย่า 33 เปอร์เซ็นต์ และอัตราผลผลิตสูงกว่าถึง 1.7 เท่า อย่างไรก็ตามผลการทดลองบ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลในสภาวะเขย่าจะต่ำกว่าในสภาวะนิ่ง สำหรับ *K. marxinus* ที่เลี้ยงในอาหารไซโลสนั้นพบว่าการผลิตเอทานอลเกิดขึ้นในสภาวะไม่เขย่าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลได้เอทานอลต่อไซโลสที่ใช้เป็น 0.16 กรัมต่อกรัม การเขย่าช่วยเพิ่มการเจริญและการผลิตชีวมวลแต่ตรวจไม่พบเอทานอล

4) คาร์บอนไดออกไซด์ ยับยั้งการเจริญของยีสต์ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ในความดันสูงกว่าบรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ยับยั้งการเจริญและการหมักรุนแรงมากขึ้น เช่นเดียวกับอาหารมีพีเอชต่ำ และมีเอทานอลความเข้มข้นสูง คาร์บอนไดออกไซด์ดูเหมือนมีผลยับยั้งต่อการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันเท่านั้น แต่ก็พบว่ามีผลต่อองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างของกิจกรรมของเอนไซม์ เปลี่ยนแปลงสภาพให้ซึมได้ และการขนส่งตัวถูกละลาย ความสัมพันธ์ของผลเหล่านี้ต่อการผลิตเอทานอลยังไม่แน่ชัด

นอกจากนั้นอุณหภูมิยังมีผลต่อกระบวนการหมักเอทานอลด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่ง มณชัย (2546) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของยีสต์ *S. fibuligera* (แยกจากลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งเหล้าจากแหล่งลูกแป้ง 10 แหล่ง จำนวน 20 ไอโซเลต เมื่อเปรียบเทียบกับ *S. cerevisiae* RIT I (แยกได้ในระหว่างการหมักสาโท) พบว่า *Saccharomyces fibuligera* ทุกไอโซเลตให้ลักษณะการเจริญคล้ายกันและเจริญได้ช้ากว่า *S. cerevisiae* RIT I ในทุกปัจจัยการทดลอง และพบว่าอุณหภูมิ พีเอช และความเข้มข้นของกลูโคสที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. fibuligera* คืออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 4.00 และความเข้มข้นกลูโคส 100 กรัมต่อลิตร การศึกษาผลของอุณหภูมิ (10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส) ต่อการเจริญและการมีชีวิตของ *S. fibuligera* เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีเอทานอลต่างกัน (0.5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) พบว่าอุณหภูมิสูงช่วยให้ยีสต์มีอัตราการเจริญสูงขึ้น ส่วนอุณหภูมิต่ำช่วยให้ยีสต์ทนเอทานอลได้ดีขึ้น

2.3.3.4 กระบวนการหมักเอทานอล

ปัจจุบันการหมักเอทานอลมีทั้งที่ใช้การหมักแบบกะและแบบต่อเนื่อง นอกจากนั้นยังพยายามสร้างเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต

2.3.3.4.1 การหมักแบบกะ (batch fermentation)

1) การหมักแบบกะธรรมดา (simple batch fermentation) การผลิตเอทานอลในปัจจุบันใช้วิธีการนี้ โดยนำซับสเตรทมาทำให้มีความเข้มข้นเหมาะสม โดยทั่วไปมักปรับความเข้มข้นของน้ำตาล 14-18 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นอาจทำการพาสเจอร์ไรส์เซชันและปรับพีเอชเริ่มต้นให้ต่ำกว่า 5 อาจมีการเติมธาตุอาหารบางอย่างลงไป หรืออาจเติมของเหลือทิ้งที่ได้จากการกลั่นหรือน้ำกากส่าลงไปเพื่อเพิ่มสารอาหาร เพิ่มความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ และลดปริมาณน้ำที่ใช้ กระบวนการนี้เรียกว่า slopping back หลังจากนั้นจึงเติมยีสต์ปล่อยให้เจริญและสร้างเอทานอล เวลาที่ใช้อาจลดลงโดยการใช้เชื้อปริมาณมาก เช่น ใช้ 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร หรือใช้ยีสต์ผง 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อุณหภูมิเริ่มต้นของการหมักประมาณ 20-23 องศาเซลเซียส ในระหว่างการหมักอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 32-40 องศาเซลเซียส บางครั้งจึงต้องมีระบบทำความเย็น การหมักเอทานอลจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 36-72 ชั่วโมง

ข้อดีของการหมักแบบนี้ คือ การควบคุมทำได้ง่ายไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญการ ไม่จำเป็นต้องทำให้วัตถุดิบหรืออุปกรณ์ต่างๆ ปลอดเชื้อ แต่ข้อเสีย คือ ให้ความสามารถในการหมักเอานอลต่ำ และต้องเสียเวลาในการการทำความสะอาดอุปกรณ์ การหมักแบบกะร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่ (batch fermentation with cell recycle) วิธีนี้ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล แต่การเพิ่มปริมาณเชื้อทำให้การหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาที่สั้นลง (Kosaric *et al.*, 1983 ; Bayrock and Ingledew, 2001)

2) การหมักแบบกะต่อเนื่อง (fed-batch fermentation) และการหมักแบบกะซ้ำ (repeated batch fermentation) การหมักแบบกะมีการเติมน้ำตาลลงไปในถังหมักเป็นช่วง ๆ ช่วยลดปัญหาการยับยั้งการเจริญของยีสต์ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนและหมักเอทานอลได้สูงขึ้น ส่วนแบบกะซ้ำที่ทำร่วมกับการนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มความสามารถในการหมักเอทานอลโดยทำให้เวลาของการหมักลดลง (สาวิตรี, 2549)

2.3.3.4.2 การหมักแบบต่อเนื่อง

1) การหมักแบบต่อเนื่องธรรมดา (simple continuous fermentation) การหมักแบบนี้จะมีการเติมซับสเตรทอย่างต่อเนื่องโดยในซับสเตรทประกอบด้วยน้ำตาลความเข้มข้นสูง และในขณะเดียวกันอาหารที่หมักแล้วก็จะผ่านออกจากถังหมักด้วยอัตราเดียวกันกับการเติมซับสเตรท การหมักแบบนี้ช่วยลดช่วงเวลาที่เชื้อไม่ผลิตเอทานอล เวลาในการทำความสะอาดเครื่องมือ และการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ (Kosaric *et al.*, 1983)

2) การหมักแบบต่อเนื่องร่วมกับการนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่ (continuous fermentation with cell recycle) วิธีการนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่นั้นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลล์ในระบบ มีผลให้ความสามารถในการหมักเอทานอลสูงขึ้นเช่นเดียวกับวิธีการที่ใช้ในการหมักแบบกะ (Limtong *et al.*, 1984)

3) การหมักต่อเนื่องโดย multi-stage (multi-stage continuous fermentation) เป็นการหมักที่มี 2 ขั้นตอนหรือมากกว่า โดยแบ่งการทำงานเป็นระยะ ๆ ระยะของการเจริญของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในถังหมักที่หนึ่ง จากนั้นในถังหมักที่สองหรือถังหมักต่อๆ ไปจะเป็นระยะของการสังเคราะห์สาร วิธีการนี้จะใช้ในกระบวนการหมักซึ่งระยะของการเจริญของจุลินทรีย์และการสังเคราะห์สารไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหมายถึงการสังเคราะห์จะเกิดขึ้นหลังจากที่อัตราการเพิ่มจำนวนของเซลล์ลดลง (กำเนิด, 2534)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิสรี (2550) ปรับสภาพกากตะกอนเยื่อกระดาษขั้นต้นด้วยกรดเจือจาง โดยนำกากตะกอนเยื่อกระดาษที่อบแห้ง และบดละเอียดมาในอัตราส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มาให้ความร้อนโดยเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 60 นาที แล้วนำมาผ่านกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (ที่สภาวะค่าความเป็นกรดด่าง 5.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง) ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 76.05 มิลลิกรัมต่อกรัมเยื่อกระดาษ ลดความเป็นพิษโดยชุดหนึ่งมีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จนมีพีเอช 10.5 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงปรับให้มีพีเอช 5.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล อีกชุดหนึ่งไม่มีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปแล้วปรับให้มีพีเอช 5.0 นำน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มาเติมเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* Bio-Ferm XR ควบคุมสภาวะการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเอทานอล 21.50 มิลลิกรัมต่อกรัมเยื่อกระดาษ โดยเกิดเอทานอลสูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 60 ชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการหมัก 70.59 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเติมด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปจะผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 27.55 มิลลิกรัมต่อกรัมเยื่อกระดาษ โดยผลิตเอทานอลได้สูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 40 ชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการหมัก 88.24 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการลดความเป็นพิษโดยการใช้ด่างจึงเป็นการเพิ่มปริมาณเอทานอลและช่วยลดระยะเวลาในการหมักลง

Persson *et al.*, (2002) ศึกษาผลของการใช้ด่าง แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย ในการกำจัดสารพิษในน้ำย่อยของไม้สนโดยการย่อยไม้สนด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง นำน้ำย่อยที่ได้มาปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยด่างแต่ละชนิดดังกล่าวข้างต้น แล้วปรับพีเอชให้เป็น 5.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกหรือไฮโดรคลอริกแล้วแต่ชนิดของกรดที่ใช้ย่อย พบว่า การกำจัดสารพิษโดยใช้ด่างทุกชนิดทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฟูรอลดีไฮด์ลดลงไปประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไฮโดรไลเซทที่ผ่านการกำจัดสารพิษด้วยด่างไปหมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่าการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียให้ผลดีกว่าการใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์

วนิดา (2553) ศึกษาการผลิตเอทานอลจากชีวมวลไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous saccharification and fermentation, SSF) โดยยีสต์ *S. cerevisiae* Sc90 ในการหมักศึกษาปริมาณเยื่อ (5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งต่อปริมาตร) และอุณหภูมิ (30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส) พร้อมทั้งใส่เอนไซม์ Celluclast 1.5 ความเข้มข้น 15 หน่วยต่อกรัมซับสเตรท และ Novozym 188 ความเข้มข้น 15 หน่วยต่อกรัมซับสเตรท พบว่าการใช้ปริมาณเยื่อใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งต่อปริมาตร และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถผลิตน้ำตาลกลูโคสได้สูงสุด 30.03 กรัมต่อลิตร มีความเข้มข้นของเอทานอล 30.69 กรัมต่อลิตร อัตราการผลิตเอทานอล 0.32 กรัมต่อลิตรต่อ ชั่วโมง ผลได้ของเอทานอล 0.436 กรัมเอทานอลต่อกรัมกลูโคส

สิริวรรณ (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์และกรดและขั้นตอนการหมักน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อผลิตเอทานอล ผลการศึกษาพบว่าการย่อยมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟูริกให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก และการบำบัดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ส่วนการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนและน้ำที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีส่งผลให้เอนไซม์สามารถย่อยแป้งและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้นและเมื่อทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) และเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 899.11 มิลลิกรัมต่อกรัมมันสำปะหลัง เมื่อทำการหมักสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ในสภาวะข้างต้นด้วย *S. cerevisiae* พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์สามารถผลิตเอทานอลได้สูงกว่าการย่อยด้วยกรด โดยที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 15.57 กรัมต่อลิตร สามารถผลิตเอทานอลได้ 5.11 กรัมต่อลิตร

นิธิป และคณะ (2557) นำชานอ้อยไปปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ร่วมกับการปรับสภาพด้วยความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ปรับสภาพโดยไม่ผ่านความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปรับสภาพด้วยโครเวฟ 300 วัตต์ และปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และสารไอออนิก 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ1-Ethyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาที่ต่างกัน หลังจากปรับสภาพ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลกลูโคส โดยวิธี DNS ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และ GOD-PAP ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรตามลาดับ พบว่า การปรับสภาพชานอ้อยด้วยสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 300 วัตต์ ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด และการปรับสภาพชานอ้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ร่วมกับการใช้ความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด

จิรศักดิ์ และณัตติยา (2554) ผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกทุเรียนโดยกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลแยกจากการหมัก (SHF) และกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลพร้อมการหมัก (SSF) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกทุเรียนโดยการใช้น้ำกลั่น กรดซัลฟูริกเจือจาง และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางที่อุณหภูมิ 121 และ135 องศาเซลเซียส หมักโดยการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง ใช้เปลือกทุเรียน 1.5 เปอร์เซ็นต์ นำซับสเทรตที่ปรับสภาพมาผสมกับเอนไซม์ อะไมเลส อะไมโลกลูโคซิเดส ไซแลนเนส เซลลูเลส และเพกติเนส น้ำตาลที่ได้นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลโดย SHF และ SSF โดย *S. cerevisiae* และ *C. tropicalis* น้ำตาลที่ได้เท่ากับ 9.34 ถึง 14.52 กรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพการแปรรูปน้ำตาลเท่ากับ 62.27 ถึง 96.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิ ได้สัมประสิทธิ์การผลิตเอทานอลของเชื้อยีสต์ผสม *S. cerevisiae* และ *C. tropicalis* สูงสุด (96.07 เปอร์เซ็นต์โดยทฤษฎี) การหมักโดย SSF ใช้เวลาสั้นกว่า (16-20 ชั่วโมง) การหมักโดย SHF (48 ชั่วโมง) ทำให้ได้ผลผลิตเอทานอลสูงขึ้น 0.939 กรัมเปอร์เซ็นต์ และ 0.883 กรัมเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*Durio zibethinus* Murry) จากร้านผลิตทุเรียนทอดในตลาดขายผลไม้ เทศบาลตำบลเนินสูง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี

3.2 จุลินทรีย์

เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5019, 5049 และ 5059 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

1) ยีสต์สกัด (yeast extract powder); Hemidia, India.
2) น้ำตาลกลูโคส (glucose); Biomark, India.
3) เปปโตน (peptone); Hemidia, India.
4) กรดซัลฟูริก (sulfuric acid; H_2SO_4) ; Carlo Erba, France.
5) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl); Ajax Finechem, New Zealand.
6) กรดฟอสฟอริก (orthophosphoric acid); Carlo Erba, France.
7) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH); Carlo Erba, France.
8) ฟีนอล (phenol) Univar ; Ajax Finechem, New Zealand.
9) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2SO_4.6H_2O$); Ajax Finechem, New Zealand.
10) เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$); Ajax Finechem, New Zealand.
11) โปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$); Ajax Finechem, New Zealand.
12) 1,10 ฟีแนนโทรลีน; Loba, India.
13) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$); Carlo Erba, France.
14) กรดบอริก (Boric acid); Merck, Germany.
15) โปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4); Ajax Finechem, New Zealand.
16) โปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4); Ajax Finechem, New Zealand.
17) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$); Sigma, U.S.A.
18) เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3.6H_2O$); Ajax Finechem, New Zealand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์; 2800A UV/VIS spectrophotometer Unico, U.S.A.
2) เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นไนโตรเจน; Gerhardt Vapodest 30, Gerhardt Scientific promotion Co., Ltd., U.S.A.
3) เครื่องสกัดซอกซ์เลตพร้อมทริมเบิล; BUCHI 810 , Kjeldatherm, Netherland.
4) เครื่องวิเคราะห์ไฟเบอร์; FIWI VELP Scientifica, Italy.
5) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning microscope); JEOL JSM-6301F, Japan.
6) เครื่องเคลือบทอง; JEOL JFC-1200 FINE coater, England.
7) เครื่องโครมาโตรกราฟแบบสมรรถนะสูง; water 600, Canada.
8) คอลัมน์; YMC-Pack Polymine II, Japan.
9) เครื่องทดสอบ (detector) ชนิด Refractive Index detector (RID); water 2410, California.
10) ถังหมักขนาด 5 ลิตร; B. Braun Biostat Biotech International, U.S.A.
11) เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ; IS-971R OSKON Co., Ltd, Thailand.
12) เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง; Adventurer OHAUS, China.
13) เครื่องวัดพีเอช; Ultra BASIC DENVER Instrument, U.S.A.
14) หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave); HIRAYAMA model HA-300MIT, U.S.A.
15) เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (incubator shaker); New Brunswick Scientific, England.
16) ตู้เขี่ยเชื้อ; ISSCO Laminar flow model BVT 123, Thailand.
17) เครื่องปั่นเหวี่ยง; FALCON 6/300, England.
18) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ; Olymplus optical co. Ltd, Japan CH30RF 200, Japan.
19) เตาเผา; Carbolite Furnaces CSF1200, England.
20) ตู้บ่มเชื้อ (Incubater); Memmert, England.
21) ตู้อบลมร้อน; Contherm Thermotec 2000 Scientific Ltd. New Zealand.
22) โถดูดความชื้น; Duran, Germany.
23) ฮีมาไซโตมิเตอร์; Neubauer improved, Brand BLAU Brand, Germany .
24) เครื่องปั่น (Blender); Mulinex type AY46, France.
25) เครื่องผสม (Vortex); Genie 2, U.S.A.
26) เครื่องร่อนแป้งขนาด 50 mesh; ASTM En Laboratory Test sieve Endecotts Ltd, London, England. Aperture 500 Mic, England.
27) อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีวิจัย

3.5.1 การเตรียมเปลือกทุเรียน

นำเปลือกทุเรียนมาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2-3 เซนติเมตร อบให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น เก็บไว้ในถุงพลาสติกแบบมีซิปปิดปากถุงเพื่อกันอากาศเข้าออกและมีตัวดูดความชื้น (ซิลิกาเจล) อยู่ด้วย จนกระทั่งนำมาทำการวิจัย

3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน (Proximate analysis)

นำเปลือกทุเรียนจากข้อ 3.5.1 มาบดโดยการใช้เครื่องบด (blender) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 500 ไมครอน แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่

1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC., 1995)

หาความชื้นหรือน้ำอิสระที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกทุเรียนที่ระเหยออกไปแล้วชั่งหาน้ำหนักที่หายไป (ภาคผนวก ก 1.1)

2) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC., 1995)

กำจัดสารอินทรีย์ในเปลือกทุเรียนโดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียสจนเหลือแต่สารที่เป็นสารอนินทรีย์ (ภาคผนวก ก 1.2)

3) การวิเคราะห์โปรตีน (AOAC., 1995)

หาไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเจลดาห์ล (kjeldahl) โดยทำให้สารประกอบไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแอมโมเนียที่มีสถานะเป็นไอ จากนั้นจึงไทเทรตวิเคราะห์หาปริมาณของแอมโมเนีย แล้วคำนวณออกมาในรูปเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน และเปอร์เซ็นต์โปรตีน (ภาคผนวก ก 1.3)

4) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC., 1995)

โดยการสกัดไขมันจากเปลือกทุเรียนด้วยตัวทำละลายไขมัน เช่น เฮกเซน จากตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้ว เนื่องจากถ้าตัวอย่างมีน้ำปะปนอยู่จะทำให้การสกัดไม่ดี หลังจากสกัดเสร็จทำการระเหยแยกตัวทำละลายออกจากตัวอย่างไขมัน (ภาคผนวก ก 1.4)

5) การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC., 1995)

โดยการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในอาหารที่เหลือจากการย่อยตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วด้วยสารละลายกรดและเบส ภายใต้สภาวะที่กำหนด (ภาคผนวก ก 1.5)

6) การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100 – (เปอร์เซ็นต์ความชื้น + เปอร์เซ็นต์โปรตีน + เปอร์เซ็นต์ไขมัน + เปอร์เซ็นต์เยื่อใย + เปอร์เซ็นต์เถ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) วิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในตัวอย่างเปลือกทุเรียน

วิเคราะห์เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียนโดยทำการวิเคราะห์ Acid Detergent Fiber (ADF) Neutral Detergent Fiber (NDF) และ Acid Detergent Lignin (ADL) ตามวิธีการของกรมปศุสัตว์ (2555) ดังภาคผนวก ก.1.7

การวิเคราะห์ Acid Detergent Fiber (ADF) คือ ส่วนที่เหลือจากการนำตัวอย่างพืชไปย่อยด้วยสารละลายกรด (Acid detergent) ที่มีความเข้มข้นของกรดในสารละลายเท่ากับ 1 นอร์มัล และมี detergent คือ เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethylammonium bromide) จะย่อยโปรตีนในเซลล์พืช อะซิโตน (Acetone) จะละลายไขมันและเม็ดสีต่าง ๆ ส่วนที่เหลือที่ไม่ละลายในสารละลายจะเป็นสารที่อยู่ในส่วนของ ADF ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน คิวทิน และส่วนของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble ash ; AIA)

การวิเคราะห์ Neutral detergent fiber (NDF) คือ กลุ่มของสารเคมีต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน รวมทั้ง คิวทิน ซิลิกา และแทนนิน

การวิเคราะห์ Acid detergent lignin (ADL) ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน แต่ปริมาณของคาร์บอนจะมีมากกว่าคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังพบว่ามีธาตุไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย

จากนั้นนำผลการวิเคราะห์คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสดังสูตร

เฮมิเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์) = NDF (เปอร์เซ็นต์) – ADF (เปอร์เซ็นต์)

เซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์) = ADF (เปอร์เซ็นต์) – ADL (เปอร์เซ็นต์)

3.5.3. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกทุเรียน

ทำการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างเปลือกทุเรียน ได้แก่ ไนโตรเจน (N) โดยวิธีเจลดาห์ล (ภาคผนวก ก.2) ธาตุฟอสฟอรัส (P) โปตัสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) โดยนำเปลือกทุเรียน 0.25 กรัมไปเผาในเครื่องเผาอุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้า ทำการละลายเถ้าด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 93 นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวโดย Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry (ICP-ES)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

1) นำผงเปลือกทุเรียนที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมาย่อยด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) กรดแต่ละชนิดจะใช้ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยชั่งเปลือกทุเรียน 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่า หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลาต่าง ๆ กันดังนี้ 15, 30, 45 และ 60 นาที เมื่อครบเวลาแต่ละช่วง เมื่อสารละลายทั้งหมดเย็น นำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS (ภาคผนวก ก.3) ส่วนตะกอนที่เหลือจากการย่อยนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ และนำไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2) วิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาล โดยนำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครส ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) รุ่น Water 600 โดยใช้คอลัมน์ YMC-Pack Polymine II ใช้อะซีโตรไนไตรล์ความเขมข้น 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เป็นตัวพาและปรับให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องตรวจสอบ (detector) ชนิด Refractive Index Detector (RID) โดยเปรียบเทียบกับกลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครสมาตรฐาน (ภาคผนวก ก.5) และคัดเลือกน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดที่ให้ผลรวมของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสสูงที่สุดไปใช้ในการผลิตเอทานอล

3) นำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดที่ให้ปริมาณผลรวมของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสสูงที่สุดมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.00, 5.00 และ 6.00 แล้วนำไปวัดสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ เฟอฟิวรอล และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) รุ่น HITASHI Chromaster โดยใช้คอลัมน์ YMC-Pack ODS AQ ใช้น้ำ DI ต่อ อะซีโตรไนไตรล์ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 97 : 3 โดยปริมาตร เป็นตัวพาและปรับให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องตรวจสอบ (detector) ชนิด Diode Array Detector 5430 วัดโดยใช้แสง UV ความยาวคลื่น 280 นาโมเมตร โดยเปรียบเทียบกับเฟอฟิวรอล และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอลมาตรฐาน (ภาคผนวก ก.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

3.5.5.1 เตรียมกล้าเชื้อยีสต์

เตรียมกล้าเชื้อยีสต์ 3 สายพันธุ์ คือ *S. cerevisiae* TISTR 5019, 5049 และ 5059 โดยเขี่ยเชื้อยีสต์แต่ละสายพันธุ์อายุ 3 วัน จากอาหารวุ้นผิวเอียง YPD ลงในอาหารเหลว YPD ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ลูป บ่มในเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อยีสต์มีการเจริญอยู่ในระยะ log phase จากนั้นนำสารละลายเชื้อมาวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และปรับค่าความขุ่นของเชื้อให้เท่ากับ 0.1 (จำนวนเซลล์เท่ากับ 10^6 cfu / มิลลิลิตร) เพื่อใช้ในการหมักเอทานอลในขั้นตอนต่อไป

3.5.5.2 ศึกษาสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

นำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดที่ให้ปริมาณผลรวมของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสสูงที่สุด มาทำการลดสารพิษโดยวิธีโอเวอร์ไลมิง (Asil and Qatibi, 2009) คือ ปรับพีเอชของน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดโดยค่อย ๆ เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จนพีเอชเท่ากับ 10.00 เมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด นำสารละลายที่ได้ไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อสารละลายเย็นนำมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 5.0 ด้วยกรดชนิดที่ใช้ในการย่อย ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนใสของน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนที่ได้ไปใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ขวดละ 100 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์แต่ละสายพันธุ์ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการเขย่า เป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกสายพันธุ์ยีสต์ที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.5.3 ศึกษาปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 เติมกล้าเชื้อยีสต์สายพันธุ์ที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดในข้อ 3.5.5.2 ปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกปริมาณกล้าเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.5.4 ศึกษาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อให้เท่ากับ 4.0, 5.0 และ 6.0 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกพีเอชที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.5 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.4 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกอุณหภูมิในการบ่มที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.5.6 ศึกษาปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 เติมแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.4 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.5 โดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.5.7 การศึกษาปริมาณแหล่งแมกนีเซียมที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 เติมแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณที่ให้เอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.6 และเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) ลงไปในปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.4 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.5 โดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.5.8 การศึกษาปริมาณแหล่งโปตัสเซียมที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 เติมแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณที่ให้เอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.6 เติมแมกนีเซียมซัลเฟตที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.7 และเติมโปตัสเซียมฟอสเฟต ($KH_2PO_4.7H_2O$) ลงไปในปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.4 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.5 โดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เลือกปริมาณโปตัสเซียมซัลเฟตที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.9 เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดสูตรที่เหมาะสมกับน้ำที่ย่อยจากเปลือกทุเรียนที่ไม่เติมสารอื่น

ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับข้อ 3.5.5.2 เติมแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณที่ให้เอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.6 เติมแมกนีเซียมซัลเฟตที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.7 และเติมโปตัสเซียมฟอสเฟต ($KH_2PO_4.7H_2O$) ที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.8 ปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.4 แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.3 บ่มที่อุณหภูมิที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5.5 โดยไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ เอทานอลโดยวิธีไดโครเมตออกซิเดชั่น (ภาคผนวก ก.8) เปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการเติมสารอาหาร โดยใช้สภาวะในการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกัน

หมายเหตุ : การศึกษาในแต่ละขั้นตอนทำ 3 ซ้ำ

3.5.6 ศึกษาการผลิตเอทานอลในถังหมักแบบใบพัดกวน

3.5.6.1 ศึกษาความเร็วในการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

นำสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผลิตเอทานอลได้สูงที่สุดในข้อ 3.5.5 ปริมาตร 3 ลิตร ใส่ลงในถังหมัก B. Braun ขนาด 5 ลิตร ใส่สารกำจัดฟองโดยใช้น้ำมันพืช 1 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อเย็นเติมกล้าเชื้อยีสต์ปริมาตรที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดในข้อ 3.5.5 ศึกษาความเร็วในการกวนที่ระดับต่าง ๆ ดังนี้ คือ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, น้ำหนักเซลล์แห้ง, น้ำตาลทั้งหมด, น้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณเอทานอล (ภาคผนวก ก) เลือกอัตราการกวนที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.6.2 ศึกษาสภาวะในการกวน

นำสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5 ปริมาตร 3 ลิตร ใส่ลงในถังหมัก B. Braun ขนาด 5 ลิตร ใส่สารกำจัดฟองโดยใช้น้ำมันพืช 1 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมกล้าเชื้อปริมาตรที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.5 มาทำการหมัก 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 หมักโดยใช้อัตราการกวนที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.6.1 เป็นเวลา 7 วัน สภาวะที่ 2 หมักโดยใช้อัตราการกวนที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดในข้อ 3.5.6.1 เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นหมักต่อโดยไม่มีการกวนอีก 6 วัน และสภาวะที่ 3 หมักโดยไม่มีการกวนเป็นเวลา 7 วัน ทั้ง 3 สภาวะทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, น้ำหนักเซลล์แห้ง, น้ำตาลทั้งหมด, น้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณเอทานอล นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการหมักดังข้อ 3.5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์และค่าประสิทธิภาพการหมัก (fermentation efficiency)

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการหมักโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้ (จิรศักดิ์ และ ณัตติยา, 2554)

1) ปริมาณการผลิตอทานอลสูงสุด (P_{max}) = ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)

2) อัตราการผลิตเอทานอล (Q_E) = $\frac{\text{ปริมาณเอทานอลสูงสุด (กรัมต่อลิตร)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}}$

3) ผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ ($Y_{p/s}$)

$$Y_{p/s} = \frac{\text{ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)}}{\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ (กรัมต่อลิตร)}}$$

3.6 แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 factorial experimental in completely randomized design โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในกรดทุกชนิดที่ใช้ในการย่อย รวม 48 treatment

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16.00 ในการตรวจสอบความแตกต่างระหว่าง treatment โดยวิธี Turkey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสร้าง regression models โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเปลือกทุเรียน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนโดยวิธี AOAC (1995) พบมีปริมาณความชื้น เถ้า ไฟเบอร์ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต 6.92, 23.99, 27.81, 3.15, 0.26 และ 37.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน (โดยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)					
ความชื้น	เถ้า	ไฟเบอร์	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต
6.92± 0.09	23.99± 0.98	27.81± 0.70	3.15± 0.00	0.26± 0.02	37.87± 1.37

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

จากตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนที่พบมากที่สุด คือ คาร์โบไฮเดรต พบปริมาณ 37.87 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตเป็นกลุ่มสารปฐมภูมิกลุ่มแรกที่พืชสร้างขึ้นโดยใช้น้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นสารตั้งต้น และอาศัยพลังงานแสงโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ที่มีโครงสร้างง่าย ๆ เช่น กลูโคส (glucose) พืชจะนำกลูโคสที่ได้มาสร้างคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ ที่มีความซับซ้อน เช่น แป้ง (starch) และเซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น (กิตติศักดิ์, 2544)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากเปลือกทุเรียน พบปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 31.26, 14.90 และ 5.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียน (โดยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)		
เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
31.26 ± 0.48	14.90 ± 4.38	5.60 ± 2.96

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียนกับวัสดุเหลือทิ้งการการเกษตร พบว่า ปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับฟางข้าว (Roberto *et al.*, 1994) ชานอ้อย (หรรษา และเนริสา, 2548) และใบข้าวโพด (Xing *et al.*, 2009) ซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ 32.00, 34.08 และ 33.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณต่ำกว่าฟางข้าว ชานอ้อย และใบข้าวโพด ซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 24.00, 20.31 24.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสจะประกอบด้วยเซลลูโลส 40-60 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 20-40 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 10-25 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลสเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยกลูโคส เชื่อมต่อด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β-1,4-glycosidic bond) มีความคงทนเนื่องจากยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเมื่อย่อยแล้วจะได้ไดแซคคาไรด์ คือ เซลโลไบโอส (cellobiose) เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ (heteropolymer) ที่ประกอบด้วยน้ำตาล 5- คาร์บอน และ 6-คาร์บอนหลายชนิด น้ำตาล 5-คาร์บอน เช่น ดี-ไซโลส (D-xylose) แอล-อะราบิโนส (L-arabinose) และน้ำตาล 6-คาร์บอน เช่น ดี-กาแลคโทส (D-galactose) ดี-กลูโคส (D-glucose) ดี-แมนโนส (D-manose) แอล-แรมโนส (L-rhamnos) และแอล-ฟรุคโตส (L-fructose) ลิกนินเป็นพอลิเมอร์เชิงซ้อนพวกอะโรมาติก (a complex aromatic polymer) ไม่สามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลได้ (Sthiannopkao, 2002)

จากการวิเคราะห์ธาตุพบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 0.63, 0.21, 1.43, 0.15 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ และพบธาตุเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี เท่ากับ 11.6, 9.30 และ 5.44 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

สำหรับการเจริญของยีสต์นั้น ต้องการสารอาหารซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน แหล่งคาร์บอน รวมทั้งธาตุอาหารหลัก (major element) อื่น ๆ ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส นอกจากนั้นยังต้องการธาตุอาหารบางชนิดในปริมาณค่อนข้างมาก ธาตุอาหารเหล่านั้นจัดเป็น macroelement ประกอบด้วย แมกนีเซียมและโปตัสเซียม ในขณะที่ธาตุอาหารบางชนิดยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ (microelement หรือ trace element) ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี นิเกิล โคบอลต์ และโมลิบดีนัม ยิ่งไปกว่านั้นยีสต์ยังต้องการสารประกอบบางชนิดเพื่อทำหน้าที่เป็น growth factor เช่น วิตามิน พิวรีน (purine) ไพริมิดีน (pyrimidine) และนิวคลีโอไทด์ (Issac and Jenning, 1995; Walker, 1998)

จะเห็นได้ว่าในเปลือกทุเรียนมีธาตุอาหารที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปตัสเซียม และแร่ธาตุที่ยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

การย่อยเปลือกทุเรียน 10 กรัม ด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ในหม้อนึ่งความดันไออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-60 นาที พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 50.71 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 49.46 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือการย่อยด้วยซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 46.76 กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์ต่ำสุดเท่ากับ 22.40 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก (เปอร์เซ็นต์)	ระยะเวลาในการย่อย (นาที)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อกรัมเปลือกทุเรียน)
0.5	15	22.40 ± 0.33 ^{i}	0.22 ± 0.00 ^{l}
	30	26.85 ± 0.49 ^{h}	0.27 ± 0.00 ^{h}
	45	27.84 ± 0.23 ^{h}	0.28 ± 0.00 ^{h}
	60	31.24 ± 0.98 ^{g}	0.31 ± 0.01 ^{g}
1.0	15	32.24 ± 0.49 ^{g}	0.32 ± 0.00 ^{g}
	30	43.62 ± 0.27 ^{cd}	0.44 ± 0.00 ^{cd}
	45	45.56 ± 0.38 ^{bc}	0.46 ± 0.00 ^{bc}
	60	35.23 ± 1.43 ^{f}	0.35 ± 0.01 ^{f}
1.5	15	37.77 ± 0.16 ^{f}	0.38 ± 0.00 ^{f}
	30	46.54 ± 0.17 ^{b}	0.47 ± 0.00 ^{b}
	45	49.46 ± 1.46 ^{a}	0.49 ± 0.01 ^{a}
	60	39.30 ± 0.49 ^{e}	0.39 ± 0.00 ^{e}
2.0	15	42.49 ± 0.46 ^{d}	0.42 ± 0.00 ^{d}
	30	50.71 ± 0.19 ^{a}	0.51 ± 0.00 ^{a}
	45	46.76 ± 0.88 ^{b}	0.47 ± 0.01 ^{b}
	60	37.26 ± 0.61 ^{ef}	0.37 ± 0.00 ^{ef}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การย่อยเปลือกทุเรียนกรดไฮโดรคลอริกพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.52 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ที่ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 50.18 กรัมต่อลิตร และการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 และ 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 49.50 และ 50.51 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 48.32 กรัมต่อลิตร และต่ำสุดคือการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลริกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 30.67 กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ที่ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 30.95 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (เปอร์เซ็นต์)	ระยะเวลาในการย่อย (นาที)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อกรัมเปลือกทุเรียน)
0.5	15	30.67 ± 0.33 ^{i}	0.31 ± 0.00 ^{i}
	30	30.95 ± 0.28 ^{i}	0.31 ± 0.00 ^{i}
	45	36.95 ± 0.95 ^{g}	0.37 ± 0.01 ^{g}
	60	33.83 ± 0.09 ^{h}	0.34 ± 0.00 ^{h}
1.0	15	36.14 ± 0.17 ^{g}	0.36 ± 0.00 ^{g}
	30	47.29 ± 0.48 ^{c}	0.47 ± 0.00 ^{c}
	45	48.13 ± 0.21 ^{bc}	0.48 ± 0.00 ^{bc}
	60	43.83 ± 0.92 ^{e}	0.44 ± 0.00 ^{e}
1.5	15	38.26 ± 0.07 ^{f}	0.38 ± 0.00 ^{f}
	30	49.50 ± 0.12 ^{a}	0.49 ± 0.00 ^{a}
	45	50.51± 0.42 ^{a}	0.51 ± 0.00 ^{a}
	60	48.32 ± 0.13 ^{b}	0.48 ± 0.00 ^{b}
2.0	15	43.38 ± 0.23 ^{e}	0.43 ± 0.00 ^{e}
	30	50.52 ± 0.33 ^{a}	0.51 ± 0.00 ^{a}
	45	50.18 ± 0.21 ^{a}	0.50 ± 0.00 ^{a}
	60	45.72 ± 0.12 ^{d}	0.46 ± 0.00 ^{d}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 48.84 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที รองลงมาคือการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 45.40 กรัมต่อลิตร สำหรับการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์ต่ำสุดเท่ากับ 15.32 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก (เปอร์เซ็นต์)	ระยะเวลาในการย่อย (นาที)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อกรัมเปลือกทุเรียน)
0.5	15	15.32 ± 0.66 ^{e}	0.15 ± 0.01 ^{e}
	30	24.04 ± 1.48 ^{cde}	0.24 ± 0.01 ^{cde}
	45	36.04 ± 3.31 ^{abcd}	0.36 ± 0.03 ^{abcd}
	60	31.13 ± 0.66 ^{bcd}	0.31 ± 0.01 ^{bcd}
1.0	15	24.73 ± 0.92 ^{cde}	0.25 ± 0.01 ^{cde}
	30	26.36 ± 1.36 ^{cde}	0.26 ± 0.01 ^{cde}
	45	37.75 ± 4.52 ^{abc}	0.38 ± 0.05 ^{abc}
	60	45.40 ± 2.55 ^{ab}	0.45 ± 0.03 ^{ab}
1.5	15	25.14 ± 2.28 ^{cde}	0.25 ± 0.02 ^{cde}
	30	26.60 ± 4.03 ^{cde}	0.27 ± 0.02 ^{cde}
	45	32.55 ± 17.61 ^{bcd}	0.33 ± 0.18 ^{bcd}
	60	34.95 ± 0.90 ^{abcd}	0.35 ± 0.01 ^{abcd}
2.0	15	22.13 ± 2.62 ^{de}	0.22 ± 0.03 ^{de}
	30	27.99 ± 3.07 ^{cde}	0.28 ± 0.03 ^{cde}
	45	48.84 ± 0.56 ^{a}	0.49 ± 0.01 ^{a}
	60	32.71 ± 0.25 ^{bcd}	0.33 ± 0.01 ^{bcd}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-60 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์คือ การย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 50.71 กรัมต่อลิตร ไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 49.46 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกพบว่าการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 50.52 กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ที่ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 50.18 กรัมต่อลิตร และการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 และ 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 49.50 และ 50.51 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์โดยการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกพบว่า การย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 48.84 กรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่าการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาทีให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใกล้เคียงกัน สำหรับการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นเดียวกันจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่า เนื่องจากกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเป็นกรดแก่สามารถแตกตัวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ในน้ำ (นภดล, 2547) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จึงสูงกว่าการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกรดฟอสฟอริก จากผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Tellez-Luis *et al.* (2002) ที่ย่อยฟางข้าวฟ่างด้วยกรดซัลฟูริกพบน้ำตาลที่สามารถใช้ในการหมักได้เท่ากับ 24.9 กรัมต่อลิตรเมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 71 นาที และ Sun and Chenge (2005) ย่อยฟางข้าวไรย์และหญ้าเบอร์มูดาด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.6-2.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักพบน้ำตาลที่สามารถใช้ในการหมักมีค่าเท่ากับ 30 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และได้ปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

Kaewnaree (2015) ศึกษาการย่อยชานอ้อยด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0-5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1- 5 ชั่วโมง พบว่า การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก และงานวิจัยของ Gaewchingduang and Pengthemkeerati (2010) ศึกษาการย่อยชานอ้อยด้วยกรดซัลฟูริกและฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 0.05-0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า กรดซัลฟูริกมีความสามารถในการย่อยเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสได้สูงกว่ากรดฟอสฟอริก

สำหรับการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่าการย่อยกากมันสำปะหลัง (cassava bagasse) ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดเท่ากับ 64.2 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (Woiciechowski *et al.*, 2002) เนื่องจากองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังและเปลือกทุเรียนมีความแตกต่างกัน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากมันสำปะหลังเป็นแป้งสูงถึง 60.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเส้นใย 15.24 เปอร์เซ็นต์ (สิริวรรณ, 2554) ส่วนเปลือกทุเรียนมีคาร์โบไฮเดรตเพียง 37.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเส้นใย 27.81 เปอร์เซ็นต์

การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Asil and Qatibi (2009) ที่ศึกษาการย่อยกากทะลายปาล์มที่เกิดขึ้นหลังจากการหีบน้ำมันปาล์มแล้วด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0-4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการย่อยหลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงเนื่องจากกรดทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ โดยกรดทำหน้าที่ดึงโมเลกุลของน้ำออกจากน้ำตาลรีดิวซ์ และทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบเฟอฟิวรอลหรืออนุพันธุ์ของเฟอฟิวรอล เป็นสาเหตุทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าสารที่ได้จากการย่อยจะมีสีที่เข้มขึ้น (Delegenes *et al.*, 1990)

จากการวิเคราะห์การถดถอย (regression) ตัวแปรที่ศึกษา X_1 คือ ความเข้มข้นของกรด และ X_2 คือ เวลาในการย่อย ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Y) จะได้สมการถดถอยดังสมการที่ 4.1-4.3

$$Y\ (H_2SO_4) = -18.549 + 45.999X_1 + 1.523X_2 - 11.043\ X_1X_1 - 0.193\ X_1X_2 - 0.017X_2X_2 \quad (R^2 = 0.922) \qquad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y\ (HCl) = -0.873 + 35.003X_1 + 1.075X_2 - 9.948X_1X_1 - 0.026\ X_1X_2 - 0.012X_2X_2 \quad (R^2 = 0.922) \qquad (4.2)$$

$$Y\ (H_3PO_4) = -4.237 + 15.502X_1 + 1.063X_2 - 3.823X_1X_1 - 0.078X_1X_2 - 0.008X_2X_2 \quad (R^2 = 0.531) \qquad (4.3)$$

จากสมการถดถอยที่ได้เมื่อนำไปคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที และการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ได้ผลดังต่อไปนี้

$$Y\ (H_2SO_4) = -18.549 + 45.999(2) + 1.523(30) - 11.043\ (2)(2) - 0.193\ (2)(30) - 0.017(30)(30)$$

$$= 48.087 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

$$Y\ (HCl) = -0.873 + 35.003(2) + 1.075(30) - 9.948(2)(2) - 0.026\ (2)(30) - 0.012(30)(30)$$

$$= 49.231 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

$$Y\ (H_3PO_4) = -4.237 + 15.502(2) + 1.063(30) - 3.823(2)(2) - 0.078(2)(30) - 0.008(30)(30)$$

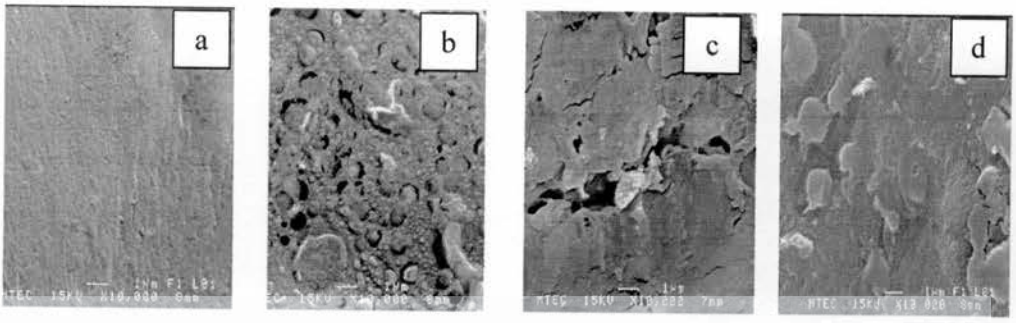
$$= 31.485 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการคำนวณจะเห็นว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริกมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาในตารางที่ 4.3-4.4 ส่วนการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาในตารางที่ 4.5 เนื่องจากค่า R^2 ของสมการถดถอยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริกมีค่าเท่ากับ 0.922 หมายถึง ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้มาก แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์

4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

จากการนำตัวอย่างเปลือกทุเรียนส่วนของแข็งที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดทั้ง 3 ชนิด โดยนำตัวอย่างที่ให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุดในแต่ละกรด ได้แก่ ตัวอย่างที่ย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที และตัวอย่างที่ย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที มาตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า โครงสร้างของเปลือกทุเรียนจะถูกทำลายแสดงดังภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียนที่ย่อยด้วยกรดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด a) เปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยกรด b) เปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที c) เปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที และ d) เปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วย H_3PO_4 ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที

จากภาพถ่ายทางสัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียนที่ย่อยด้วยกรดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นว่าโครงสร้างของเปลือกทุเรียนถูกทำลายด้วยกรด การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกโครงสร้างของเปลือกทุเรียนถูกทำลายได้มากกว่า เกิดลักษณะรูพรุนมากกว่า สำหรับการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะเห็นว่าเกิดการแตกเป็นช่องระหว่างโครงสร้างของเปลือกทุเรียน ส่วนการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกโครงสร้างของเปลือกทุเรียนถูกทำลายได้น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ข้างต้น กรดเจือจางมีประสิทธิภาพในการย่อยลิกโนเซลลูโลสโดยจะไปทำลายพันธะในลิกโนเซลลูโลส ทำให้เฮมิเซลลูโลสละลายออกมาและทำลายโครงสร้างที่เป็นผลึกของเซลลูโลสบางส่วน (*Mosier et al.*, 2005) ปฏิกิริยาการย่อยลิกโนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลในสารละลายกรดเจือจางมีความซับซ้อน เริ่มจากซับสเตรทซึ่งอยู่ในรูปของแข็งถูกเร่งปฏิกิริยาโดยสารละลายกรดที่อยู่ในรูปของเหลว เกิดการแพร่ของโปรตอนผ่านเข้าไปในวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เปียก โปรตอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในพันธะระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและทำลายพันธะเหล่านั้น ทำให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลุดออกมา (Harris, 1952; Fengel and Wegener, 1984; Aguilar *et al.*, 2002)

4.4 ผลการวิเคราะห์ชนิดน้ำตาลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

จากการนำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-60 นาที ไปวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครส ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่า น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกมีน้ำตาลกลูโคสสูงสุด 23.35 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที น้ำตาลฟรุคโตสสูงสุด 12.33 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที น้ำตาลไซโลสสูงสุด 9.87 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที น้ำตาลซูโครสสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.70 เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที และผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส สูงสุด 54.10 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (เปอร์เซ็นต์)	เวลาในการย่อย (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด (กรัมต่อลิตร)				
		กลูโคส (G)	ฟรุคโตส (F)	ไซโลส (X)	ซูโครส (S)	ผลรวมของ G, F และ S
0.5	15	9.56±0.06 ^{h}	9.71±0.01 ^{e}	ND	1.58±0.01 ^{j}	20.84±0.07 ^{i}
	30	14.93±0.04 ^{g}	11.55±0.03 ^{b}	1.97±0.03 ^{l}	2.10±0.01 ^{h}	28.58±0.02 ^{f}
	45	ND	5.79±0.01 ^{k}	ND	2.13±0.03 ^{h}	7.92±0.04 ^{p}
	60	3.88±0.01 ^{k}	9.31±0.01 ^{f}	3.07±0.03 ^{k}	3.26±0.01 ^{g}	16.44±0.01 ^{k}
1.0	15	6.01±0.02 ^{j}	9.07±0.03 ^{g}	ND	0.38±0.00 ^{k}	15.46±0.02 ^{l}
	30	15.40±0.02 ^{e}	10.68±0.02 ^{d}	6.97±0.02 ^{e}	3.47±0.03 ^{f}	29.55±0.05 ^{e}
	45	1.52±0.02 ^{l}	7.38±0.01 ^{j}	8.19±0.01 ^{c}	0.38±0.00 ^{k}	9.27±0.02 ^{o}
	60	3.91±0.01 ^{k}	3.75±0.02 ^{l}	5.56±0.03 ^{h}	6.46±0.03 ^{d}	14.13±0.02 ^{m}
1.5	15	7.19±0.01 ^{i}	7.93±0.02 ^{i}	3.59±0.01 ^{k}	6.57±0.11 ^{c}	21.69±0.13 ^{h}
	30	15.30±0.01 ^{f}	7.89±0.01 ^{i}	4.16±0.01 ^{i}	12.86±0.05 ^{b}	36.05±0.04 ^{b}
	45	7.17±0.03 ^{i}	2.42±0.01 ^{m}	6.66±0.02 ^{f}	0.38±0.00 ^{k}	9.97±0.02 ^{n}
	60	16.65±0.01 ^{c}	1.17±0.03 ^{n}	0.97±0.01 ^{m}	0.38±0.00 ^{k}	18.20±0.03 ^{j}
2.0	15	18.02±0.02 ^{b}	12.33±0.03 ^{a}	6.02±0.02 ^{g}	1.86±0.03 ^{i}	32.21±0.03 ^{c}
	30	23.35±0.04 ^{a}	11.05±0.01 ^{c}	7.20±0.02 ^{d}	19.70±0.01 ^{a}	54.10±0.03 ^{a}
	45	18.02±0.03 ^{b}	9.68±0.02 ^{e}	9.87±0.03 ^{a}	3.71±0.01 ^{e}	31.41±0.02 ^{d}
	60	15.76±0.06 ^{d}	8.59±0.02 ^{h}	9.62±0.03 ^{b}	1.51±0.03 ^{j}	25.86±0.04 ^{g}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกพบน้ำตาลกลูโคสสูงสุด 28.35 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที น้ำตาลฟรุคโตสสูงสุด 13.88 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที น้ำตาลไซโลสสูงสุด 13.33 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 นาที และน้ำตาลซูโครสสูงสุด 12.05 กรัมต่อลิตรเมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที และผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส สูงสุด 51.44 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4.7 ส่วนน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกพบน้ำตาลกลูโคสสูงสุด 12.61 กรัมต่อลิตรเมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที น้ำตาลฟรุคโตสสูงสุด 16.83 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 45 นาที น้ำตาลไซโลสสูงสุด 5.12 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที และน้ำตาลซูโครสสูงสุด 16.36 กรัมต่อลิตรเมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที และผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสได้สูงสุด 29.29 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที แสดงดังตารางที่ 4.8

จากผลการวิเคราะห์น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริก พบน้ำตาล 4 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครส โดยน้ำตาลที่พบเป็นองค์ประกอบหลัก คือ กลูโคสและฟรุคโตส ซึ่งต่างจากการย่อยของเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ เช่น เปลือกข้าวโพด ฟางข้าว แกนข้าวโพด ชานอ้อย และแกลบ พบน้ำตาลกลูโคสและเซลโลไบโอส (Chimtong *et al.*, 2009) แสดงว่าโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์เซลล์พืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันมีผลทำให้ผลผลิตที่ได้จากการย่อยมีความแตกต่างกัน (Sarkar *et al.*, 2009)

Du *et al.* (2004) ทำการย่อยชานอ้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ พบน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และพบน้ำตาลกลูโคส อะราบิโนส และกาแลกโตสออกมาอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการย่อย ที่สภาวะนี้พบน้ำตาลไซโลส 229 มิลลิกรัมต่อกรัม และน้ำตาลกลูโคส 44 มิลลิกรัมต่อกรัม

การย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกได้ปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรคลอริก สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Byong-Hwan *et al.*, 2003) ที่ศึกษาการย่อยชังข้าวโพดด้วยกรดซัลฟูริกและฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที พบว่า การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะละลายออกมามากกว่าการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริก ซึ่ง Gamez *et al.* (2005) กล่าวว่าน้ำในสารละลายกรดฟอสฟอริกจะระเหยออกมา ทำให้สารละลายกรดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น น้ำในสารละลายกรดที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับลิกโนเซลลูโลสจะมีน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (เปอร์เซ็นต์)	เวลาในการย่อย (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด (กรัมต่อลิตร)				
		กลูโคส (G)	ฟรุคโตส (F)	ไซโลส (X)	ซูโครส (S)	ผลรวมของ G, F และ S
0.5	15	ND	11.16±0.05 ^{e}	ND	0.38±0.00 ^{k}	11.54±0.05 ^{o}
	30	4.70±0.02 ^{l}	10.15±0.05 ^{g}	2.44±0.02 ^{l}	0.38±0.00 ^{k}	15.23±0.07 ^{m}
	45	11.36±0.01 ^{h}	13.54±0.03 ^{b}	2.56±0.03 ^{k}	5.23±0.02 ^{d}	30.14±0.03 ^{d}
	60	4.62±0.01 ^{m}	9.52±0.01 ^{h}	ND	8.27±0.01 ^{b}	22.41±0.01 ^{h}
1.0	15	1.56±0.01 ^{o}	11.85±0.02 ^{d}	ND	0.38±0.00 ^{k}	13.79±0.01 ^{n}
	30	10.94±0.01 ^{i}	10.73±0.01 ^{f}	4.08±0.03 ^{j}	5.50±0.03 ^{c}	27.17±0.03 ^{f}
	45	16.14±0.02 ^{d}	13.88±0.03 ^{a}	5.66±0.03 ^{f}	1.59±0.01 ^{i}	31.61±0.06 ^{c}
	60	6.72±0.02 ^{k}	12.11±0.02 ^{c}	5.08±0.04 ^{g}	0.38±0.00 ^{k}	19.22±0.01 ^{j}
1.5	15	4.28±0.02 ^{n}	7.75±0.01 ^{l}	4.37±0.02 ^{h}	4.15±0.03 ^{f}	16.19±0.05 ^{l}
	30	9.76±0.02 ^{j}	4.34±0.02 ^{o}	ND	1.09±0.02 ^{j}	15.20±0.06 ^{m}
	45	15.73±0.03 ^{e}	8.12±0.01 ^{k}	6.74±0.02 ^{e}	2.98±0.02 ^{g}	26.83±0.05 ^{g}
	60	14.07±0.03 ^{f}	6.42±0.02 ^{m}	4.15±0.02 ^{i}	0.38±0.00 ^{k}	20.87±0.05 ^{i}
2.0	15	17.67±0.01 ^{c}	8.52±0.05 ^{j}	7.62±0.02 ^{d}	2.63±0.03 ^{h}	28.83±0.07 ^{e}
	30	28.35±0.01 ^{a}	11.04±0.03 ^{e}	9.00±0.03 ^{c}	12.05±0.02 ^{a}	51.44±0.04 ^{a}
	45	20.92±0.02 ^{b}	8.68±0.15 ^{i}	9.15±0.03 ^{b}	4.57±0.04 ^{e}	34.17±0.13 ^{b}
	60	12.85±0.03 ^{g}	6.17±0.03 ^{n}	13.33±0.02 ^{a}	ND	19.02±0.05 ^{k}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก (เปอร์เซ็นต์)	เวลาในการย่อย (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด (กรัมต่อลิตร)				
		กลูโคส (G)	ฟรุคโตส (F)	ไซโลส (X)	ซูโครส (S)	ผลรวมของ G, F และ S
0.5	15	7.58±0.02 ^{e}	12.87±0.07 ^{b}	ND	4.17±0.03 ^{e}	24.62±0.07 ^{e}
	30	ND	10.24±0.02 ^{h}	3.54±0.02 ^{e}	16.36±0.01 ^{a}	26.60±0.01 ^{c}
	45	5.16±0.04 ^{g}	12.15±0.02 ^{c}	4.21±0.01 ^{d}	1.53±0.02 ^{i}	18.85±0.05 ^{i}
	60	7.20±0.02 ^{f}	11.72±0.02 ^{d}	ND	0.38±0.00 ^{k}	19.30±0.03 ^{h}
1.0	15	7.58±0.01 ^{e}	12.36±0.01 ^{c}	4.71±0.01 ^{c}	2.82±0.02 ^{h}	22.75±0.00 ^{g}
	30	10.70±0.02 ^{b}	11.43±0.03 ^{de}	2.45±0.01 ^{g}	3.29±0.02 ^{f}	25.43±0.02 ^{d}
	45	8.56±0.04 ^{d}	11.50±0.02 ^{d}	4.73±0.02 ^{c}	3.22±0.02 ^{g}	23.29±0.07 ^{f}
	60	3.78±0.02 ^{i}	10.51±0.01 ^{gh}	4.92±0.02 ^{b}	1.45±0.01 ^{j}	15.74±0.03 ^{j}
1.5	15	ND	9.52±0.03 ^{j}	2.59±0.03 ^{f}	4.47±0.03 ^{c}	13.99±0.03 ^{k}
	30	ND	6.85±0.03 ^{i}	ND	0.38±0.00 ^{k}	7.23±0.03 ^{o}
	45	7.59±0.03 ^{e}	11.05±0.03 ^{ef}	2.28±0.01 ^{h}	4.55 ^{b} ±0.06 ^{b}	23.19±0.07 ^{fg}
	60	ND	11.34±0.14 ^{de}	0.29±0.01 ^{i}	0.38±0.00 ^{k}	11.72±0.14 ^{l}
2.0	15	3.00±0.01 ^{j}	5.43±0.02 ^{k}	ND	0.38±0.00 ^{k}	8.81±0.02 ^{n}
	30	12.61±0.01 ^{a}	10.84±0.09 ^{fg}	ND	4.27±0.03 ^{d}	27.73±0.13 ^{b}
	45	9.69±0.02 ^{c}	16.83±0.01 ^{a}	5.12±0.04 ^{a}	2.77±0.03 ^{h}	29.29±0.05 ^{a}
	60	4.66±0.02 ^{h}	5.61±0.53 ^{k}	ND	0.38±0.00 ^{k}	10.65±0.53 ^{m}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลด้วยเครื่องโครมาโทกราฟแบบของเหลวสมรรถนะสูง ผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้สูงที่สุด 54.10 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที รองลงมาคือการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ให้ผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้ 51.44 กรัมต่อลิตร และการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที ให้ผลรวมของน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้ 29.29 กรัมต่อลิตร จึงเลือกใช้น้ำที่ได้จากการย่อยจากเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากให้ปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเอทานอลได้สูงสุด คือน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ไปใช้ในการหมักเอทานอลในขั้นตอนต่อไป

4.5 ผลการวิเคราะห์สารที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเอทานอล

จากผลการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลด้วยเครื่องโครมาโทกราฟแบบของเหลวสมรรถนะสูง จึงเลือกใช้น้ำที่ได้จากการย่อยจากเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที นำไปปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 4, 5 และ 6 ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 นอร์มัล และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ เฟอฟิวรอล และ 5-ไฮดรอกซิเมธิลเฟอฟิวรอล ด้วยเครื่องด้วยเครื่องโครมาโตกราฟแบบของเหลวสมรรถนะสูง ผลการวิเคราะห์พบว่าที่พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0 มีปริมาณเฟอฟิวรอล 0.17, 0.20 และ 0.14 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีปริมาณ 5- ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล 1.12, 1.08 และ 1.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำย่อยเปลือกทุเรียน

ค่าพีเอชของน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด	ปริมาณสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (กรัมต่อลิตร)	
	เฟอฟิวรอล	5- ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล
4.0	0.17 ± 0.02	1.12 ± 0.04
5.0	0.20 ± 0.04	1.08 ± 0.05
6.0	0.14 ± 0.01	1.02 ± 0.03

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าที่พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0 ปริมาณเฟอฟิวรอลมีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.20 กรัมต่อลิตร ส่วน 5 – ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.12 กรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของเฟอฟิวรอลต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อลิตร จะไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเอทานอล แต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงกว่า 2 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในการหมักเอทานอล (Roberto *et al.* (1991) และ Alves *et al.* (1998) พบว่าถ้ามี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไฮดรอกซีเมธิลเฟอฟิวรอลความเข้มข้นมากกว่า 1 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญของยีสต์ *S. cerevisiae* ที่ใช้ในการหมักเอทานอล จากผลการศึกษาปริมาณ 5-ไฮดรอกซิเมทิลเฟอฟิวรอลสูงกว่า 1 กรัมต่อลิตร จึงจำเป็นต้องทำการลดปริมาณ 5-ไฮดรอกซิเมทิลเฟอฟิวรอลโดยวิธีโอเวอร์ไลมิ่งในขั้นตอนการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการหมักต่อไป

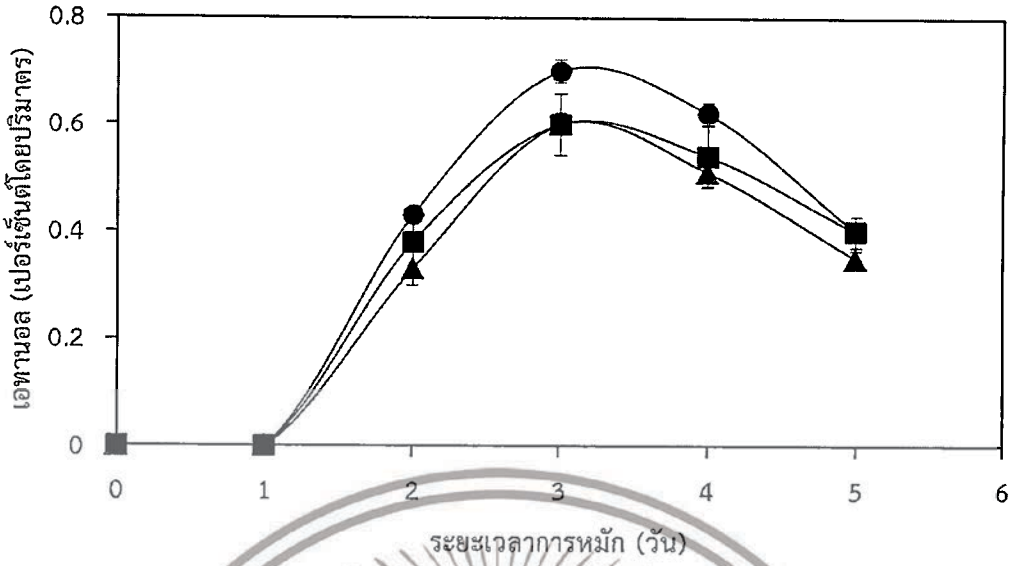
จากการศึกษาของ Palmqvist and Hahn-Hagerdal (2000) พบว่าผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการย่อยลิกโนเซลลูโลสด้วยกรด คือ น้ำตาลกลูโคส จากส่วนของเซลลูโลส น้ำตาลไซโลส แมนโนส กาแลกโตส และกลูโคสจากส่วนของเฮมิเซลลูโลส เมื่อย่อยด้วยสภาวะที่ใช้อุณหภูมิและความดันสูงไซโลสจะเปลี่ยนรูปเป็นเฟอฟิวรอล ส่วนกลูโคส แมนโนส และกาแลกโตสจะเปลี่ยนเป็นไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล

4.6 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

4.6.1 ผลของสายพันธุ์เชื้อต่อการผลิตเอทานอล

จากการเติมกล้าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ TISTR 5019, TISTR 5049 และ TISTR 5059 ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำจากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอช 5.0 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.2 เชื้อทุกสายพันธุ์จะผลิตเอทานอลในวันที่ 2 ของการหมัก การใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ในการหมักจะให้ผลผลิตเอทานอล 0.43 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก วันที่ 3 ของการหมักผลิตเอทานอลได้สูงสุด 0.70 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 4 และ 5 ของการหมักปริมาณเอทานอลจะลดลงเป็น 0.62 และ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การหมักโดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5049 ให้ผลผลิตเอทานอล 0.38 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก วันที่ 3 ของการหมักผลิตเอทานอลได้ 0.60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 4 และ 5 ของการหมักปริมาณเอทานอลจะลดลงเป็น 0.54 และ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และการหมักโดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5059 ให้ผลผลิตเอทานอล 0.33 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก วันที่ 3 ของการหมักผลิตเอทานอลได้ 0.60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 4 และ 5 ของการหมักปริมาณเอทานอลจะลดลงเป็น 0.51 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร แสดงดังตารางภาคผนวก ข.1 โดยเอทานอลที่ได้เกิดจากการใช้น้ำตาลในอาหารเลี้ยงเชื้อของยีสต์ ในการศึกษานี้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5019 เป็นสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล ได้ผลผลิตเอทานอล 0.70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงเลือกใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ไปใช้ในการผลิตเอทานอลในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

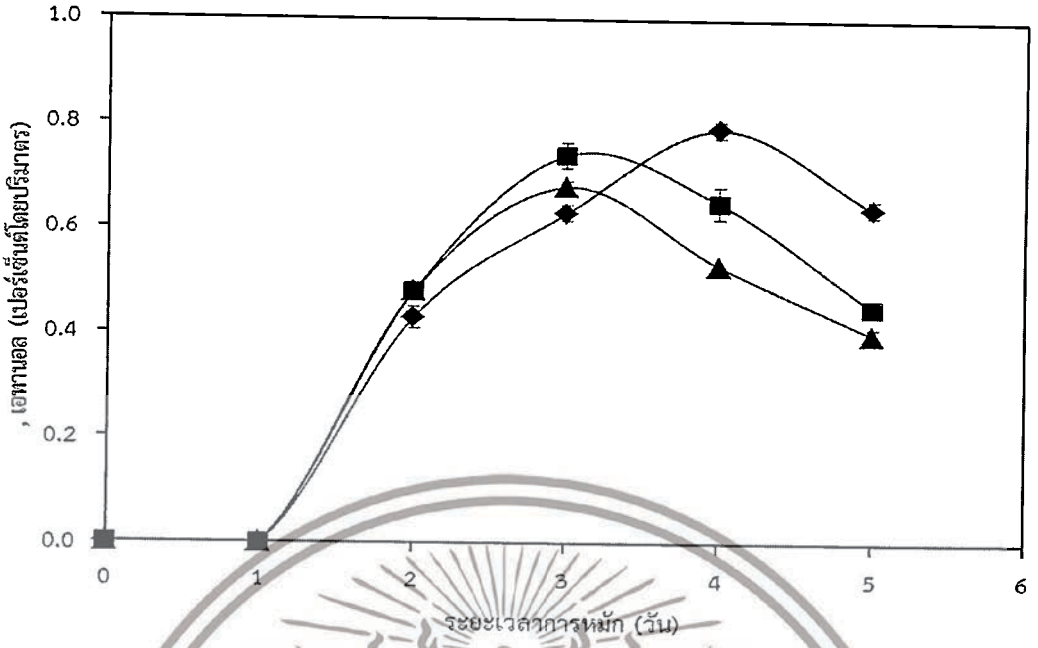


ภาพที่ 4.2 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยยีสต์ *S. cerevisiae* (●), TISTR 5019; (■), TISTR 5049; (▲),TISTR 5059 โดยใช้ปริมาณกล้าเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.6.2 ผลของกล้าเชื้อต่อการผลิตเอทานอล

จากการเติมกล้าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำจากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอช 5.0 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.3 การเติมกล้าเชื้อยีสต์ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะผลิตเอทานอลในวันที่ 2 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุด 0.79 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 4 ของการหมัก และจะลดลงในวันที่ 5 ของการหมัก ในขณะที่การใช้กล้าเชื้อในปริมาณ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และให้ปริมาณเอทานอล 0.74 และ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 3 ของการหมัก ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง แสดงดังตารางภาคผนวก ข.2 ผลการศึกษาคล้ายกับงานวิจัยของ Nimbkar *et al.* (2009) ที่ศึกษาผลของกล้าเชื้อต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นต้นอ่อนข้าวฟ่างหวาน โดยใช้กล้าเชื้อปริมาณ 2, 4, 6, 8, และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กล้าเชื้อในปริมาณต่ำ 6 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 12.45 และ 12.23 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Udhayaraja and Narayanan (2012) ที่ผลิตเอทานอลจากใบข้างฟ่าง โดยใช้กล้าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ปริมาณ 4, 6, 8, and 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กล้าเชื้อปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุด แสดงว่าอาหารเลี้ยงเชื้อต่างชนิดกันต้องการกล้าเชื้อในปริมาณที่แตกต่างกันในการผลิตเอทานอล การที่ใช้เชื้อปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าเนื่องจากการใช้เชื้อปริมาณน้อยในสภาพไม่มีอากาศยีสต์จะใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญน้อยกว่า น้ำตาลที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้มากกว่าการเติมกล้าเชื้อ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

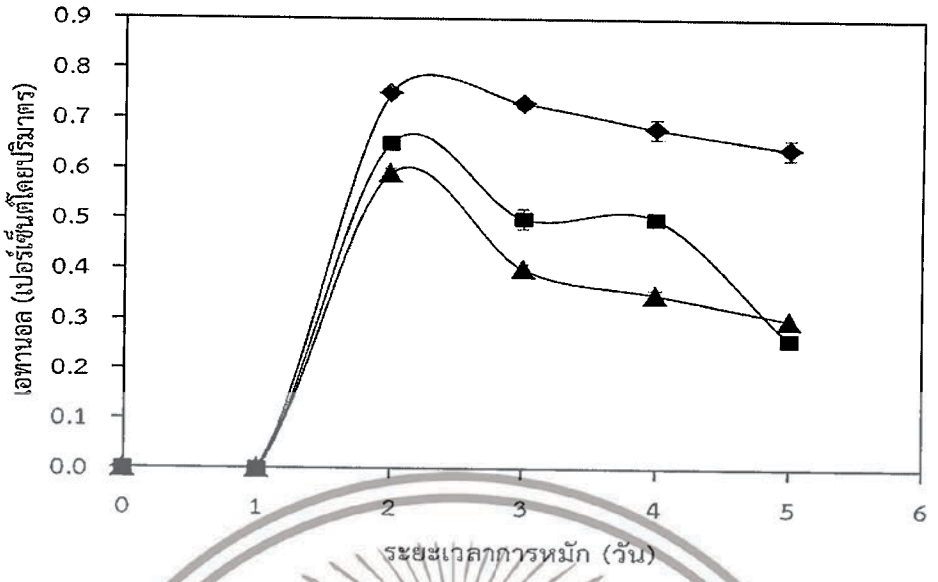


ภาพที่ 4.3 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันโดยใช้กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ (◆) 5 เปอร์เซ็นต์; (■), 10 เปอร์เซ็นต์ ; (▲), 15 เปอร์เซ็นต์

4.6.3 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการผลิตเอทานอล

พีเอชในอาหารเลี้ยงเชื้อถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลโดยยีสต์ พีเอชเป็นกรดหรือด่างมีผลต่อกระบวนการทางเมแทบอลิซึมและการเจริญของเซลล์ยีสต์ (Willaert and Viktor, 2006) ในการศึกษานี้ได้เตรียมน้ำจากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ทำการปรับพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อให้เท่ากับ 4.0, 5.0 และ 6.0 เติมกล้าเชื้อลงไป 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่า ที่พีเอช 4.0 สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง ที่พีเอช 5.0 และ 6.0 สามารถผลิตเอทานอลได้ 0.65 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 2 วัน หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง แสดงดังตารางภาคผนวก ข.3 จากผลการศึกษาแสดงว่าที่พีเอช 4.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล สอดคล้องกับการศึกษาของ Lin *et al.* (2012) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลโดยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* BY4742 พบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลมีค่าอยู่ในช่วง 4.0-5.0 และสอดคล้องกับการศึกษาการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือใช้ เช่น เศษขนมปัง เปลือกส้ม ของเสียจากห้องครัว ของเหลือจากการทำสับปะรดกระป๋อง และฟางข้าวสาลี โดยยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลอยู่ในช่วง 4.18 - 6.0 (Nigam, 2000; Singh and Bishnoi, 2013; Wang *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2013).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

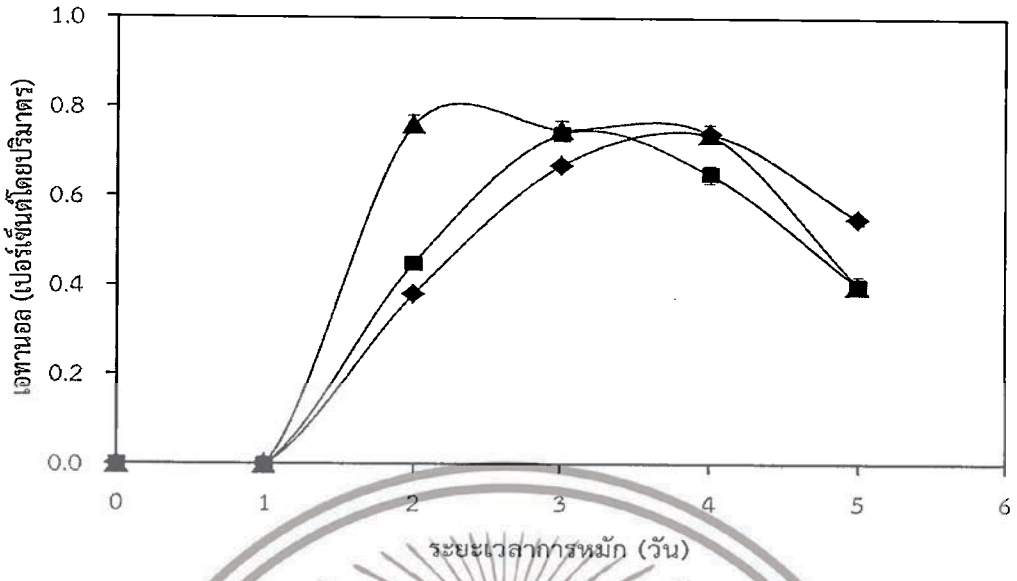


ภาพที่ 4.4 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก พีเอช (◆), pH 4.0; (■), 5.0; (▲), 6.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

4.6.4 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอทานอล

มีรายงานว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์และการผลิตเอทานอล ระยะ log phase ปฏิกิริยาของเอนไซม์ และหน้าที่ของผนังเซลล์ (Şener *et al.*, 2007) งานนี้ได้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ปรับพีเอชเท่ากับ 4.0 เติมกล้าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ลงไป 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.5 การหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบปริมาณเอทานอลสูงสุด 0.76 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 2 วัน ไม่แตกต่างจากการหมักที่ระยะเวลา 3 และ 4 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การหมักที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบปริมาณเอทานอล 0.38 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรในวันที่ 2 ของการหมัก หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.67 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 3 และ 4 ของการหมัก ตามลำดับ และหลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง ส่วนการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเอทานอลเท่ากับ 0.45 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก และจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.74 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 3 ของการหมัก หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง แสดงดังตารางภาคผนวก ข.4 จากผลการศึกษาแสดงว่าการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล สอดคล้องกับการศึกษาของ Slaa *et al.* (2009) และ Thenmozhi and Victoria (2013) ที่ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยยีสต์ *S. cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สามารถผลิตเอทานอลได้สูงที่สุด แต่ต่างจากการศึกษาของ Benerji *et al.* (2010) ที่ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลโดยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* 3090 พบว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุด แสดงว่ายีสต์สายพันธุ์ต่างกันจะมีอุณหภูมิในการบ่มเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลต่างกัน (Deesuth *et al.* 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



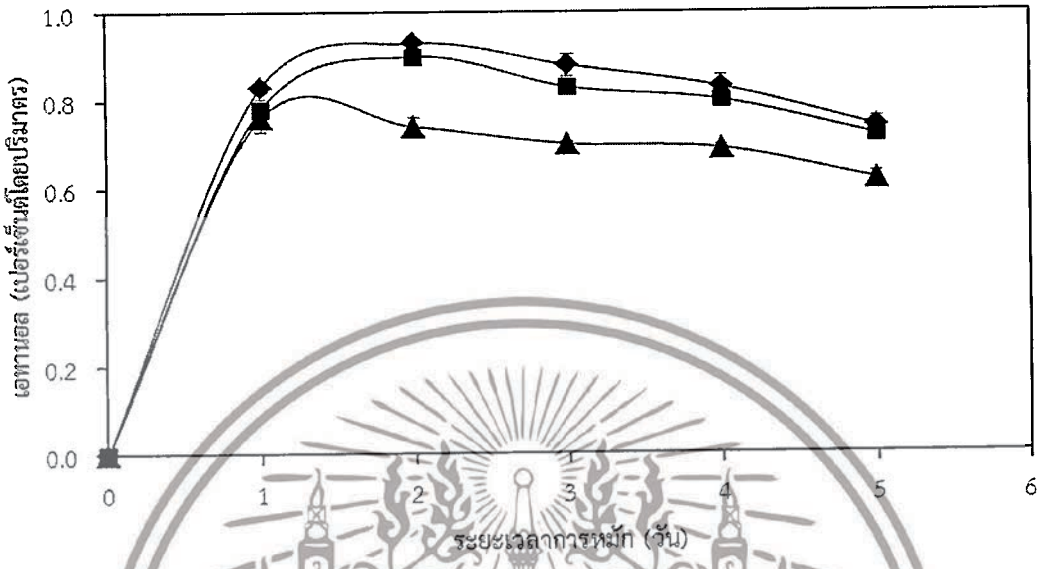
ภาพที่ 4.5 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดพีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ (◆), 25 (■), 30 และ (▲), 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

4.6.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอล

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของเซลล์ การเติมแหล่งไนโตรเจนจะมีผลต่อการผลิตเอทานอลและมีผลต่อความทนต่อเอทานอล (Bafrncová *et al.* 1999) การศึกษานี้ได้ทำการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด เติมแหล่งไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมซัลเฟตลงไปปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.0 บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.6 การเติมแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุด 0.80 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ของการหมัก หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง และการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปปริมาณ 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณเอทานอล 0.78 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง แสดงดังตารางภาคผนวก ข.5 จากผลการศึกษาการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล จึงเลือกไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป การเติมแหล่งไนโตรเจนลงไปจะทำให้ยีสต์เจริญเร็วขึ้น ช่วยย่นระยะเวลาในการหมักให้สั้นลง และได้ปริมาณเอทานอลสูงขึ้น (Beltran *et al.*, 2005) ถ้าเติมลงไปในปริมาณมากจะผลิตกรด (Bely *et al.*, 2003) และไฮโดรเจนซัลไฟต์ (Wang *et al.*, 2003) เพิ่มขึ้นซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของเซลล์และทำให้การผลิตเอทานอลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์โดยไปทำปฏิกิริยากับฟอสโฟลิปิดที่ผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์เกิดสภาวะสมดุล และช่วยทำให้ยีสต์คงทนต่อเอทานอล



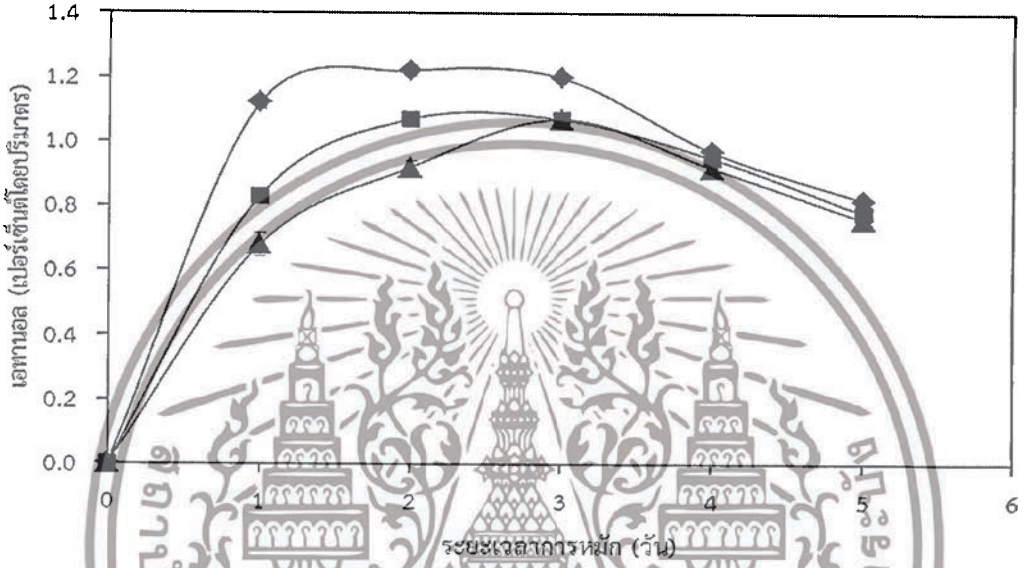
ภาพที่ 4.7 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $MgSO_4.7H_2O$ (◆), 0.1; (■), 0.5; (▲), 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

4.6.7 ผลของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตต่อการผลิตเอทานอล

โปตัสเซียมเป็นธาตุที่เซลล์ต้องการให้ปริมาณต่ำแต่มีความจำเป็นต่อการมีชีวิตของเซลล์ การศึกษานี้ได้ผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติมโปตัสเซียมฟอสเฟตลงไปเป็นแหล่งของโปตัสเซียม ปริมาณ 0.1, 0.5, และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.0 บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.8 การเติมแหล่งโปตัสเซียมลงไป 0.1 เปอร์เซ็นต์ได้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 1.22 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 2 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง การเติมแหล่งโปตัสเซียมลงไป 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาณเอทานอล 1.07 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลจะลดลง แสดงดังตารางภาคผนวก ข.7 การเติมโปตัสเซียมฟอสเฟตลงไปจะทำให้ได้ปริมาณเอทานอลสูงขึ้น ถ้าเติมมากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์จะทำให้การผลิตเอทานอลลดลง การเติมแหล่งโปตัสเซียมลงไปช่วยส่งเสริมให้มีการผลิตเอทานอลสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Rubio-Arroyo *et al.* (2011) ที่ศึกษาผลของเกลืออนินทรีย์ที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำย่อยข้าวฟ่างโดยยีสต์ *S. cerevisiae* โดยเติมแอมโมเนียมซัลเฟตลงไป 0 และ 0.5 กรัม โปตัสเซียมฟอสเฟต 0 และ 1.5 กรัม เปปโตน 0 และ 7.5 กรัม และยีสต์สกัด 0 และ 2.5 กรัม หมักเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การเติมสารอนินทรีย์โปตัสเซียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต เปปโตน และยีสต์สกัดลงไปในน้ำที่ได้จากการย่อยข้าวฟ่างจะทำให้ได้ผลผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 48 และ 72 ชั่วโมง สูงกว่าการผลิตเอทานอลจากน้ำย่อยข้าวฟ่างที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ ลงไป ที่ระยะเวลาการหมักเอทานอล 72 ชั่วโมง ให้ผลผลิตเอทานอล 10.98 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเกลือฟอสเฟตช่วยในการส่งเสริมการหมักเอทานอลจากน้ำย่อยข้าวฟ่างให้มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลสูงขึ้น โดยจะไปช่วยสร้างอะดีโนซีน ไทรฟอสเฟต (adenosine triphosphate; ATP) เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.8 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟูริก เติม $KH_2PO_4.7H_2O$ (◆), 0.1; (■), 0.5; (▲), 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล ได้แก่ สายพันธุ์ยีสต์ ปริมาณกล้าเชื้อยีสต์ พีเอชเริ่มต้น อุณหภูมิในการบ่ม แหล่งไนโตรเจน แหล่งแมกนีเซียม และแหล่งโปตัสเซียม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล คือ การใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเริ่มต้น 4.0 อุณหภูมิในการบ่ม 35 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเขย่า เติมแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโปตัสเซียมซัลเฟต เท่ากับ 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุด เท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร ซึ่ง Udhayaraja and Narayanan (2012) ผลิตเอทานอลจากใบข้าวฟ่าง โดยหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมัก ได้แก่ พีเอช (3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5) อุณหภูมิ (25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส) ปริมาณกล้าเชื้อ (4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์) พบสภาวะที่สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด คือ พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 6.5 เติมกล้าเชื้อลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ และบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ Zhang *et al.* (2013) ผลิตเอทานอลจากฟางข้าวสาลีโดยการย่อยสลายควบคู่กับการหมัก โดยการออกแบบการทดลอง Box-Behnken design (BBD) เพื่อให้สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด โดยการศึกษาปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณเอนไซม์ที่ใส่เข้าไป ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของยีสต์ และพีเอช พบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการหมักเอทานอลสูงสุด คือ อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไป 30 หน่วยต่อกรัมซับสเตรท ความเข้มข้นของยีสต์ 10 กรัมต่อลิตร และพีเอช 4.6

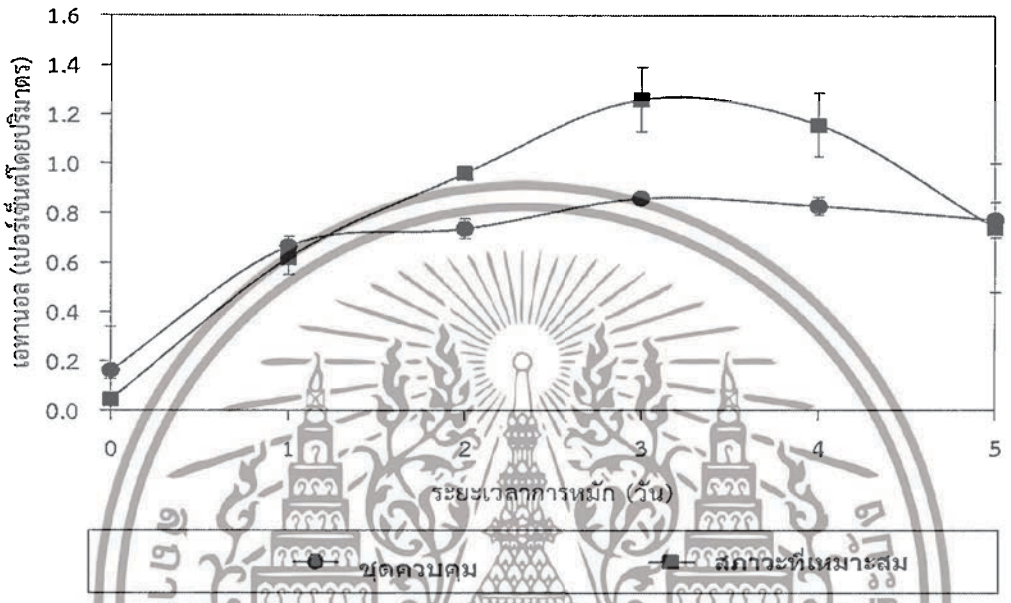
ยีสต์ที่ใช้สำหรับการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมมีหลายสปีชีส์ เช่น *S. cerevisiae, S. uvarum* (*Carlbergensis*), *Schizosaccharomyces pombe* และ *kluyveromyces fragillis* สำหรับ *S. cerevisiae* เป็นยีสต์ที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่า *S. uvarum* และยีสต์ชนิดอื่น ดังนั้นการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จึงใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ปริมาณกล้าเชื้อที่ใช้ทั่วไปอยู่ในช่วง 3-10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ การใช้กล้าเชื้อปริมาณมากช่วงลดระยะเวลาของระยะแล็ก (lag phase) และทำให้ได้มวลชีวภาพสูงในระยะเวลาที่สั้นลงซึ่งเป็นผลให้ความสามารถในการผลิตเพิ่ม (สาวิตรี, 2549) พีเอชมีผลต่อกิจกรรมทางชีววิทยาของเซลล์น้อยกว่าอุณหภูมิเพราะเซลล์สามารถควบคุมความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนภายในเซลล์ได้อย่างดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชภายนอกเซลล์ พีเอชของอาหารภายนอกอาจมีผลต่อโครงสร้างและสภาพให้ซึมผ่านได้ของเซลล์ (cell permeability) พีเอชมีบทบาทช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นในระหว่างการหมัก โดยปกติอาหารที่ใช้สำหรับการเจริญของยีสต์มีพีเอชอยู่ในช่วง 4-5 และปกติจุลินทรีย์จะเจริญเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ การเลี้ยงยีสต์ส่วนใหญ่มักบ่มที่อุณหภูมิ 30-35องศาเซลเซียส โดยการเจริญจะลดลงมากที่ 20 องศาเซลเซียส และไม่เจริญที่ 60-70 องศาเซลเซียส (Halasz and Lasztity, 1991) แหล่งไนโตรเจนที่นิยมใช้ในการหมักเอทานอล คือ แอมโมเนียมซัลเฟต ใช้ปริมาณ 0.05-0.10 เปอร์เซ็นต์ ยีสต์สามารถสร้างกรดอะมิโนจำเป็นได้จากแอมโมเนียมไอออนหรือแหล่งไนโตรเจนอื่น (Amerine *et.al*, 1980) ยีสต์ต้องการเกลือแร่เหมือนกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น เกลือแร่ที่ยีสต์ต้องการประกอบด้วยโปตัสเซียม แมกนีเซียม และธาตุที่ต้องการในปริมาณต่ำหลายชนิด สำหรับโปตัสเซียมและแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหาร macroelement ที่ยีสต์ต้องการที่ความเข้มข้นเป็นมิลลิโมลาร์ ยีสต์ทุกชนิดของการโปตัสเซียมสำหรับการเจริญโดยโปตัสเซียมทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์สำหรับเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) การสังเคราะห์โปรตีน และเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต เช่น ไพรูเวตไคเนส (pyruvate kinase) อัลโดเลส (aldolase) อัลดีไฮด์ดีไฮโดรจีเนส (aldehyde dehydrogenase) และเอทีพีเอส (ATPase) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนั้นยังร่วมในการนำสารอาหารอื่นเข้าเซลล์ สำหรับแมกนีเซียมเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของยีสต์เช่นกัน ทำหน้าที่เกี่ยวกับโครงสร้างและเมแทบอลิซึม เช่น การทำงานของเอนไซม์สำหรับการเคลื่อนย้ายฟอสเฟต (transphosohorylation) ต้องอาศัยแมกนีเซียมไอออน (สาวิตรี, 2549)

4.6.8 ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนที่ไม่เติมสารใดเลย ที่สภาวะเดียวกัน

จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล คือ การใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเริ่มต้น 4.0 อุณหภูมิในการบ่ม 35 องศาเซลเซียส เติมแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโปตัสเซียมซัลเฟต เท่ากับ 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เปรียบเทียบกับการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกที่ไม่ได้เติมสารใดเลย โดยใช้สภาวะการหมักเดียวกัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.9 การผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมสามารถผลิตเอทานอลได้สูงกว่าประมาณ 4.7 เท่า โดยสามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุด 1.26 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 3 ของการหมัก ส่วนการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยซัลฟูริกโดยไม่ได้เติมสารใด ๆ ลงไปให้ปริมาณเอทานอล 0.86 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในวันที่ 3 ของการหมัก ดังตารางภาคผนวก ข.8 แสดงว่าการเติมสารอาหารลงไปจะช่วยส่งเสริมการผลิตเอทานอลให้สูงขึ้น



ภาพที่ 4.9 ผลการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก เติม $(NH_4)_2SO_4$, $MgSO_4.7H_2O$ และ $KH_2PO_4.7H_2O$ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ พีเอช 4.0 กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เปรียบเทียบกับการหมักที่ไม่เติมสารใดเลย ที่สภาวะเดียวกัน

4.7 ผลการผลิตเอทานอลในถังหมักแบบใบพัดกวน

4.7.1 ผลการศึกษาความเร็วในการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

จากการผลิตเอทานอลในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้ความเร็วรอบใบพัด 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.10-4.11 และตารางที่ 4.10 ที่อัตราการกวน 50 รอบต่อนาที พีเอชเริ่มต้นเป็น 4.06 จากนั้นค่าพีเอชจะเริ่มลดลงในวันที่ 2 ของการหมัก มีค่าอยู่ในช่วง 3.8-3.9 มวลเซลล์ของยีสต์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและสูงสุดในวันที่ 5 ของการหมัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.64 กรัมต่อลิตร น้ำตาลทั้งหมดจะลดลงจาก 41.69 กรัมต่อลิตร เป็น 25.69 กรัมต่อลิตรในวันที่ 1 ของการหมักและจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่การผลิตเอทานอลจะเริ่มผลิตในวันที่ 1 เท่ากับ 4.00 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดในวันที่ 7 ของการหมักได้เอทานอลเท่ากับ 8.61 กรัมต่อลิตร อัตราการผลิตเอทานอลและผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 0.05 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.26 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที พีเอชเริ่มต้นเป็น 4.12 ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับมวลเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้น 8.85 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 1 ของการหมัก หลังจากนั้นจะสูงสุด 9.11 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก หลังจากนั้นมวลเซลล์จะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเริ่มต้น 43.03 กรัมต่อลิตร จะลดลงเหลือ 22.75 กรัมต่อลิตรในวันที่ 1 ของการหมักและจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนวันสุดท้ายเหลือ 8.67 กรัมต่อลิตร ในขณะที่การผลิตเอทานอลจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 1 ของการหมัก เท่ากับ 9.81 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง อัตราการผลิตเอทานอลและผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 0.41 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.47 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ

ที่อัตราการกวน 150 และ 200 รอบต่อนาที แนวโน้มของค่าพีเอชจะคงที่ตลอด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงและเหลือ 5.97 และ 4.52 กรัมต่อลิตรในวันสุดท้ายของการหมักตามลำดับ ที่อัตราการกวน 150 รอบต่อนาที มวลเซลล์สูงสุด 9.46 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการหมัก และปริมาณเอทานอลจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 1 ของการหมัก เท่ากับ 7.94 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก อัตราการผลิตเอทานอลและผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 0.16 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.30 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ สำหรับที่อัตราการกวน 200 รอบต่อนาที มวลเซลล์สูงสุด 10.40 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก และปริมาณเอทานอลจะมีค่าสูงสุด 7.16 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก อัตราการผลิตเอทานอลและผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 0.15 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.31 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ

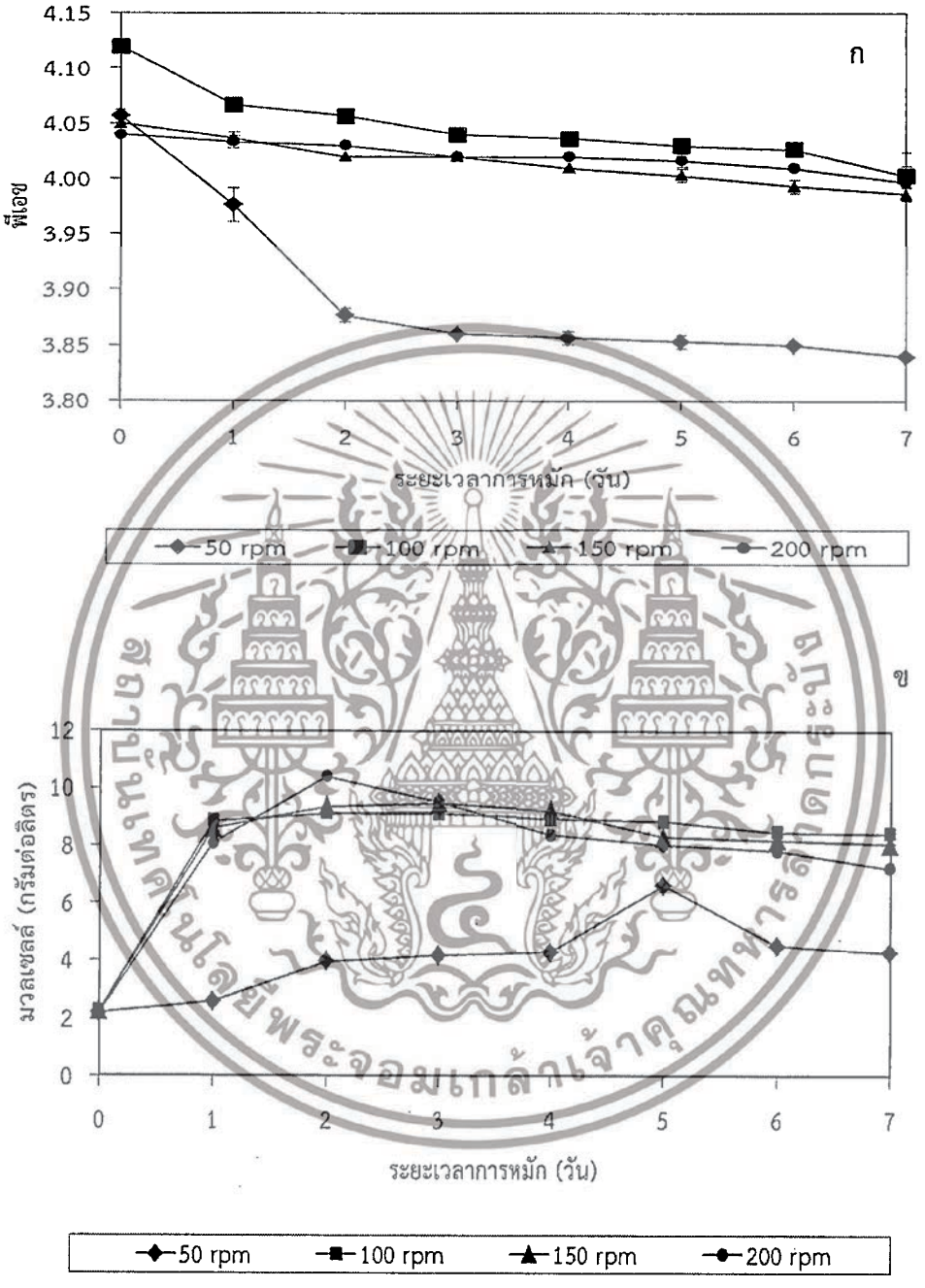
อัตราการกวน 100 รอบต่อนาทีให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่า 150 และ 200 รอบต่อนาที เนื่องจากการหมักเอทานอลในสภาวะที่ไม่มีอากาศ เมื่ออัตราการกวนสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีปริมาณเพิ่มขึ้น ยีสต์จะใช้น้ำตาลในสภาวะการหายใจแบบใช้อากาศ ทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น น้ำตาลที่ยีสต์จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลจึงลดลง ทำให้ปริมาณเอทานอลลดลง ส่วนอัตราการกวน 50 รอบต่อนาทีมีปริมาณเอทานอลต่ำกว่าเนื่องจากอัตราการกวนที่ความเร็วรอบต่ำทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อเกิดการผสมได้ดีขึ้นเท่านั้น แต่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีปริมาณต่ำ จำนวนเซลล์ยีสต์ที่จะใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลมีปริมาณน้อย ปริมาณเอทานอลที่ได้จึงต่ำกว่าการกวนที่ 100 รอบต่อนาที

จากการศึกษาจะเห็นว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง มวลเซลล์เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลง และปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น การเจริญของยีสต์อย่างรวดเร็วทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเป็นผลรวมของการนำเข้าของไอออนต่างชนิดกัน การปลดปล่อยโปรตอนระหว่างการขนส่งสารอาหาร การปลดปล่อยกรดอินทรีย์ และการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (Isaac and Jenning, 1995; Walker, 1998) การลดลงของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เกิดจากยีสต์นำน้ำตาลไปใช้ในการเจริญและเพิ่มจำนวน โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก (ไพบูลย์ และศักดิ์สิทธิ์, 2549) และจากรายงานของ Halasz and Laszlity (1991) พบว่าออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในระบบขนส่งอิเล็กตรอน เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต โดยการสังเคราะห์กรดโอเลอิก (oleic acid) เออร์โกสเตรอล (ergosterol) และกรดนิโคตินิก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน การเติมอากาศลงไปจะมีทำให้เกิดผลพลอยได้ เช่น กลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลทำให้การผลิตเอทานอลลดลง (Alfenore *et al.*, 2004)

เมื่อมีการให้ออกซิเจน (อากาศ) จะทำให้ยีสต์มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ ยีสต์มีการใช้สารอาหาร (น้ำตาล) ในสภาวะการหายใจแบบใช้อากาศ มีการออกซิเดชั่นของน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ได้

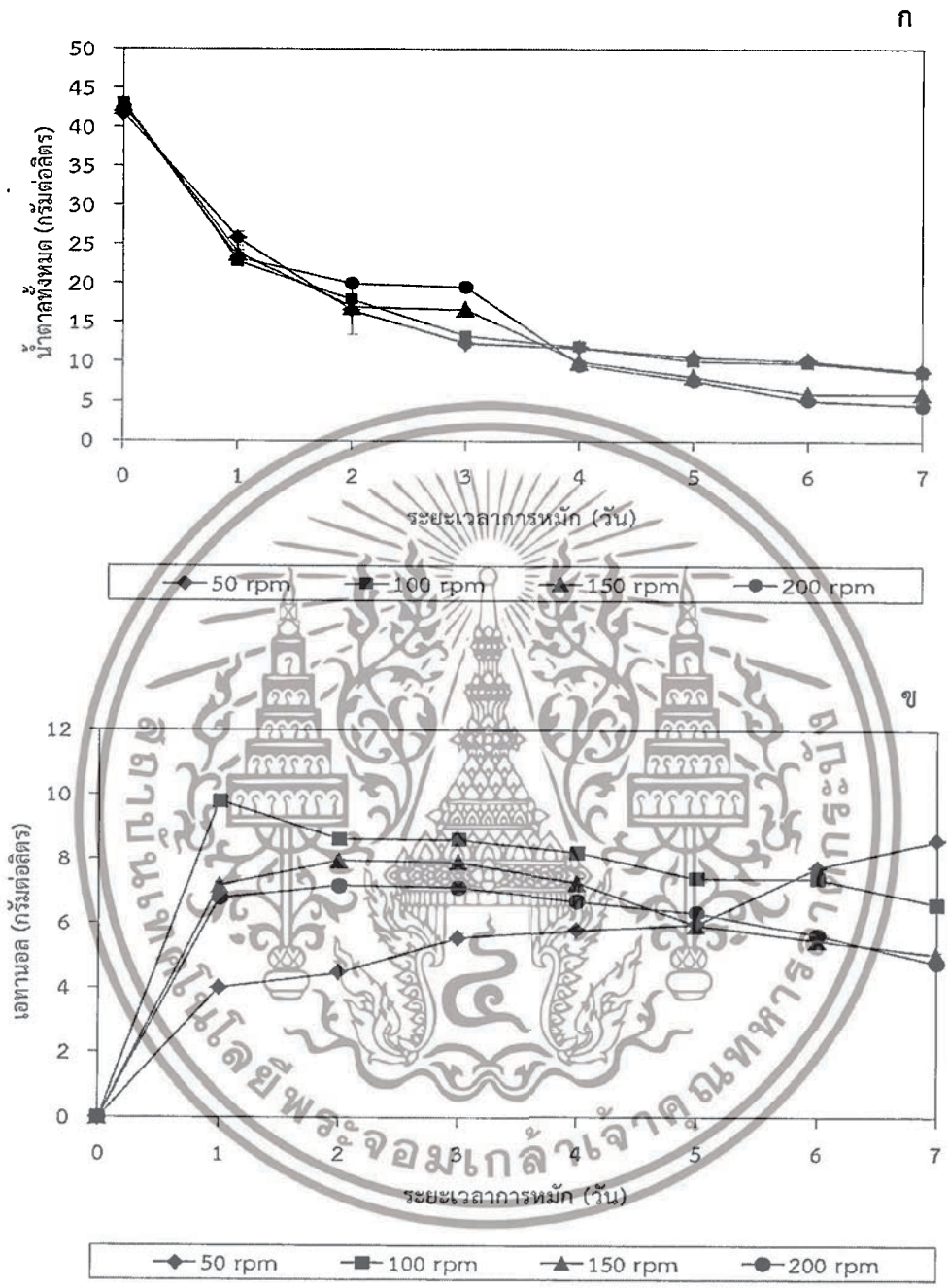
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจากวงจรกรดไทรคาร์บอกซิลิกและลูกโซ่หายใจ การผลิตเอทานอลจะลดลง (สาวิตรี, 2549)



ภาพที่ 4.10 ค่าพีเอช (ก) และมวลเซลล์ (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล ที่อัตราการกวน 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 น้ำตาลทั้งหมด (ก) และปริมาณเอทานอล (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่อัตราการกวน 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการศึกษาอัตราการกวนต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	พีเอช	มวลเซลล์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	เอทานอล (กรัมต่อลิตร)
50	0	4.06± 0.01^{bc}	2.20± 0.05^{yz}	41.69± 0.01^{b}	ND
	1	3.98± 0.02^{j}	2.58± 0.02^{x}	25.69± 0.84^{c}	4.00± 0.12^{r}
	2	3.88± 0.01^{k}	3.97± 0.02^{w}	16.20± 3.15^{h}	4.47± 0.05^{q}
	3	3.86± 0.00^{l}	4.18± 0.01^{v}	12.32± 0.48^{ij}	5.56± 0.12^{n}
	4	3.86± 0.01^{l}	4.30± 0.02^{u}	11.80± 0.00^{j}	5.82± 0.05
	5	3.85± 0.01^{m}	6.64± 0.01^{s}	10.57± 0.03^{k}	6.03± 0.12^{k}
	6	3.85± 0.00^{m}	4.54± 0.01^{t}	10.17± 0.04^{k}	7.77± 0.46^{e}
	7	3.84± 0.00^{n}	4.28± 0.03	8.81± 0.01^{lm}	8.61± 0.80^{b}
100	0	4.12± 0.00^{a}	2.24± 0.01^{yz}	43.03± 0.02^{a}	ND
	1	4.07± 0.01^{b}	8.85± 0.03^{h}	22.75± 0.47^{e}	9.81± 0.01^{a}
	2	4.06± 0.01^{bc}	9.11± 0.01^{f}	17.92± 0.10^{g}	8.62± 0.02^{b}
	3	4.04± 0.00^{d}	9.09± 0.01^{f}	13.23± 0.01^{i}	8.61± 0.01^{b}
	4	4.04± 0.01^{d}	8.95± 0.01^{g}	11.88± 0.02^{j}	8.22± 0.02^{c}
	5	4.03± 0.00^{e}	8.86± 0.02^{h}	10.09± 0.02^{k}	7.44± 0.01^{f}
	6	4.03± 0.01^{e}	8.49± 0.01^{i}	9.88± 0.01^{k}	7.43± 0.00^{f}
	7	4.00± 0.02^{h}	8.45± 0.01^{k}	8.67± 0.02^{lmn}	6.64± 0.01^{l}
150	0	4.05± 0.00^{cd}	2.25± 0.01^{yz}	42.94± 0.02^{a}	ND
	1	4.04± 0.01^{d}	8.58± 0.02^{i}	23.79± 0.48^{d}	7.16± 0.09^{gh}
	2	4.02± 0.00^{f}	9.35± 0.01^{d}	16.97± 0.03^{gh}	7.94± 0.06^{d}
	3	4.02± 0.00^{f}	9.46± 0.02^{c}	16.64± 0.02^{h}	7.90± 0.00^{d}
	4	4.01± 0.00^{g}	9.24± 0.02^{e}	9.94± 0.01^{k}	7.27± 0.16^{g}
	5	4.00± 0.01^{h}	8.31± 0.01^{m}	8.17± 0.03^{mn}	5.98± 0.04^{k}
	6	3.99± 0.01^{i}	8.21± 0.01^{n}	5.98± 0.02^{o}	5.53± 0.08^{n}
	7	3.99± 0.01^{i}	8.07± 0.02^{o}	5.97± 0.02^{o}	5.09± 0.09^{o}
200	0	4.04± 0.00^{d}	2.22± 0.02^{yz}	42.65± 0.01^{ab}	ND
	1	4.03± 0.01^{e}	8.08± 0.02^{o}	23.26± 0.30^{de}	6.77± 0.09^{l}
	2	4.03± 0.00^{e}	10.40± 0.00^{a}	20.00± 0.01^{f}	7.16± 0.09^{gh}
	3	4.02± 0.00^{f}	9.51± 0.02^{b}	19.55± 0.01^{f}	7.11± 0.00^{h}
	4	4.02± 0.00^{f}	8.39±0.01^{l}	9.63± 0.01^{kl}	6.72± 0.08^{l}
	5	4.02± 0.01^{f}	8.03± 0.02^{p}	7.68± 0.03^{n}	6.37± 0.09^{j}
	6	4.01± 0.00^{g}	7.85± 0.01^{q}	5.13± 0.01^{op}	5.69± 0.16^{m}
	7	4.00± 0.02^{h}	7.25± 0.03^{r}	4.52± 0.01^{p}	4.85± 0.12^{p}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

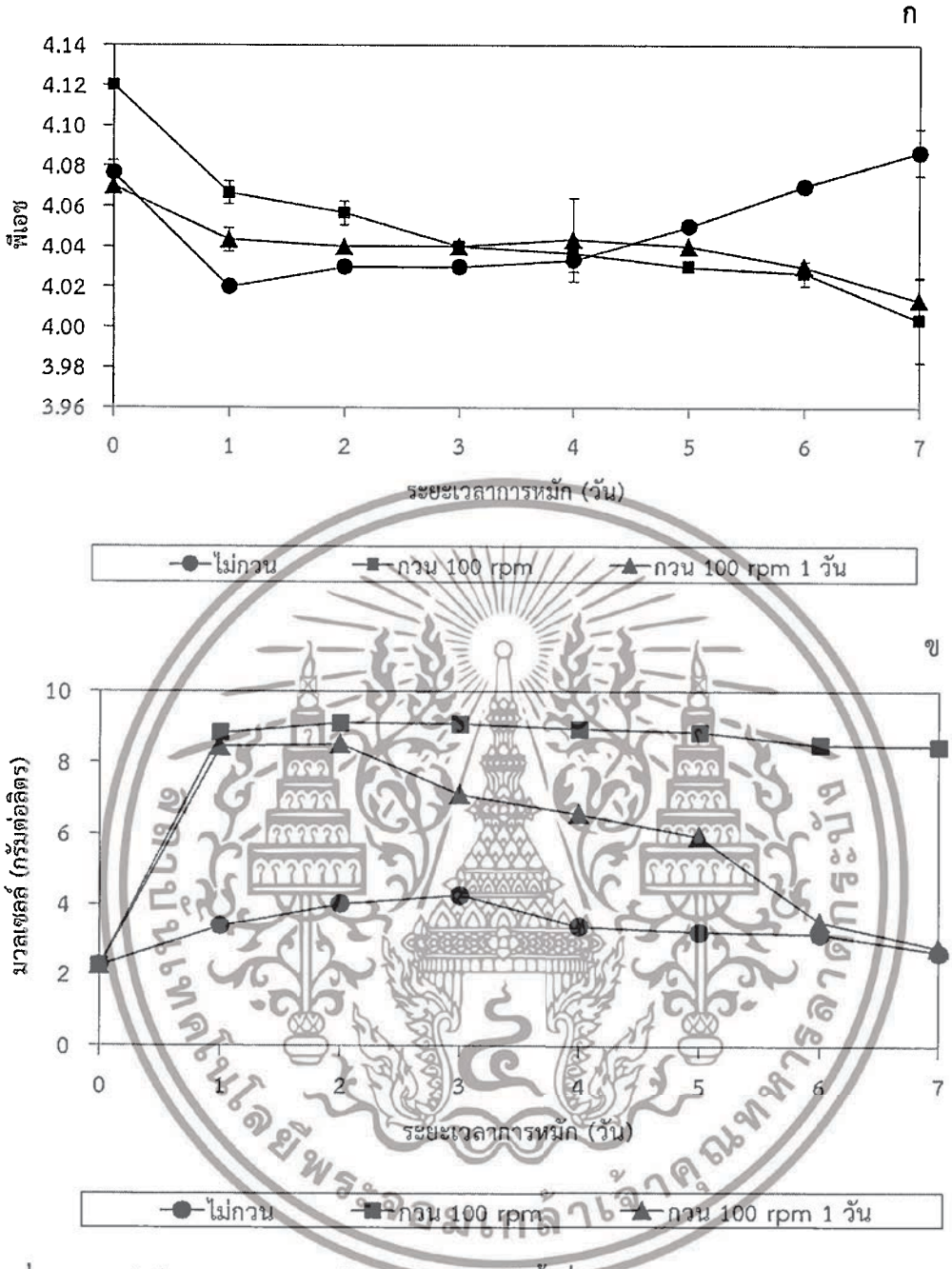
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน ปริมาณเอทานอลสูงสุด 9.81 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการผลิตเอทานอล 0.41 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ 0.47 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด จึงเลือกอัตราการกวนนี้ไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

4.7.2 ผลการศึกษาวิธีการหมักที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอล

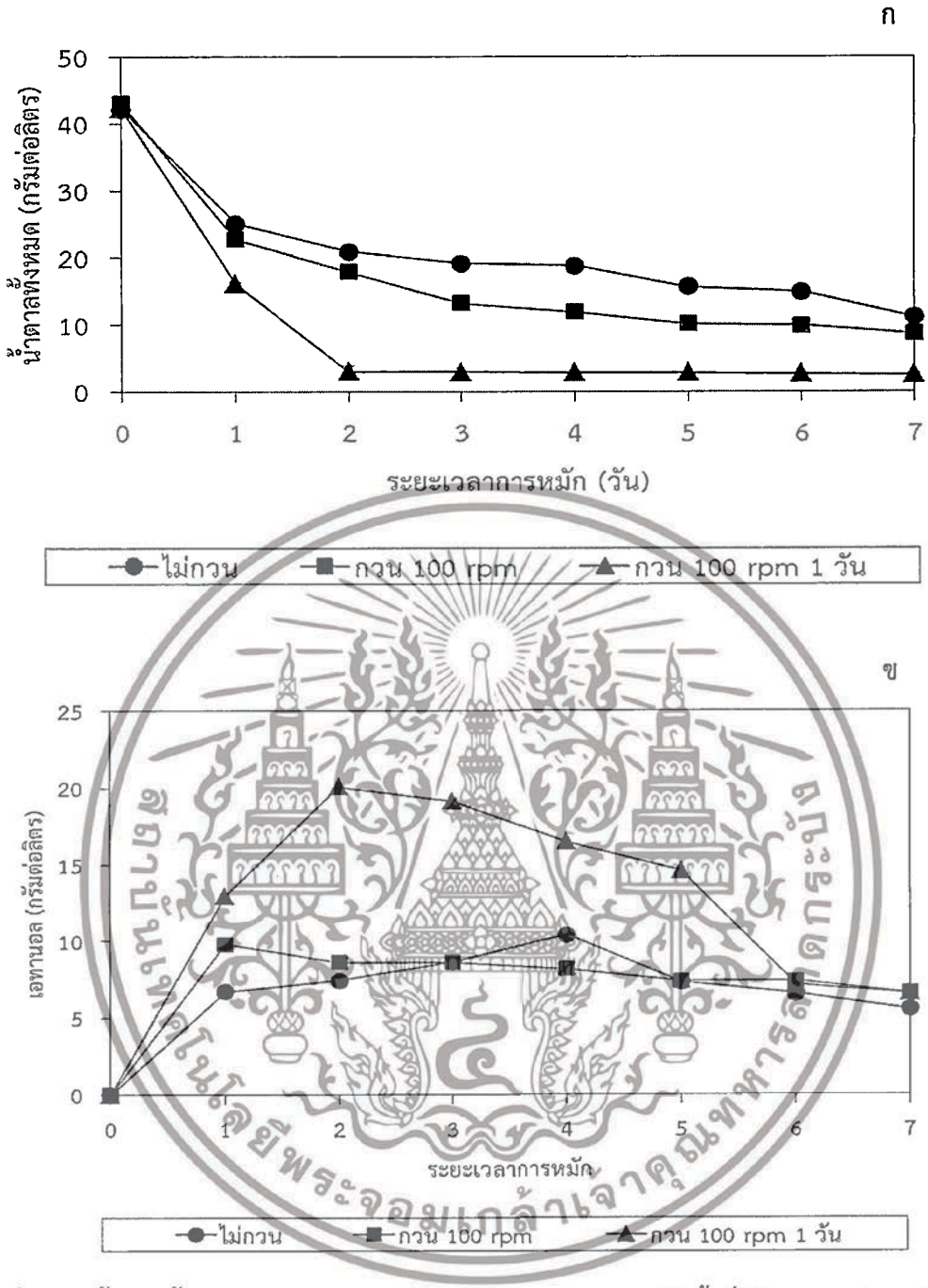
จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมักขนาด 5 ลิตร ศึกษาวิธีการหมักที่เหมาะสม 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 หมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน วิธีที่ 2 หมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นหมักต่อโดยไม่มีการกวนอีก 6 วัน และวิธีที่ 3 หมักโดยไม่มีการกวนเป็นเวลา 7 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.12-4.13 และตารางที่ 4.11 ค่าพีเอชมีค่าลดลงในวันที่ 1 ของการหมักและจะคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง โดยลดลงต่ำสุด 8.67, 2.49 และ 11.11 กรัมต่อลิตร ในวันสุดท้ายของการหมัก ตามลำดับ การหมักวิธีที่ 1 มวลเซลล์เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 2 ของการหมัก เท่ากับ 9.11 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลสูงสุด 9.81 กรัมต่อลิตรในวันที่ 1 ของการหมักและจะค่อย ๆ ลดลง อัตราการผลิตเอทานอล 0.41 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ 0.48 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด วิธีที่ 2 มวลเซลล์สูงสุด 8.52 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 20.07 กรัมต่อลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 2 วัน และปริมาณเอทานอลจะค่อย ๆ ลดลง อัตราการผลิตเอทานอล 0.45 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ 0.51 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด วิธีที่ 3 มวลเซลล์สูงสุด 4.26 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลจะค่อยๆ สูงขึ้นและสูงสุดเท่ากับ 10.43 กรัมต่อลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 4 วัน อัตราการผลิตเอทานอล 0.11 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ 0.45 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งจะเห็นว่าการหมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน ตามด้วยสภาวะนิ่งให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด เนื่องจากการกวนในช่วงต้นของการหมักเป็นการเพิ่มออกซิเจนที่ละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อให้มากขึ้น ยีสต์จะใช้น้ำตาลในสภาวะที่มีออกซิเจนในการเพิ่มจำนวนเซลล์ หลังจากหยุดการกวนเซลล์ยีสต์จะใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นเอทานอล ถ้ายังมีการกวนต่อไปเรื่อย ๆ ยีสต์จะใช้น้ำตาลส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ ทำให้น้ำตาลที่ยีสต์จะใช้ในการเปลี่ยนเป็น เอทานอลลดลง ปริมาณเอทานอลจึงลดลง ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Halasz and Laztity (1991) และ Walker (1998) ที่ศึกษาการหมักเบียร์แบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่า การมีออกซิเจนในช่วงต้น ยีสต์จะมีการเจริญแบบใช้ออกซิเจน มีผลที่เป็นประโยชน์สำคัญมากในการนำไปสู่การหมักต่อไป และสอดคล้องกับการศึกษาของมัลลิกา และคณะ (มปป.) ที่ผลิตเอทานอลจากอาหาร YM โดยเชื้อ *S. cerevisiae* ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 3 แบบ คือ สภาวะนิ่ง สภาวะเขย่า 200 รอบต่อนาที และสภาวะเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตามด้วยสภาวะนิ่ง หมักเป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่า อัตราการเจริญสูงสุดเท่ากับ 0.50, 0.56 และ 0.68 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และปริมาณเอทานอลสูงสุดได้จากการหมักที่สภาวะเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตามด้วยสภาวะนิ่ง ได้เอทานอลสูงสุดเท่ากับ 5.9 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ค่าพีเอช (ก) มวลเซลล์ (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมัก ขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่สภาวะไม่กวน, กวน 100 รอบต่อนาที และกวน 100 รอบต่อนาที 1 วัน ตามด้วยไม่กวน เป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 น้ำตาลทั้งหมด (ก) และปริมาณเอทานอล (ข) จากการหมักน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกในถังหมัก ขนาด 5 ลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลที่สภาวะไม่กวน, กวน 100 รอบต่อนาที และกวน 100 รอบต่อนาที 1 วัน ตามด้วยไม่กวน เป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

วิธีการกวน	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	พีเอช	มวลเซลล์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	เอทานอล (กรัมต่อลิตร)
100 รอบต่อนาที	0	4.12± 0.00^{a}	2.24± 0.01^{r}	43.03± 0.02^{a}	ND
	1	4.07± 0.01^{b}	8.85± 0.03^{c}	22.75± 0.47^{d}	9.81± 0.01^{f}
	2	4.06± 0.01^{c}	9.11± 0.01^{a}	17.92± 0.10^{h}	8.62± 0.02^{g}
	3	4.04± 0.00^{d}	9.09± 0.01^{a}	13.23± 0.01^{l}	8.61± 0.01^{g}
	4	4.04± 0.01^{d}	8.95± 0.01^{b}	11.88± 0.02^{m}	8.22± 0.02^{h}
	5	4.03± 0.00^{e}	8.86± 0.02^{c}	10.09± 0.02^{o}	7.44± 0.01^{i}
	6,	4.03± 0.01^{e}	8.49± 0.01^{e}	9.88± 0.01^{p}	7.43.± 0.00^{i}
	7	4.00± 0.02^{h}	8.45± 0.01^{f}	8.67± 0.02^{q}	6.64± 0.01^{g}
100 รอบต่อนาที 1 วัน ตามด้วยสภาวะนิ่ง	0	4.07± 0.00^{b}	2.26± 0.01^{r}	42.26± 0.02^{b}	ND
	1	4.04± 0.01^{d}	8.45± 0.01^{f}	16.13± 0.23^{i}	12.99± 0.09^{d}
	2	4.04± 0.00^{d}	8.52± 0.02^{e}	3.02± 0.09	20.07±0.53^{a}
	3	4.04± 0.00^{g}	7.10± 0.02^{j}	2.92± 0.08^{r}	19.15± 0.20^{a}
	4	4.04± 0.02^{d}	6.56± 0.01^{h}	2.85± 0.03^{rs}	16.49± 0.10^{b}
	5	4.04± 0.00^{d}	5.93± 0.01^{l}	2.81± 0.02^{rs}	14.62±0.16^{c}
	6	4.03± 0.00^{e}	3.52± 0.02^{l}	2.65± 0.10st	7.22± 0.09^{j}
	7	4.01± 0.01^{g}	2.77± 0.01^{p}	2.49± 0.20^{t}	6.64± 0.00^{k}
สภาวะนิ่ง	0	4.08± 0.01^{b}	2.25± 0.01^{r}	42.16± 0.04^{b}	ND
	1	4.02± 0.00^{f}	3.38± 0.02^{m}	25.14± 0.10^{c}	6.72± 0.00^{k}
	2	4.03± 0.00^{e}	4.02± 0.01^{k}	20.91± 0.01^{e}	7.43± 0.16^{i}
	3	4.03± 0.00^{e}	4.26± 0.02^{j}	19.12± 0.02^{f}	8.64± 0.10^{g}
	4	4.03± 0.01^{e}	3.38± 0.01^{m}	18.79± 0.02^{g}	10.43± 0.00^{e}
	5	4.02± 0.01	3.22± 0.02^{n}	15.63± 0.03^{j}	7.37± 0.24^{ij}
	6	4.02± 0.00^{f}	3.17± 0.02^{o}	14.88± 0.02^{k}	6.62± 0.23^{k}
	7	4.01± 0.01^{g}	2.65± 0.03^{q}	11.11± 0.02^{n}	5.61± 0.08^{l}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกด้วยยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเริ่มต้น 4.0 อุณหภูมิในการบ่ม 35 องศาเซลเซียส เติมแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟต เท่ากับ 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในขวดรูปชมพู่และในถังหมักกับงานวิจัยของจิรศักดิ์ และณัตติยา (2554) ที่ศึกษาการผลิตเอทานอลจากเปลือกทุเรียนโดยใช้ยีสต์เดี่ยวและยีสต์ผสมของ *S. cerevisiae* TISTR 5221 และ *C. tropicalis* TISTR 5045 ด้วยการหมักโดยกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลแยกจากการหมัก (separate hydrolysis and fermentation;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHF) และกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลพร้อมการหมัก (simultaneous saccharification and fermentation; SSF) ในขวดรูปชมพู่ พบว่า การหมักทั้ง 2 แบบ โดยใช้เชื้อผสมให้ผลผลิตเอทานอลสูงกว่าการใช้เชื้อเดี่ยว ผลผลิตเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 9.39 กรัมต่อลิตร อัตราการผลิตเอทานอล 1.39 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ 0.46 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด เมื่อหมักแบบ SHF โดยใช้เชื้อผสม ซึ่งจะเห็นว่าการศึกษานี้เมื่อทำการหมักโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในขวดรูปชมพู่มีปริมาณการผลิตเอทานอลสูงสุด 9.95 กรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกับการหมักแบบ SHF ที่ใช้เชื้อผสมของ *S. cerevisiae* TISTR 5221 และ *C. tropicalis* TISTR 5045 ส่วนอัตราการผลิตเอทานอลในถังหมักพบว่า การใช้วิธีการกวน 100 รอบต่อนาทีมีปริมาณเอทานอลสูงสุด 9.81กรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของจิรศักดิ์ และณัตติยา ส่วนวิธีการกวนที่ 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 วัน ตามด้วยสภาวะนิ่ง และวิธีการหมักในสภาวะนิ่งมีปริมาณเอทานอลสูงสุด 20.07 และ 10.43 กรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่างานวิจัยของจิรศักดิ์ และณัตติยา เนื่องจากการหมักในถังหมักสามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆ ได้ดีกว่าการหมักในขวดรูปชมพู่ ส่วนอัตราการผลิตเอทานอลมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของจิรศักดิ์ และณัตติยา เนื่องจากการศึกษานี้ใช้ระยะเวลาการหมักนานกว่า และผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้วิธีการกวน 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 7 วัน และแบบสภาวะนิ่งมีค่า 0.48 และ 0.45 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของจิรศักดิ์ และณัตติยา แต่วิธีการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน ตามด้วยสภาวะนิ่งมีค่าสูงกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 0.51 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ดังตารางที่ 4.12 เนื่องจากการการหมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 วัน เป็นการเพิ่มออกซิเจนที่ละลายได้ให้กับอาหารเลี้ยงเชื้อในช่วงต้นของการหมักทำให้ยีสต์ใช้น้ำตาลในสภาวะที่มีออกซิเจนในการเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ หลังจากนั้นเซลล์ยีสต์จะใช้น้ำตาลเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ปริมาณเอทานอลที่ได้สูงกว่า และอาจเนื่องมาจากยีสต์ที่ใช้ในการหมักมีสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้สารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเพนโตส ได้แตกต่างกัน (Hamandez-Salas *et al.*, 2009)

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์การศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

วิธีการกวน	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอลสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	อัตราการผลิตเอทานอล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)	ผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ (กรัมต่อกรัม)
100 รอบต่อนาที	24	9.81 ± 0.01	0.41 ± 0.00	0.48 ± 0.01
100 รอบต่อนาที ตามด้วยสภาวะนิ่ง	48	20.07 ± 0.05	0.45 ± 0.00	0.51 ± 0.00[a]
สภาวะนิ่ง	96	10.43 ± 0.00	0.11± 0.01	0.45 ± 0.00

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลเพื่อนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลในขวดรูปชมพู่และในถังหมัก

เปลือกทุเรียนเป็นของเหลือทิ้งจากการบริโภคและการแปรรูปทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส พบองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้น เถ้า ไฟเบอร์ โปรตีนไขมัน คาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 6.92, 23.99, 27.81, 3.15, 0.26, 37.87, 31.26, 14.90 และ 5.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 0.63, 0.21, 1.43, 0.15 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ และพบธาตุเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี เท่ากับ 11.6, 9.30 และ 5.44 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตน้ำตาลเพื่อเอทานอลต่อไป โดยเมื่อทำการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก และฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5- 2 เปอร์เซ็นต์ ในหม้อนึ่งความดันไออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15- 60 นาที พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 50.71 และ 0.52 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ส่วนการย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกพบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 48.84 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที เมื่อนำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดมาวิเคราะห์ชนิดน้ำน้ำตาลพบน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครส น้ำตาลที่ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลได้ คือน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส มีค่าสูงสุด 54.10 กรัมต่อลิตร เมื่อย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที จึงเลือกสภาวะนี้ไปใช้ในการผลิตเอทานอลต่อไป

จากการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกพบสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลในขวดรูปชมพู่ คือ การใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5019 ปริมาณกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเริ่มต้น 4.0 อุณหภูมิในการบ่ม 35 องศาเซลเซียส เติมแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟต เท่ากับ 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลในขวดรูปชมพู่นี้ไปผลิตเอทานอลในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยศึกษาอัตราการกวนที่เหมาะสมโดยใช้อัตราการกวน 50,100, 150 และ 200 รอบต่อนาที พบปริมาณเอทานอลสูงสุด 9.81 กรัมต่อลิตร เมื่อใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นศึกษาสภาวะในการผลิตเอทานอล 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 หมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน วิธีที่ 2 หมักโดยใช้อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นหมักต่อโดยไม่มีการกวนอีก 6 วัน และวิธีที่ 3 หมักโดยไม่มีการกวนเป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า เมื่อใช้การหมักแบบที่ 2 ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 20.07 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการหมัก อัตราการผลิตเอทานอลเท่ากับ 0.54 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 0.51 กรัมต่อกรัมน้ำตาลทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นว่าสามารถนำเปลือกทุเรียนที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเป็นซับสเตรทเพื่อผลิตเอทานอลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ซึ่งสามารถใช้ได้น้ำตาล 5-คาร์บอน และ 6-คาร์บอนได้ มาใช้ในการผลิตเอทานอล

2) ควรมีการนำเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ที่เหมาะสมมาร่วมในการหมักเพื่อผลิตเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กัลยา อยู่นาน. 2546. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลจากเปลือกและกากมันสำปะหลัง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กัลยา อยู่นาน, จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และกนก รัตนะกนกชัย. 2548. “การผลิตเอทานอลจากสารละลายกากมันที่ย่อยด้วยกรดโดยการหมักด้วย *Saccharomyces cerevisiae*.,” ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 สาขาสัตวแพทยศาสตร์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กานต์ดา บุญเถื่อน. 2550, 4 มิถุนายน. “จุฬาฯ คิดยาสีฟันสูตรเปลือกทุเรียน.” **กรุงเทพธุรกิจ.**

กรมปศุสัตว์. 2555. **การวิเคราะห์พืชอาหารสัตว์.** [online] Available : http://www.did.go.th/th/index.phf/service.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิติศักดิ์ บัวศรี. 2544. “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เกศมณี ตาดทอง, ขนิษฐา สกลวา, นฤมล แป้นอินทร์ และวีรยา คำภา. 2546. “การผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรด.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏนครสวรรค์.

กำเนิด สุภัณวงษ์. 2534. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : โอ.เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์.

คณะกรรมาธิการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. 2545. **พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.** [online]. Available : http://dric.nrct.go.th/bookdetail.php?book_id=191354.

คุณากร เชื้อสุวรรณ์. 2549. “การคัดเลือกยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อย แป้งมันสำปะหลัง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และณัตติยา จันทวงษา. 2554. “การศึกษาการผลิตไบโอเอธานอลจากเปลือกทุเรียนโดยเชื้อยีสต์เดี่ยวและเชื้อยีสต์ผสม.” หน้า 242-249. ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 สาขาวิทยาศาสตร์.** กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร์.

ชมพูนุช หาญนันทวิวัฒน์. 2547. “การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้รังสีแกมม่าร่วมกับกรดซัลฟูริก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์ (นิวเคลียร์ เทคโนโลยี), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยชัย. 2555. การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40*(4), 1073 - 1080.

ชุติมา ศรีงิ้ว. 2548. "การผลิตเอทานอลเชื้อเพลิงจากน้ำอ้อยโดยยีสต์ที่ทนอุณหภูมิสูง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัตติยา จันทวงษา. 2553. "การพัฒนาการแปรรูปเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วยเป็นน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักทางชีวภาพ" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. 2548. **ชีวเคมี**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนภูมิ มณีบุญ, อัญชริดา อัครจรัลญา, ธีรภัทร ศรีนรคุตรและวิเชียร กิจปรีชาวนิช. 2552. " การย่อยกากมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาลและการหมักเอทานอลในขั้นตอนเดียวโดยใช้เชื้อผสมระหว่าง *Rhizopus oryzae* และ *Saccharomyces cerevisiae* ในการเพาะเลี้ยงแบบ solid state". ใน **การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นภดล ไชยคำ. 2547. **เคมี 2**. กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

นิลวรรณ คงถาวร, บุณยรัตน์ พิพัฒน์ศิริชจร และ ปิยะพร เขมะโรจน์กล. 2552, 12 มิถุนายน. "แผ่นฟิล์มเปลือกทุเรียน ลดปัญหาขยะ รักษาสิ่งแวดล้อม." ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **ไทยรัฐ**.

นิธิป ไชยมงคล, จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และอนันต์ ทองทา. 2557. "การพัฒนาเทคนิคการปรับสภาพที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทซานอ้อยเพื่อเพิ่มผลผลิตเอทานอล." หน้า 1-9. ใน **การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

นุจรีย์ เตารัตน์ และอนงค์นาฏ ดวงภักดี. 2555. "การสกัดน้ำตาลกลูโคสจากใบอ้อย" รายงานโครงงานของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประเวศ ตุ้ยเต็มวงศ์, จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร, ปิยรัตน์ บุญแสวง และธีรภัทร ศรีนรคุตร. 2552. "การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส." สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

พักตร์ประไพ ประจำเมือง. 2546. **การผลิตกลูโคสไซรัปจากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพระดับโรงงานต้นแบบ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์. 2545. "การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชญ์สินี วีระไวทยะ, กนก รัตนะกนกชัย, รัตติยา แววนุกูล, จักรกฤกษณ์ เตชะอภัยคุณ, อากิฮิโกะ โคชูกิ และภัทรา ผาสอน. 2556. "การปรับสภาพฟางข้าวด้วยด่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยเอนไซม์." *วิทยาศาสตร์เกษตร* 44(2) (พิเศษ) : 169-172.

พิสมัย เจนานิชปัญจกุล. 2548, 28 พฤศจิกายน. "Biofuel Roadmap, APEC Symposium on Foresighting Future Fuel Technology." กรุงเทพฯ : อาคารสำนักงานใหญ่ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. 2549. **ไวน์ผลไม้และสาโท ผลิตด้วยความมั่นใจได้อย่างไร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น : คลังนานาวิทยา.

มณชัย เดชสังกรานนท์. 2546. "คุณสมบัติของยีสต์และราที่มีบทบาทในการหมักข้าวหมากและสาโท." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มัลลิกา บุญมี และ ปวีณา พักพิง. 2548. "การผลิตเอทานอลโดยการหมักร่วมของจุลินทรีย์ที่ใช้กลูโคสและจุลินทรีย์ที่ใช้ไซโลส." ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มัลลิกา บุญมี, ปวีณา พักพิง และประภัสสร พลโยราช. มปป. "ผลของการเขย่าต่อการเจริญและการผลิตเอทานอลของ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Kluyveromyces marxianus*." ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ระวีวรรณ แกล้วกล้า. 2537. "การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัชฎาพร ราชชุมพล และ อธิยา รัตนพิทยาภรณ์. มปป. "การสกัดและศึกษาคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกทุเรียน." คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ.

วรวรรณ สังข์แก้ว. 2554. "การแปรรูปเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเชื้อเพลิง: การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพ ต้นทุนการผลิต และความคิดเห็นของผู้ใช้ถ่านที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน และเปลือกทุเรียนผสมผงถ่านและขี้เลื่อย." *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม* ปีที่ 7. ฉบับที่ 13 มกราคม-มิถุนายน 2554 วารสารฉบับพิเศษ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วนิดา ปานอุทัย. 2553. "การผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเชียร ทองพันชั่ง. 2546. **ทุเรียน.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

สาลินีย์ ทับพิลา. 2550, 12 กรกฎาคม. "จุฬาฯ ศึกษาทุเรียนทำเจลสมานแผล." **กรุงเทพธุรกิจ.**

สาวิตรี ลิ่มทอง. 2549. **ยีสต์ : ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริวรรณ แก้วชิงดวง. 2554. "การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมันสำปะหลังโดยการบำบัดขั้นต้น." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และ ฐานันดร วิริยะเกียรติ. 2557. "ประสิทธิภาพของสารกสัดบางชนิดในการควบคุมเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* สาเหตุโรคแคงเกอร์ในพืชตระกูลส้ม." *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 45 : 3/1 (พิเศษ) : 169-172.

สุนันท์ พงษ์สามารถ, วิมลมาศ ลิปิพันธ์, มณีวรรณ สุขสมทิพย์, ชุติมา ทิพยกุล, จิตติมา เลิศชัยพร และ นันทวัน นันทวนิช. 2544a, 23-28 มีนาคม. "โพลีแซคคาไรด์เจลจากเปลือกของผลทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) : คุณสมบัติเจลและคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย." ใน **นิทรรศการ "งานวิจัยเพื่ออนาคตของสังคมไทย "** ในโอกาสครบรอบ 84 ปี แห่งการสถาปนาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนันท์ พงษ์สามารถ, ไกรสีห์ อัมพรายน์, วราภาร์ เกิดดิษฐ์และสุปราณี สิทธิไพโรจน์กุล. 2544b, 23-28 มีนาคม. "โพลีแซคคาไรด์มีประโยชน์ที่แยกจากเปลือกแห้งของผลทุเรียน (*Durio zibethinus* L.)" ใน นิทรรศการ "งานวิจัยเพื่ออนาคตของสังคมไทย" ในโอกาสครบรอบ 84 ปี แห่งการสถาปนาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสรี มหาวิชัด และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555. "การผลิตลิกโนเซลลูโลสิกเอทานอลจากสารละลายที่ได้จากการย่อยลำต้นมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักแบบกะด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ. 2544. **ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืชทุเรียน (Plant Germplasm Database for Durian).** กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. "การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า." รายงานบทสรุปผู้บริหาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.ปริมาณผลผลิตทุเรียน. [online]. Available : http://Agri_020/ผลผลิตรายจังหวัด/ทุเรียน.2556.

สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร. 2551. ทุเรียน. [online]. Available : http://agri.dit.go.th.

สำนักวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ. 2554. **การผลิตเอทนอลจากเซลลูโลส.** [online]. Available : http://m.doa.go.th.

หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ และเนริสา คุณประทุม. 2548. **การผลิตเอนไซม์จากวัสดุทางการเกษตรเพื่อเป็นแนวทางการใช้อาหารสัตว์.** (Online). Avaible : http://www.vet.chula.ac.th/~nuclear/symposium44/Hunsa.htm.

หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก และเสริมสุข สลักเพ็ชร์. 2542. **เทคโนโลยีการผลิตทุเรียน.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสรี รอดทัศนา. 2550. "การปรับสภาพกากตะกอนเยื่อกระดาษเหลือทิ้งขั้นต้นเพื่อผลิตเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์แลละการหมัก." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Acebal, C. Castillon, M. Estrada, P. Mata, I. Costa, E. 1986. "Enhanced cellulase production from *Trichoderma reesei* QM 9414 on physically treated wheat straw." *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 24 : 218–223.

Alfenore, S. Cameleyre, X. Benbadis, L. Bideaux, C. Uribelarrea, J.L. Goma, G. Molina-Jouve, C. and Guillouet, S.E. 2004. "Aeration strategy: a need for very high ethanol performance in *Saccharomyces serevisiae* fed-batch process." *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 63: 537-542.

Agbogbo, F.K. and Wenger K.S. 2006. "Effect of pretreatment chemicals on xylose fermentation by Pichia stipites." *Biotechnol. Lett.* 28(24) : 2065-2069.

Aguilar, R. Ramirez, J.A. Garrote, G. and Vazquez, M. 2002. "Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse." *J. Food Eng.* 55 : 309-318.

Aita, G.A. Salvig, D.A. and Walker, M. 2011. "Enzyme hydrolysis and ethanol fermentation of dilute ammonia pretreated energy cane" *Bioresour. Technol.* 102(6) : 4444-4448.

Alves, L.A. Felipe, M.G.A. Silva, J.B. Silva, S.S. and Prata, A.M.R. 1998. "Pretreatment of sugar cane bagasse hemicellulose hydrolyzate for xylitol production by *Candida guilliermondii*." *Appl. Biochem. Biotechnol.* 70(2) : 89-98.

Amerine, M.A and Ovgh, C.S. 1974. **Wine and must analysis.** New York : John Willey & Sons.

Amerine, M.A. Kunkee, R.E. Ough, C.S. Singleton, V.L. and Webb, A. 1980. **The technology of wine making.** 4th ed. U.S.A. : The AVI Publishing com. Inc.

AOAC. 1995. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.** 16th ed. USA. : Virginia.

Asil, A.E. and Qatibi, A.I. 2009. "Ethanol Production from Olive Cake Biomass Substrate." *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 14 : 118-122.

Azargohar, R. and Dalai, A.K. 2008. "Steam and KOH activation of biochar : experimental and modeling studies." *J. Micropor. Mesopor. Mat.* 110 : 413-421.

Badal, C.S. (2005). "Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol." *Process Biochem.* 40 : 3693-3700.

Bafrncová, P. Šmogrovičová, D. Slávková, I. Pátková, J. and Dömény, Z. 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"Improvement of very high gravity ethanol fermentation by media supplementation using *Saccharomyces cerevisiae*." *Biotechnol. Lett.* 21 : 337-341.

Ballesteros. I. Ballesteros, M. Manzanares, P. and Negro, M.J. 2008. "Dilute sulfuric acid pretreatment of cardoon for ethanol production." *Biochem. Eng. J.* 42 : 84-91.

Bayrock, D. and Ingledew, W.M. 2001. "Application of multistage continuous fermentation for production of fuel alcohol by very-high-gravity fermentation technology." *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 27: 87-93.

Beltran, G. Esteve-Zarzoso, B. Rozes, N. Mas, A. and Guillamon, JM. 2005. "Influence of the timing of nitrogen additions during synthetic grape must fermentations on fermentation kinetics and nitrogen consumption." *J. Agric. Food Chem.* 53: 996-1002.

Bely, M. Rinaldi, A. and Dubourdieu, D. 2003. "Influence of assimilable nitrogen on volatile acidity production by *Saccharomyces cerevisiae* during high sugar fermentation." *J. Biosci. Bioeng.* 96: 507-512.

Benerji, D.S.N. Rajini, K. Srinivasa Rao, B. Banerjee, D.R.N. Swaroopa Rani, K. Rajkumar, G. and Ayyanna, C. 2010. "Studies on physic-chemical and nutritional parameters for the production of ethanol from Mahua flower (Madhuca indica) using *Saccharomyces cerevisiae*-3090 through submerged fermentation (smf)." *J. Microbiol. Biochem. Technol.* 2 : 46-50.

Bernfeld, P. 1955. Amylase α and β. In: Colowick and Kaplan, NO (ed.) **Methods in enzymology**. pp. 1-149. New York : Academic Press.

Berry, D.R. and Brown, C. 1987. "Growth of yeast." 157-199. In Berry, D.R. Russel, I. and Stewart. **Yeast Biotechnology.** London : Alen and Unwin.

Betts, W.B. 1991. **Biodegradation : Natural and Synthetic Materials**. Germany : Springer-Verlag.

Booncherm, P. and Siriphanich, J. 1991. "Postharvest physiology of durian pulp and husk." *Kasetsart J.* 25 : 119-125.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brauns, F.E.and Brauns , D.A. 1960. **The chemistry of lignin converting the literature for the years 1949 -1958**. New York : Academic Press.

Buhner, J. and Agblevor, F.A. 2004. "Effect of detoxification of dilute-acid corn fiber hydrolysis on xylitol." *Appl. Biochem . Biotechnol.* 119(1) :13-30.

Byung-Hwan, U.M. Nazmul Karim, M. and Henk, L. 2003. "Effect of sulfuric and phosphoric acid pretreatments on enzymatic hydrolysis of corn stover." *Appl. Biochem. Biotechnol.* 105-108 : 115-125.

Campell, N. A and Reece, J.B. 2002. **Biology**. 6th ed. USA : Pearson Education Inc.

Canilha, L., Silva, J.B.A., Felipe, M.G.A. and Carvalho, W. 2003. "Batch xylitol production from wheat straw hemicelluloses hydrolysate using *Candida guilliermondii* in a stirred tank reactor." *Biotechnol. Lett.* 25 : 1811-1814.

Chandra, T.C. Mirna, M.M. Sudaryanto, Y. and Ismadji, S. 2007. "Adsorption of basic dye onto activated carbon prepared from durian shell : studies of adsorption equilibrium and kinetics." *Chem. Eng. J.* 127 : 121-129.

Chen, L.F. and Gong, C.S. 1985. "Fermentation of sugar cane begasse hemicelluloses hydrolysate to xylitol by a hydrolysate acclimatized yeast." *J. Food Sci.* 50 : 226-228.

Chimtong, S. Soontorngun, N. Tachaapaikoon, C. Pason, P. Kyu, K.L. Ratanakhanokchai, K. 2009. "Sugar production from agricultural residues by xylanolytic-cellulolytic enzyme from *Thermoanaerobacterium* sp. Strain NOI-19." *Agric. Sci. J.* 40: 1 (suppl.) : 373- 376.

Dawei, F. Haiyan, L. Fuchao, L. Peng, J. Song, Q. 2011. "Optimum of dilute acid hydrolysis of *Enteromorpha.*" *Chin J. Oceanol. Limnol.* 29(6): 1243-1248.

Deesuth,O. Laopaiboon, P. Jaisil, P. and Laopaiboon, L. 2012. "Optimization of nitrogen and metal ions supplementation for very high gravity bioethanol fermentation from sweet sorghum juice using an orthogonal array design." *Energ. J.* 5: 3178-3197.

Delegenes, J.P. Moletta, R. and Navarro, J.M. 1990. "Acid hydrolysis of wheat straw and process considerations for ethanol ermentation by *Pichia stipitis* Y 7124." *Process Biochem. Int.* 132-135.

Dumitriu, S. 1998. **Polysaccharide : Structural diversity and functional versatility**. New York : Marcel Dekker.

Eken-Saracoglu, N., Ferda Mutlu, S., Dilmac, G. and Cavusoglu, H. 1998. "A com-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parative kinetic study acedic hemicelluloses hydrolysis in corn cob and sunflower seed hull." *Bioresour Technol.* 65 : 29-33.

Fengel, D. and Wegener, G. 1984. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reaction.** Berlin : Walter de Gruyter.

Ferrari, M.D. Neirotti, E. Albornoz, C. and Saucedo, E. 1992. "Ethanol production from eucalyptus wood hemicelluloses hydrolysate by *Pichia stipitis." Biotechnol. Bioeng.* 40 : 753-759.

Gamez, S. Gonzalez-Cabriales, J.J. Ramirez, J.A. Garrote, G. and Vazquez, M. 2006. "Study of the hydrolysis of sugar cane bagasse using phosphoric acid." *J. Food Eng.* 74 : 78-88.

Gamez, VS. Correa, EMC. Gonzalez, MCF. Franco, MFA. and Macias, AG. 2005. "Preparation of activated carbons from chesnut wood by phosphoric acid-chemical activation : Study of microporosity and fractal dimension." *Mater Lett.* 59(7): 846-853.

Hacking, A.J. Taylor, I.W.F. and Hanas, C.M. 1984. "Selection of yeast able to produce ethanol from glucose at 40 °C." *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 19: 361-363.

Halasz, A. and Lasztity, R. 1991. **Use of yeast biomass in food production.** Boca Raton : CRC Press.

Hameed, B.H. and Hakimi, H. 2008. "Utilization of durian (*Durio zibethinus* Murray) peel as low cost sorbent for the removal of acid dye from aqueous solution." *Biochem. Eng. J.* 39 : 338-343.

Harris, E.E. 1952. **Wood hydrolysis. In Wood Chemistry.** New York : Van Nostrand Reinhld.

Hokputsa, S. Gerddit, W. Pongsamart, S. Inngjerdingen, K. Heinze, T. Koschella, A. Harding, S.E. and Paulsen, B.S. 2004. "Water-soluble polysaccharides with pharmaceutical importance from Durian rinds (*Durio ziberthinus* Murr) : Isolation,Fractionation,Characterization and Bioactivity." *Carbohydr. polym.* 56 : 471-481.

Howard, R.L. Abotis, E., Rensburg, J.V. and Howard, R. 2003. "Lignocellulose Biotechnology : issues of Bioconversation and Enzyme Production." *Afr. J. Biotechnol.* 2 : 602-619.

Hu, C.K. Bai, F.W. and An, L.J. 2003. "Enhancing ethanol tolerance of a self-flocculating fusant of *Schizosaccharomyces pombe* and *Saccharomyces cerevisiae* by Mg^{2+} via reduction in plasma membrane permeability." *Biotechnol. Lett.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 : 1191-1194.

Inoue, H. Yano, S. Endo,T. Sakaki, T. and Sawayama, S. 2008. "Combining hot-compressed water and ball milling pretreatments to improve the efficiency of the enzymatic hydrolysis of eucalyptus." *Biotechnol. Biofuel.* 1(1) : 2 doi:10. 1186/ 1754-6834-1-2.

Issac, S. and Jenning, D. 1995. **Microbial culture.** Oxford : Bios Scientific Publisers.

Jargalsaikhan, O. and Saracoglu, N. 2009. "Application of experimental design method for ethanol production by fermentation of sunflower seed hull hydrolysate using *Pichia stipitis* NRRL-124." *Chem. Eng. Commun.* 196 : 93-103.

Kaewnaree, P. 2015. "The effect of catalyst to increase hydrolysis yield of sugar from sugarcane bagasse." *Int. J. Biosci.* 6(8) : 71-76.

Khedari, J. Suttisonk, B., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. 2001. "New lightweight composite construction material with law thermal conductivity. *Cem Concr. Compos.* 23 : 65-70.

Khedari, J. Charoenvai, S. and Hirunlabh, J. 2003a. "New insulating particleboards from durian peel and coconut coir." *Build Environ.* 38(3) : 435-441.

Khedari, J. Rawangkul, R. Chimchavee, W. Hirunlabh, J. and Watanasungsuit, A. 2003b. "Feasibility study of using agriculture waste as desiccant for air conditioning system." *Renewable Energy.* 28 : 1617-1628.

Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J. and Teekasap, S. 2004. "New low-cost insulation particle boards from mixture of durian peel and coconut coir." *Build. Environ.* 39 : 59-65.

Kim, J.S. Lee, Y.Y. and Torget, R.W. 2001. "Cellulose hydrolysis under extreamly low sulfuric and high temperature condition." *Appl. Biochem. Biotechnol.* 91-93 : 331-340.

Kosaric, N. A. Wieczorek, G. Cosentino, P. and Magee, R.J. 1983. "Ethanol fermentation." In H. Dellweg ed. **Biotechnology.** Germany : Verlag Chemic, Weinheim.

Kosugi, A. Kondo,A. Ueda, M. Murata, Y. Vaithanomsat, P. Thanapase, W. Arai, T. and Mori, Y. 2009. "Production of ethanol from cassava pulp *via* fermentation with a surface-engineered yeast strain displaying glucoamylase." *Renewable Energy.* 34: 1354-1358.

Kwak, M.Y. and Rhee, S. 1992. "Controlled mycelial growth for kojic acid production using Ca-alginate immobilized fungal cell." *Appl. Microbiol. Biotech*nol. 36: 578-583.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linde, M. Galbe, M0 and Zacchi, G. 2008. "Bioethanol production from non-starch carbohydrate residues in process streams from a dry-mill ethanol plant." *Bioresour. Technol.* 99: 6505-6511.

Limtong, S. Nakata, M. Funahashi, H. Yoshida, T. seki,T. Kumnuanta, J. and Taguch, T. 1984. "Continuous ethanol production by concentrated culture of flocculating yeast." *J. Ferment. Technol.* 62: 55-62.

Lin, Y. Zhang, W. Li, C. Sakakibara, K. Tanaka, S. and Kong, H. 2012. "Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742." *Biomass Bioen*ergy. 47 : 395—401.

Liu, C.Z. Wang, F. Stiles, A.R. and Guo, C. .2012. "Ionic liquids for biofuel production: opportunities and challenges." *Appl. Energy.* 92: 406-414.

Martin, F.W. 1980. Durian and Mangoesteen. In : Nagy, S., Shaw, P.E. ed. **Tropical and Subtropical Fruits.** U.S.A. : AVI Publishing Company.

Millati, R. Edebo, L. and Taherzadeh, M.J. 2005. "Performance of *Rhizopus, Rhizomucor* and *Mucor* in ethanol production from glucose, xylose and wood Hydrolyzates." *Enzyme Microb. Technol.* 36 : 294-300.

Mayerhoff, Z.D.V.L. Roberto, I.C. and Silva, S.S. 1997. "Xylitol production from rice straw hemicelluloses hydrolysates using different yeast strains." *Biotechnol. Lett.* 19 : 407-409.

Mosier, N. Wyman, C. Dale, B. Elander, R. Ree, YY. Holtzapple, M. and Ladisch, M. 2005. "Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass." *Bioresour. Technol.* 96(6): 673-686.

Moure, A. Gullon, P. Dominguez, H. and Parajo, J.C. 2006. "Advances in the manufacture, purification and application of xylo-oligosacchrides as food additives and nutraceuticals." *Process Biochem.* 41 : 1913-1923.

Nanthachai, S. 1994. "Durian : Fruit development, postharvest, physiology, handling and marketing" in **ASEAN Food Handling**. Kuala Lumpur, Malaysia : Bureau.

Nguyen, Q. 1998. "Milestone Completion Report: evaluation of a two-stage dilute sulfuric acid hydrolysis process." Internal report. **National Renewable Energy Laboratory**. USA : Golden, Colorado.

Nguyen, Q.A. Tucker, M.P. Keller, F.A. Beaty, D.A. Connors, K.M. and Eddy, F.P. 1999. "Dilute acid hydrolysis of softwoods". *Appl. Biochem. Biotech*nol. 77-79 : 133-142.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nigam, J.N. 2000. "Continuous ethanol production from pineapple cannery waste using immobilized yeast cells." *J. Biotechnol.* 80: 189-193

Nimbkar, N, Ghanekar, A.R.and Joseph,R.D. 2009. "Development of improved cultivars and management practices in sweet sorghum as a source of ethanol." 180-188. In **National seminar held at Marath wada Agriculture**. India : Parbhani University.

Nuithikul, K. Srikhun, S. and Hirunpraditkoon, S. 2010. "Influences of pyrolysis condition and acid treatment on properties of durian peel-based activated carbon." *Bioresour. Technol.* 101 : 426-429.

Palmqvist, E. and Hahn-Hagerdal, B. 2000. "Fermentation of lignocellulosic hydrolysates II : inhibitors and mechanisms of inhibition". *Bioresour. Technol.* 74 : 25-33.

Panchal,C.J. and Tavares, F.C.A. 1990. "Yeast strain selection for ethanol production" 225-243. In Panchal, C.J.(ed). **Yeast Strain Selection.** New York :Marcel Dekker.

Parekh, S.R., Yu, S. and Wayman, M. 1988. Adaptation of *Candida shehatae* and *Pichia stipitis* to wood hydrolyzates for increased ethanol production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 27 : 549-552.

Palonen, H. 2004. "Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocelluloses" Espoo. VTT Publication. 520 : 62-80.

Parisi, F. 1989. "Advances in lignocellulosics hydrolysis and in the utilization of the hydrolysates." *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 38 : 53-87.

Pauziah, M., Hamilah, H., Tarmizi, S. and Masdek, N.H.N. 1992. "Quality evaluation of hand harvested fruits of durian clone D24." 634-635. In **Proceedings of the National IRPA Intensisication of Research in Priority Areas Siminar Agricultural Sector**. Malaysia : Kuala Lumpur.

Persson, P. Andersson, J. Gorton, L. Larsson, S. Nilvebrant, N. O. and Jonsson, L. J. 2002. "Effect of different forms of alkali treatment on specific fermentation inhibitors and on the fermentability of lignocelluloses hydrolysates for production of fuel ethanol." *J. Agric. Food Chem.* 50(19) : 5318-5325.

Pongsamart, S. 1989. "The studies of carbohydrate extracts from durian rinds to use as suspending agent." Research Report, Department of Biochemistry, Faculty of Phamaceutical Sciences, Chulalongkorn University.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pongsamart, S. Dhumma-upakorn, R. and Panmaung, T. 1989. "The studies of carbohydrate fromdurian rind for pharmaceutical and food preparations." Research Report, Faculty of Phamaceutical, Chulalongkorn University.

Pongsamart, S. and Panmaung, T. 1998. "Isolation of polysaccharides from fruit-hulls of durian (*Durio zibethinus* L.)" *PSU J. Sci. Technol.* 20(3) : 323-332.

Pongsamart, S. Sukrong, S. and Tawatsin, A. 2001. "The determination of toxic effects at a high oral dose of polysaccharide gel extracts from fruit-hulls of durian (*Durio zibethinus* L.) in mice and rats." *PSU. J. Sci. Technol.* 23(1) : 55-62.

Reedy, L.V.A. 2005. "Rapid and enhanced production of ethanol in very high gravity (VHG) sugar fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* Role of finger millet." *Process Biochem.* 32 : 432-441.

Roberto, I.C. Lacis, L.S. Barbosa, M.F.S. de Manchilla, I.M. 1991. "Utilization of sugar cane bagasse hemicellutosic hydrolyzate by *Pichia stipitis* for the production of ethanol." *Process Biochem.* 26 : 15–21.

Roberto, I.C. Mancilha, I.M. Souza, C.A. Fwlipe, M.G.A. Sato, S. and Castro, H.F. 1994. "Evaluation of rice straw hemicelluloses hydrolysate in the production of xylitol by *Candida guilliermondii*." *Biotechnol. Lett.* 16(11) : 1211-1216.

Roger, P.L. Lee, K.L. and Tribe, D.E. 1979. Kinetic of alcohol production by *Zymomonas mobilis* at high sugar concentrations. *Biotechnol. Lett.* 1(4) : 165-170.

Rubio-Arroyo, MF. Vivanco-Loyo, P. Juárez, M. Poisot, M. and Ramírez-Galicia, G. 2011. "Bio-ethanol obtained by fermentation process with continuous feeding of yeast." *J. Mex. Chem. Soc.* 55: 242–245.

Sarkar, P. Bosneaga, E. and Auer, M. 2009. "Plant cell wall s throughout evolution : towards a molecular understanding of their design principles." *J. Exp Bot.* 60 : 3615-3635.

Scragg, A.H. 1999. **Biotechnology for Engineers biological systems in technological processes.** New York: John Willey and Sons.

Singh, A. and Bishnoi, N.R. 2013. "Ethanol production from pretreated wheat straw hydrolyzate by *Saccharomyces cerevisiae* via sequential statistical optimization." *Ind. Crop. Prod.* 41: 221-226.

Şener, A. Canbas, A. and Unal, U.M. 2007. "The effect of fermentation temperature on the growth kinetics of wine yeast species." *Turk. J. Agric. For.* 31 :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

349-354.

Siralertmukul, K., Khunton, S., Suwanno, N. and Pongsamart, S. 2005, 18-20 October. "Production of carboxymethyl cellulose from durian hulk." **31st Congress on Science and Technology of Thailand**. Nakhon ratchasima : Suranaree University of Technology.

Siriphanich, J. 1994. "Minimal processing of tropical fruits, In : Postharvest handling of tropical fruits" 127-137. **Proceedings of an International conference.** Thailand : Chiangmai.

Sivers, M. V. and Zacchi, G. 1996. "Ethanol from lignocellulosics: a review of economy." *Bioresour. Technol.* 56 : 131-140.

Slaa, J. Gnode, M. and Else, H. 2009. "Yeast and fermentation: the optimum temperature." *J. Org. Chem.* 131: a-c.

Srinorakutara, T. Kaewvimol L.and Saengow L. 2006. "Approach of Cassava Waste Pretreatments for Fuel Ethanol Production in Thailand." *J. Sci. Res. Chula. Univ.* 3 : 77-84.

Sthiannopkao, S. 2002. "Ethanol production technology in Thailand." *Asian J. Energy Environ.* 3 (1-2) : 27-51.

Subhadrabandhu, S. and Ketsa, S. 2002. "Durian, King of Tropical fruit. Book review." *Post. Biol. Technol.* 26 : 117-118.

Sun, Y. and Cheng, J. 2002. "Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review." *Bioresour. Technol.* 34 : 831-841.

Sun, Y. Cheng, J.J. 2005. "Dilute acid pretreatment of rye straw and Bermuda grass for ethanol production." *Bioresour.Technol.* 96: 1599-1606.

Tantipaibulvut, S. Nuamsetti, T. and Dechayuenyong, P. 2012. "Antibacterial Activity of Some Fruit-Peel Extracts." *KKU Res. J.* 17(6) : 880-894

Taherzadeh, M.J., Millati, R. and Niklasson, C. 2001. "Continuous cultivation of dilute-acid hydrolysates to ethanol by immobilized *Saccharomyces cerevisiae*." *Appl. Biochem. Biotechnol.* 95: 45-57.

Technical Association of Pulp and Paper Industry. 1998. New York : TAPPI. Thongsumrit, V. and Viengsima, T. 1995. **The study of solid content of urea-formaldehyde resin to physical properties and mechanical properties of medium density fiberboards from rubber wood (*Hevea brasiliensis,* Muell, Arg.)** Bachelor of Civil Construction and wood-working Technology. King Mongkut' s Institute of Technology, North Bangkok, 99p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tellez-Luis, S.J. Ramirez, J.A. Vazques, M. 2002. "Mathematical modeling of hemicellulosic sugar production from sorghum straw." *J. Food Eng.* 52: 285-291.

Thenmozhi, R. and Victoria, J. 2013. "Optimization and improvement of ethanol production by the incorporation of organic wastes." *Adv. Appl. Sci. Res.* 4 : 119-123.

Thongsumrit, V. and Viengsima, T. 1995. "The study of solid content of urea-formaldehyde resin to physical properties and mechanical properties of medium density fiberboards from rubber wood (Hevea brasiliensis, Muell, Arg.) Bachelor of Civil Construction and wood-working Technology." King Mongkut' s Institute of Technology, North Bangkok, 99p.

Tongdee, S.C. Suwanagul, A. Neamprem, S. and Bunruengsri, U. 1990. "Effect of surface coatings on weight loss and internal atmosphere of durian (*Durio zibethinus* Murry) fruit." *ASEAN Food J.* 5 : 103-107.

Udhayaraja, P. and J.S. Narayanan. 2012. "Optimization for production of bioethanol using sorghum stover by *Saccharomyces cerevisiae*." *Int. J. Res. Pure Appl. Micro.* 2: 64-67.

Um, B.H. Karim, M.N. and Henk, L.L. 2003. "Effect of sulfuric and phosphoric acid Pretreatments on Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover." *Appl. Biochem. Biotechnol.* 105: 115-125.

Umprayn,K. Kaitmonkung, R. and Pongsamart, S. 1990a, 23-26 October. "Evaluation of Tablet Disintegrating Properties of Durian Rind Extracts." **NUS-JSPS Seminar** Japan. : Chiba.

Umprayn, K. Kaitmonkung, R. and Pongsamart, S. 1990b. "The studies of Durian Rind Extracts as an Aqueous Binder II : Evaluation of Tablets Properties." *Thai J. Pharm. Sci.* 15 (3) : 173-186.

Walker, G.M. 1998. **Yeast physiology and biotechnology**. Scotland : John Willey and Sons.

Wang, X.D. Bohlscheid, J.C. and Edwards, C.G. 2003. "Fermentative activity and production of volatile compound by *Saccharomyces* grown in synthetic grape juice media deficient in assimilable nitrogen and/or panthothenic acid." *J. Appl. Microbiol.* 94 : 394–359.

Wang, F.Q. Gao, C.J. Yang, C.Y. and Xu, P. 2007. "Optimization of an ethanol production medium in very high gravity fermentation." *Biotechnol. Lett.* 29 : 233-236.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wang, Q. Ma, H. Xu, W. Gong, L. Zhang, W. and Zou, D. 2008. Ethanol production from kitchen garbage using response surface methodology. *Biochem. Eng. J.* 39: 604-610.

Wanlapa, S. Wachirasiri, K. Sithisamang, D. and Suwannathup, T. 2010. "Effect of the Incorporation of durian husk dietary fiber on quality of white bread." *Agric. Sci. J.* 41(3/1) (suppl.) : 345-348.

Willaert, A. and Voktor, A.N. 2006. "Primary beer fermentation by immobilized yeast-a review on flavor formation and control strategies." *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 81: 1353–1367.

Williams, J.B. 1999. **Evaluation of kenaf core as a desiccant.** Department of Animal and Dairy Science Box 9815 Mississippi State, MS 39762, from the World Wide. [Online]. Avaible :http:// www.abe. msstate.edu/ personnel/epc/ absorbman.htm.

Woiciechowski, A.L. Nitsche, S. Pandey, A. and Soccol, C.R. 2002. "Acid and enzymatic hydrolysis to recover reducing sugars from cassava bagasse : an economic study." *Braz. Arch. biol. technol.* 45(3) : 393-400.

Xing, Y. Ma, H. C. Fan, Y.T. Hou, H.W. and Chen, J.R. 2009. "Cellulose-hydrogen production from corn stalk biomass by anaerobic fermentation." *Chin. Sci. Bull.* 54(8) : 1434-1441.

Zhang, B., Wang, L., Shahbazi, A., Diallo, O. and Whitmore, A. (2011). "Dilute – sulfuric acid pretreatment of cattails for cellulose conversion." *Bioresour. Technol.* *102*(19) : 9308 – 9312.

Zhang, W. Lin, Y. Zhang, Q. Wang, X. Wu, D. and Kong, H. 2013. "Optimization of simultaneous saccharification and fermentation of wheat straw for ethanol production by *S. cerevisiae* BY4742." *Fuel.* 112 : 331–337.

Ziegler, T.H. and Richter, I.G. 1998. "Storage of solar drying potential using grain as the desiccant : Simulation results." *Drying J.* B : 1481-8 August 19-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์

ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก.1.1 ความชื้น วิเคราะห์ตาม AOAC. 1995

วิธีการ

1) นำถ้วยอลูมิเลียม (Aluminium can) อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่โถดูดความชื้น (desiccators) ทิ้งไว้ให้เย็น นำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้ว 3.0000 – 5.0000 กรัม

3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม

4) เมื่อครบเวลา ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้ง ๆ ละ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003 – 0.005 กรัม

5) เก็บตัวอย่างไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมันต่อไป

6) การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

ก.1.2 เถ้า วิเคราะห์ตาม AOAC. 1995

วิธีการ

1) เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด บันทึก

2) ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 3.0000 – 5.0000 กรัม

3) เผาตัวอย่างบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) โดยทำในตู้ดูดควัน จนหมดควัน

4) นำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาว หรือ สีเทา

5) คีบถ้วยกระเบื้องจากเตาเผา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา

6) การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{b - a}{w} \times 100$$

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา

a = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

w = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

ก.1.3 โปรตีน วิเคราะห์ตาม AOAC. 1995.

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริกเข้มข้น

2) กรดบอริก 4 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) ที่ผสมกับเมทิลเรด (methylred)

ละลายกรดบอริค (Boric acid) 400 กรัม ในน้ำกลั่น 6 ลิตร นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ต้มจนสารละลายหมด เติมน้ำกลั่นที่ร้อน 3 ลิตร ทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เติมโบรโมครีซอลกรีน 100 มิลลิลิตร ที่ผสมกับเมทิลเรด 70 มิลลิลิตร (โบรโมครีซอลกรีน 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร ผสมกับเมทิลเรด 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร) และเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเท่ากับ 10 ลิตร คนให้เข้ากันดี

3) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.2 นอร์มอล

4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ (ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4,000 กรัม ในน้ำกลั่น 10 ลิตร)

5) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

วิธีการ

1) ชั่งตัวอย่าง 0.9 – 1.0 กรัม ใส่ลงในกระดาษกรอง (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วใส่ลงในหลอดทดลองที่ใช้ย่อย (digestion tube)

2) ใส่โปตัสเซียมซัลเฟต 3.5 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4.5H_2O$) 0.4 กรัม

3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ

4) นำที่วางหลอดทดลอง (rack) ที่มีหลอดทดลองที่ใช้ในการย่อยวางลงในเครื่องย่อย (digestor) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 420 องศาเซลเซียส แล้วเปิดตู้ดูดควัน (hood) เพื่อช่วยในการดูดควัน

5) ย่อยเป็นเวลา 50 นาที จนได้สารละลายสีเขียวหรือสีฟ้า นำออกจากเครื่องย่อย ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเพื่อให้หมดควัน เติมน้ำลงในหลอดทดลองที่ใช้ย่อย 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปขึ้นเครื่องกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เปิดก๊อกน้ำเพื่อหล่อเย็นเครื่องควบแน่นและเปิดสวิตช์ (power) ของเครื่องกลั่น (Kjeltec)

7) กดปุ่มด่าง (Alkali) 2-3 ครั้ง จนแน่ใจว่าท่อด่างไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่

8) อุ่น (Warm) เครื่องกลั่น ใช้ขวดรูปชมพู่ (flask) และหลอดทดลอง (tube) เปล่า เปิดไอน้ำ (steam) กลั่นเป็นเวลา 5 นาที

9) ปิดไอน้ำ นำหลอดทดลองและขวดรูปชมพู่ออกจากเครื่องกลั่น

10) เซ็ตด่าง (Set Alkali) เท่ากับ 2 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (Delay time) เท่ากับ 0.2 ไอน้ำ (Steam) เท่ากับ 3.6

11) นำขวดรูปชมพู่ซึ่งมีกรดบอริค 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ไปตั้งบนแท่น (plateform) ของเครื่องกลั่น กดปุ่มอัตโนมัติ (Auto) ยกแท่นขึ้นเพื่อให้หลอดทดลองจุ่มลงในสารละลาย ปิดปุ่มประตูความปลอดภัย (Safty door) เครื่องจะทำงานโดยมีน้ำกลั่นลงมาละลาย (dilute) สารตัวอย่างแล้วตามด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ 2 จังหวะขึ้นลงของลูกสูบ (stroke) (1 stroke = 25 มิลลิลิตร) จากนั้น steam จะทำงาน

12) เมื่อกลั่นเสร็จแล้วนำขวดรูปชมพู่และหลอดทดลองออกจากเครื่องกลั่นแล้วทำการกลั่นตัวอย่างใหม่ต่อไป

13) นำขวดรูปชมพู่ซึ่งมีส่วนที่ได้จากการกลั่น (distillate) เป็นสารละลายสีเขียวไปไทเทรตกับ 0.2 นอร์มอลของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จนถึงจุดยุติ (end point) สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเทา

14) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{1.4 \times (\text{มิลลิลิตรของ HCl} - \text{แบลงค์}) \times \text{นอร์มอลของ HCl}}{\text{กรัมของตัวอย่าง}}$$

เปอร์เซ็นต์โปรตีน = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน x 6.25

ก.1.4 ไขมัน วิเคราะห์ตาม AOAC. 1995

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 40 – 60 องศาเซลเซียส

วิธีทำ

1) อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับชิ้นกันเดือดพลุ่ง (boiling chip) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 5.000 – 10.0000 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble) ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140 - 180 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทำให้เย็นในโถดูวามชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของบีกเกอร์หลังสกัด–น้ำหนักของบีกเกอร์ก่อนสกัด} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก.1.5 เส้นใยหยาบ (crude fiber) วิเคราะห์ตาม AOAC. 1995

ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง FIWI Extractor for raw fiber determination รุ่น VELP Scientifica

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ : ปิเปตต์กรดซัลฟูริกเข้มข้น 7.14 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์ : เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

3) เอ็น-ออกทานอล (N-octanol) ใช้เป็นสารกันการเกิดฟอง (Antifoam)

วิธีการ

1) หาค่าความชื้นของตัวอย่าง โดยอบที่ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ในถ้วยแก้วสำหรับย่อย ปริมาณ 1 กรัม (สูงประมาณ 1 มิลลิเมตร)

3) เติมกรดซัลฟูริก 0.255 นอร์มอล จนถึงระดับ 150 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำให้ร้อนด้วยแผ่นให้ความร้อนเพื่อลดเวลาในการต้มให้เดือด

4) เติม 3-5 หยดของ เอ็น-ออกทานอล

5) หลังจากส่วนผสมเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที

6) เปิดลิ้นไปที่สุญญากาศ (Vacuum) เพื่อระบายกรดซัลฟูริกออก

7) ล้าง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นร้อนหลาย ๆ ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ในการล้างแต่ละครั้งให้เปิดลิ้นไปที่ความดัน (Pressure) เพื่อดันให้อากาศผ่านฐานของถ้วยแก้วทำให้ส่วนผสมในถ้วยแก้วคลุกเคล้ากันโดยตลอด

8) หลังจากปล่อยน้ำล้างครั้งสุดท้ายออกจนหมดแล้วเติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้วลงไป 150 มิลลิลิตร พร้อมกับเอ็น-ออกทานอล 3-5 หยด

9) ต้มให้เดือดนาน 30 นาที

10) ทำขั้นตอนที่ 6 และ 7 ซ้ำ

11) ล้างด้วยน้ำกลั่นเย็น อีก 1 ครั้ง แล้วล้างอีก 3 ครั้งด้วยอะซีโตน (Acetone) 25 มิลลิลิตร เปิดให้ความร้อนเข้าทุกครั้งที่ทำการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ ค่านี้เป็นน้ำหนักของเส้นใยหยาบรวมกับน้ำหนักของเถ้า

13) หาปริมาณเถ้า โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักของเถ้าเมื่อนำน้ำหนักที่ได้ไปหักออกจากน้ำหนักในข้อ 12 จะได้น้ำหนักเส้นใยหยาบที่ปราศจากเถ้า

14) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใย

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนักถ้วยแก้วและกากหลังอบแห้ง (กรัม)

W = น้ำหนักถ้วยแก้วและเถ้าหลังเผา (กรัม)

ก.1.6 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

ร้อยละปริมาณคาร์โบไฮเดรต = 100 – (เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น + เปอร์เซ็นต์ปริมาณโปรตีน + เปอร์เซ็นต์ปริมาณไขมัน + เปอร์เซ็นต์ปริมาณเส้นใยหยาบ + เปอร์เซ็นต์ปริมาณเถ้า)

ก.1.7 การวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียน ตามวิธีการของกรมปศุสัตว์ (2555)

การวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในเปลือกทุเรียนจะทำการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber; NDF) เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber; ADF) และลิกนิน (Acid Detergent Lignin; ADL)

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral-detergent fiber, NDF)

NDF เป็นการต้มตัวอย่างในสารฟอกที่เป็นกลาง ซึ่งส่วนประกอบภายในเซลล์จะถูกละลายออกมาอยู่ในสารละลาย ส่วนที่เป็นเยื่อใยของผนังเซลล์ (Cell wall) จะไม่ถูกละลายออกมากับสารฟอกที่เป็นกลาง เรียกส่วนนี้ว่า NDF ซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicelluloses และ lignin

<u>สารเคมี</u>

ใส่เอธิลีนไดเอมีนเตตราอะซิติก (EDTA) 18.61 กรัม และไดโซเดียมเตตราบอเรตเดคาไฮเดรท ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) 6.81 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาดใหญ่แล้วผสมน้ำกลั่นเล็กน้อย ละลายสารเคมีโดยใช้ความร้อนจนกระทั่งสารเคมีละลายหมด แล้วเติมโซเดียม ลอริล ซัลเฟต (Sodium lauryl sulphate) 30 กรัม และไตรเอทิลีนไกลคอล (Triethylene glycol) 10 มิลลิลิตร 10 กรัม หลังจากนั้นเติมไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ลงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1) อบครูซิเบิล (crucible No.2) ในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

2) ชั่งตัวอย่างใส่ครูซิเบิล 1.00 กรัม บันทึกน้ำหนัก

3) นำครูซิเบิลที่มีตัวอย่างเข้าเครื่อง Hot Extraction Unit 1020

4) ใส่สารละลาย NDF ลงในคอลัมน์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลาในการย่อยตัวอย่าง 60 นาที เมื่อครบระยะเวลาการย่อยให้ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดฟอง และพีเอชเป็นกลาง

5) นำครูซิเบิลที่มีตัวอย่าง ล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร

6) อบตัวอย่างที่ผ่านการย่อยในตู้อบแห้งอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบแห้งและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{NDF (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักครูซิเบิล + เยื่อใย NDF}) - \text{น้ำหนักครูซิเบิล} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid-detergent fiber, ADF)

Acid Detergent Fiber (ADF) คือ ส่วนที่เหลือจากการนำตัวอย่างพืชไปย่อยด้วยสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 นอร์มัล และมีสารฟอก (detergent) คือ เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethylammonium bromide) ซึ่งจะย่อยโปรตีนในเซลล์พืช ส่วนอะซิโตน (Acetone) จะละลายไขมันและเม็ดสีต่าง ๆ ส่วนที่เหลือที่ไม่ละลายนสารฟอกจะเป็นสารที่อยู่ในส่วนของ ADF ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน คิวทิน และส่วนของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble ash ; AIA)

สารเคมี

การเตรียม acid detergent solution (10 ลิตร)

1) ชั่งเฮกซะเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyltrimethyl ammonium Bromide; CTAB) 200 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 ลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2) เติมน้ำกลั่น 1,725 มิลลิลิตร นำเข้าตู้ดูดควันแล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 275 มิลลิลิตร

3) เติมน้ำกลั่น 6.7 ลิตร ลงในถังเก็บสาร แล้วจึงเติมสารในข้อ 1 และข้อ 2 ตามลำดับ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

วิธีการ

ทำเช่นเดียวกับ NDF แต่เปลี่ยนสารฟอกเป็น ADF และเก็บครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างที่เหลือไว้เพื่อหา ADL ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ADF (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนัก crucible} + \text{เยื่อใย ADF}) - \text{น้ำหนัก crucible} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

การวิเคราะห์หาลิกนิน (Acid-detergent Lignin, ADL)

การหาปริมาณ ligninใน ADF โดยใช้กรดซัลฟูริก ละลายเซลลูโลสออกจากลิกนิน แต่อาจมีคิวทิน (cutin) และสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด รวมถึงซิลิกา (silica)

สารเคมี

กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ

1) นำครูซิเบิลที่มีตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ ADF วางในถาดที่มีน้ำกลั่นอยู่ สูงประมาณ 1 เซนติเมตร

2) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในถ้วยครูซิเบิล ประมาณครึ่งถ้วย ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างให้แตกกระจาย ค่อย ๆ เติมกรดจนกระทั่งปริมาณของกรดในถ้วยไม่แห้ง ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลากรองกรดออกและล้างด้วยน้ำร้อนจนพีเอชเป็นกลาง

3) อบตัวอย่างที่ผ่านการย่อยในตู้อบแห้งอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบแห้ง และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

4) เผาตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งในเครื่องเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากเครื่องเผาและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ADL(เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักครูซิเบิล+ น้ำหนักแห้งลิกนิน}) - (\text{น้ำหนักครูซิเบิล+ เถ้า}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

คำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์) = NDF (เปอร์เซ็นต์) – ADF (เปอร์เซ็นต์)

เซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์) = ADF (เปอร์เซ็นต์) – ADL (เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.2 การวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในเปลือกทุเรียนโดยวิธีเจลดาห์ล

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม ประกอบด้วยโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และซีลีเนียม (Se) ในอัตราส่วน 100 :10 :1 โดยน้ำหนัก

3) อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) : เตรียมโดยละลายเมทิลเรด (methyl red) 0.066 กรัม และโบรโมครีซอล กรีน (bromocresol green) 0.099 กรัม ในเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ปรับสีของอินดิเคเตอร์ให้เป็นสีเขียวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วเติมเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

4) สารละลายกรดบอริค และอินดิเคเตอร์ : เตรียมโดยละลายกรดบอริค (H_3BO_3) 60 กรัม ด้วยน้ำกลั่นประมาตร 1,800 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 2,000 มิลลิลิตร คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กจนกรดบอริคละลายหมด เติมอินดิเคเตอร์ผสมใน ข้อ 3 ลงไป 2.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 2,000 มิลลิลิตร

5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ : เตรียมโดยใส่น้ำกลั่นประมาณ 1,800 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร นำไปวางในอ่างน้ำเย็น เพื่อช่วยระบายความร้อน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปครั้งละ 5-10 กรัม พร้อมทั้งคนให้สารละลายหมดก่อนจึงเติมเพิ่มลงไปใหม่จนครบ 800 กรัม ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นเพิ่มจนสารละลายมีปริมาตรรวมเป็น 2,000 มิลลิลิตร

6) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) : เตรียมโดยปิเปตต์กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 4.14 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 2,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้กรดความเข้มข้น 0.025 โมลาร์

7) สารละลายมาตรฐานทริส-ไฮดรอกซีเมทิล อะมิโนมีเทน (tris-(hydroxymethyl) aminomethane) : เตรียมโดยนำสารดังกล่าวไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งสาร 0.3028 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1) ชั่งตัวอย่าง 2.50 กรัม ใส่ในหลอดทดลองที่ใช้สำหรับย่อย (digestion tube) ระวังอย่าให้เปื้อนด้านข้างหลอด หากเปื้อนให้ฉีดน้ำกลั่น เล็กน้อย เพื่อล้างลงไปก้นหลอด ระวังอย่าให้แฉะ และใช้หลอดเปล่า 1 หลอดเป็นแบงค์ (sample blank)

2) เติมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมลงไปประมาณ 2 กรัม

3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าหลอดให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน

4) นำไปย่อยในส่วนให้ความร้อนแบบเตาหลุม (digestion block) ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดของกรด (อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส) ย่อยจนได้สารละลายใส และไม่มีฮิวมัสเคลือบเม็ดดิน (เม็ดดินไม่ถูกย่อย) จากนั้นย่อยต่อไปอีกประมาณ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เติมสารละลายกรดบอริค (เตรียมได้จากข้อ 4) 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลตร จำนวน 3 ใบ

6) นำตัวอย่างที่ย่อยแล้วจากข้อ 4) ไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ก่อนเริ่มกลั่นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 40 มิลลิลิตร (เติมจากเครื่องกลั่น) และใช้กรดบอริคจากข้อ 5) จับแก๊สแอมโมเนียที่เกิดขึ้น สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเขียว

7) นำกรดบอริคที่ได้จากข้อ 6) ไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ จนสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนกลับไปเป็นสีชมพู ความเข้มของสีจะอ่อนลงกว่าเดิม เนื่องจากอินดิเคเตอร์เจือจางลง

8) ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานทริส 10 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ หยดอินดิเคเตอร์ลงไป 2 หยด แล้วไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.025 โมลาร์

การคำนวณ

ความเข้มข้นที่แท้จริงของกรดไฮโดรคลอริกคำนวณได้จาก

$$N_1 = N_2V_2/V_1$$

หมายเหตุ : N_1 = ความเข้มข้นที่แท้จริงของกรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)
N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทริส (โมลาร์)
V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทริส (มิลลิลิตร)
V_1 = ปริมาตรเฉลี่ยของกรดกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตข้อ 8) (มิลลิลิตร)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างดินคำนวณได้จาก

ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) = $1.4\ N_1V/W$

หมายเหตุ : N_1 = ความเข้มข้นที่แท้จริงของกรด HCl (โมลาร์)
V = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ในการไทเทรตข้อ 7) (มิลลิลิตร)
W = น้ำหนักของตัวอย่างเปลือกทุเรียนที่ใช้ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธีโดยวิธีของ Bernfeld (1955)

สารเคมี

สารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก

ละลายกรดไดไนโตรซาลลิไซลิก 5 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร บนอ่างน้ำร้อน คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมโซเดียมโปตัสเซียมตาร์เตรต 150 กรัม คนให้ละลายจนหมด เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการ

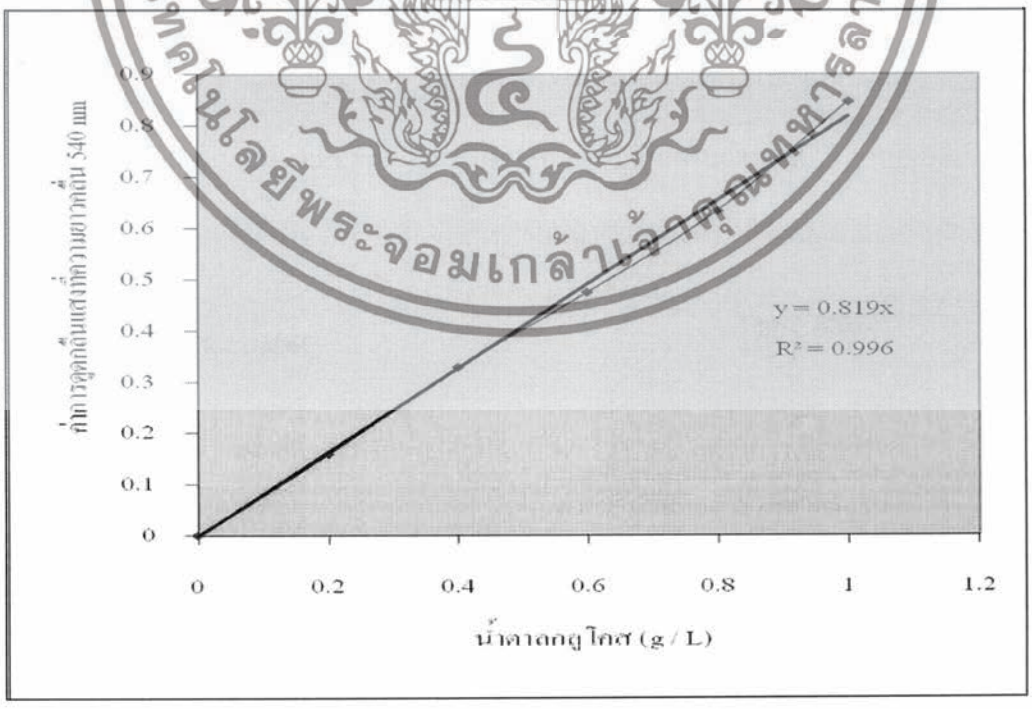
1) เติมสารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงในน้ำหมักที่เจือจางจนได้ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสม 1 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว เขย่าให้เข้ากัน

2) นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นลงในอ่างน้ำเย็น

3) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{ค่า } OD_{540} \times \text{อัตราการเจือจาง}}{\text{ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$



ภาพ ก.1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DNS กับน้ำตาลกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยการทำปฏิกิริยาของฟีนอลและกรดกำมะถัน (Hansen และ Phillips, 1981)

สารเคมี

1) สารละลายฟีนอล

เตรียมโดยละลายฟีนอลปริมาณ 25 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

2) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

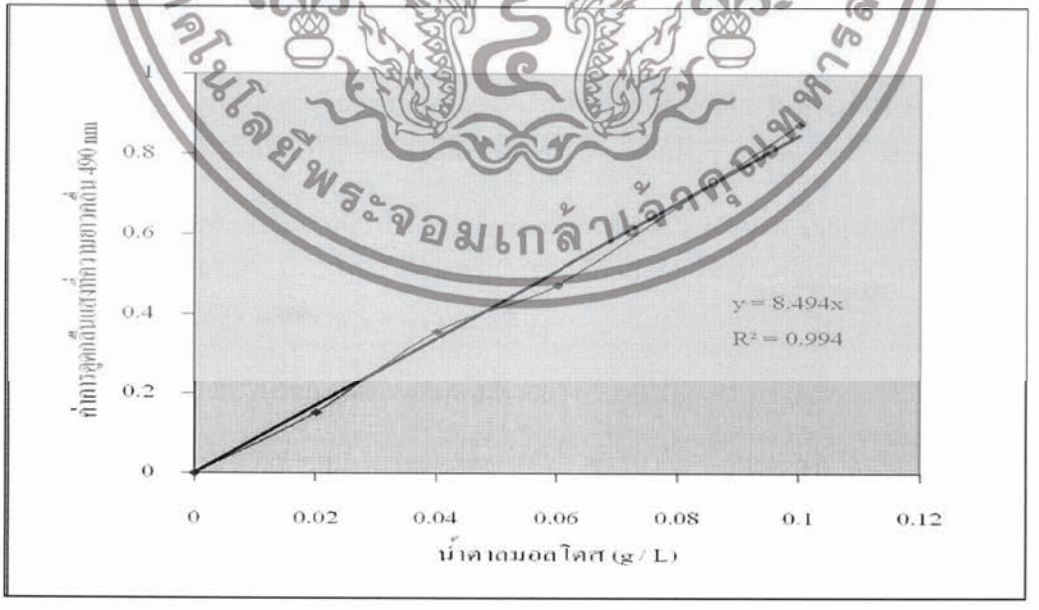
วิธีการ

1) นำตัวอย่างสารละลาย (ในที่นี้คือน้ำย่อยเปลือกทุเรียนหรือน้ำหมักเปลือกทุเรียน)มาเจือจางจนได้ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสม ปิเปตสารละลายที่ได้มา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอลปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เขย่าแรง ๆ ตั้งทิ้งต่อไปอีกประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจากกราฟมาตรฐาน

3) วิธีคำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{ค่า } OD_{490} \times \text{อัตราการเจือจาง}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$



ภาพ ก.2 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์โดยใช้การทำปฏิกิริยาของฟีนอลและกรดกำมะถันเข้มข้นกับน้ำตาลมอลโตส (Hansen และ Phillips,1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. 5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง HPLC

สารเคมี

สารละลายอะซิโตรไนไตรล์เข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์

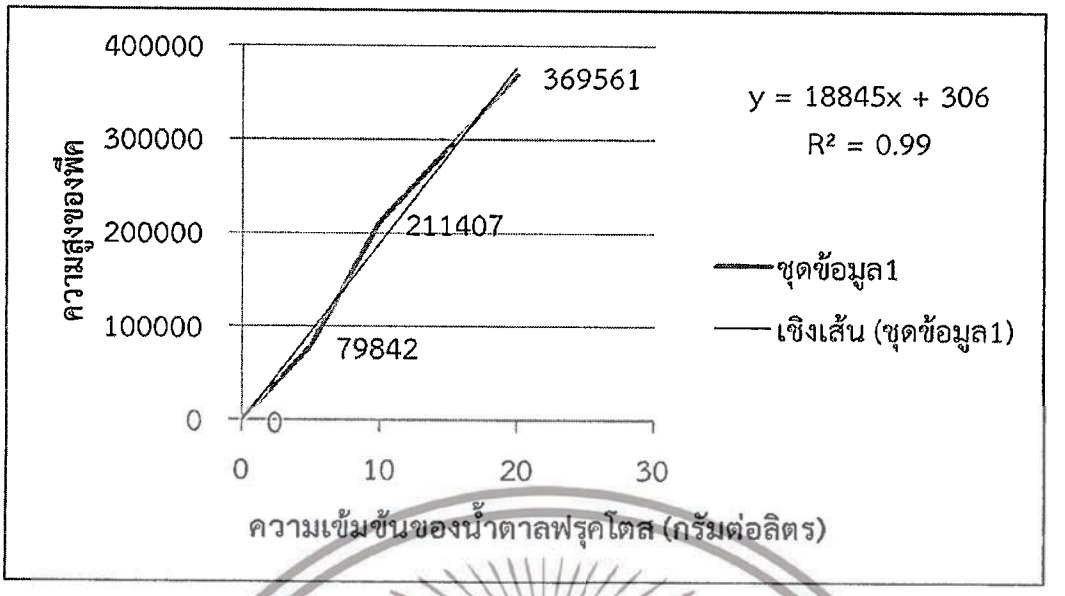
เตรียมอะซิโตรไนไตรล์ปริมาตร 75 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปไล่ฟองอากาศโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ (เตรียมสารละลายใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง)

วิธีการ

นำตัวอย่างมาตรวจสอบโดยเครื่องโครมาโตรกราฟฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง รุ่น Water 600 โดยใช้คอลัมน์ YMC-Pack Polymine II ใช้อะซีโตรไนไตรล์ความเขมข้น 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เป็นตัวพาและปรับให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องตรวจสอบ (detector) ชนิด Refractive Index Detector (RID) โดยเปรียบเทียบกับ กลูโคส ฟรุคโตส ไซโลส และซูโครสมาตรฐาน

ภาพ ก.3 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

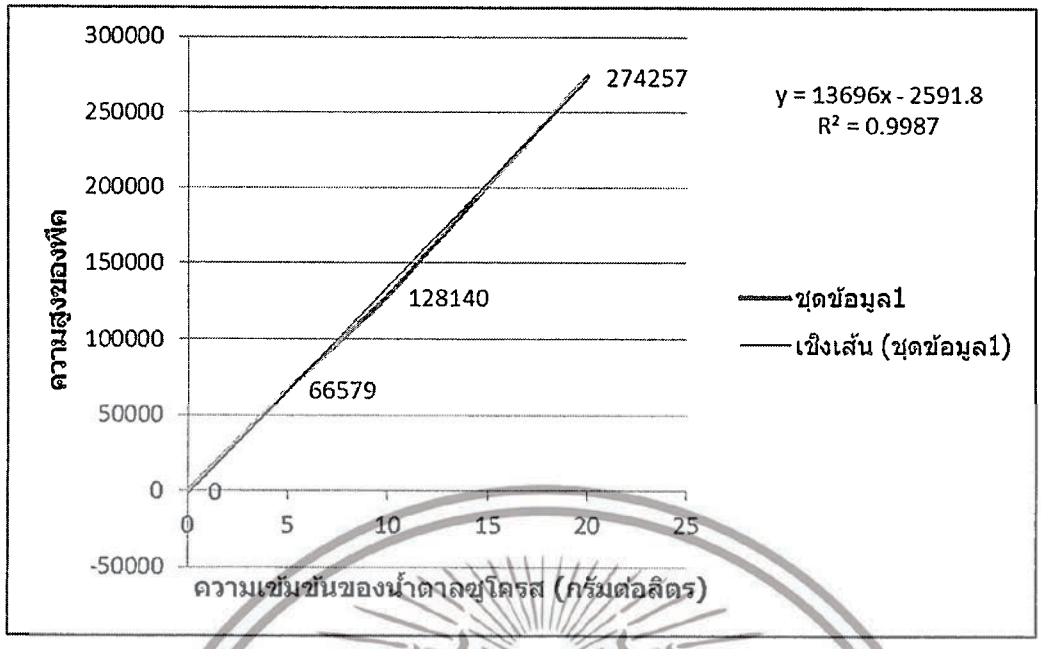
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ก.4 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

ภาพ ก. 5 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลไซโลส เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ก. 6 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลซูโครส เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

ภาคผนวก ก. 6 การวิเคราะห์สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

สารเคมี

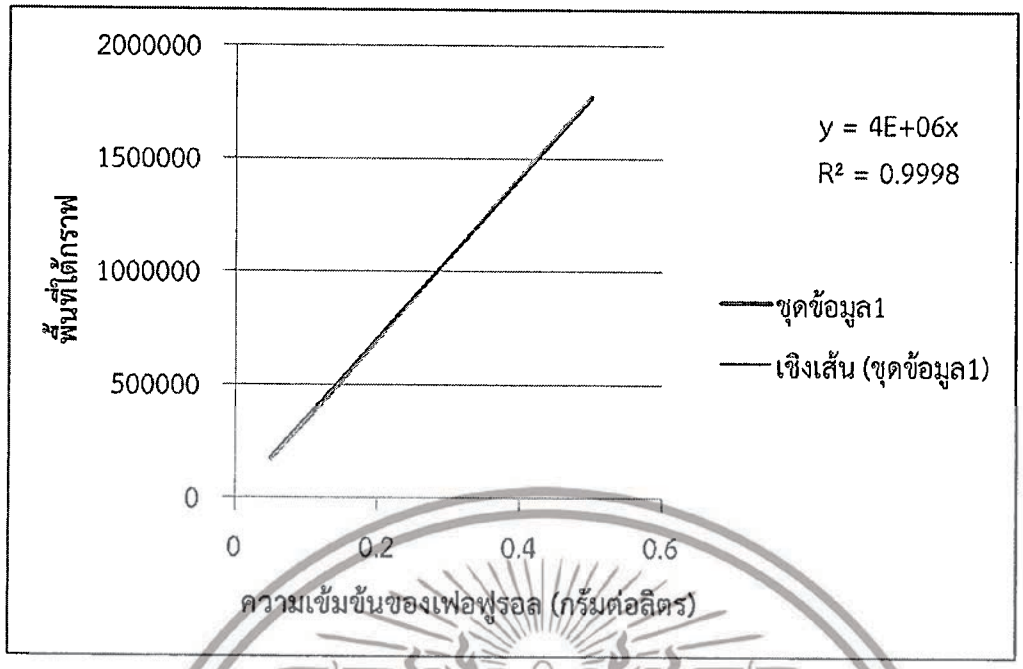
สารละลายอะซิโตรไนไตรล์เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์

เตรียมอะซิโตรไนไตรล์ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติมน้ำ DI ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปไล่ฟองอากาศโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ (เตรียมสารละลายใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง)

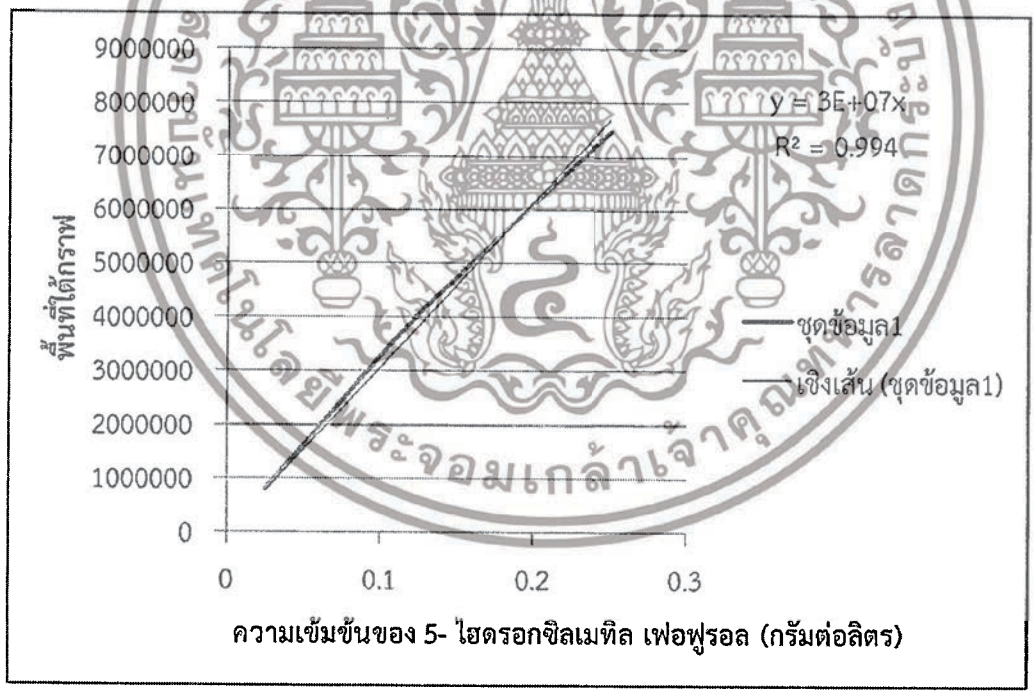
วิธีการ

นำน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดที่ให้ปริมาณผลรวมของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสสูงที่สุดมาปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เท่ากับ 4.00, 5.00 และ 6.00 แล้วนำไปวัดสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ เฟอฟิวรอล และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอล ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) รุ่น HITASHI Chromaster โดยใช้คอลัมน์ YMC-Pack ODS AQ ใช้น้ำ DI ต่อ อะซีโตรไนไตรล์ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 97 : 3 โดยปริมาตร เป็นตัวพาและปรับให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องตรวจสอบ (detector) ชนิด Diode Array Detector 5430 วัดโดยใช้แสง UV ความยาวคลื่น 280 นาโมเมตร โดยเปรียบเทียบกับเฟอฟิวรอล และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟิวรอลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ก. 7 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณน้ำตาลเฟอฟูรอล เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC



ภาพ ก. 8 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณ 5-ไฮดรอกซิลเมทิล เฟอฟูรอล เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. 7 การวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง

การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง ดัดแปลงจากวิธีของ Kwak และ Rhee (1992)

วิธีการ

1) นำตัวอย่างมา 10 มิลลิลิตร

2) กรองด้วยชุดกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/C ที่ผ่านการอบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว

3) อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

4) ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \times 1000$$

หมายเหตุ : W_1 คือ น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักเซลล์กับกระดาษกรอง (กรัม)

V คือ ปริมาตรที่ใช้ (มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์

วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยวิธีไดโครเมทออกซิเดชัน (Amerine and Ovgh, 1974)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยวิธีไดโครเมทออกซิเดชัน (dichromate oxidation) เป็นวิธีหาแอลกอฮอล์โดยวิธีทางเคมี โดยการนำสารตัวอย่างมากลั่น แอลกอฮอล์ที่ถูกกลั่นออกมาจะทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) ที่ทราบปริมาณแน่นอนและมากเกินพอในสภาวะที่เป็นกรดได้เป็นกรดอะซิติกดังแสดงในสมการที่ 1 ไดโครเมทส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับกับสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulfate; $Fe(NH_4)_2(SO_2)_2$ ดังแสดงในสมการที่ 2 โดยใช้ 1, 10 ฟีแนนโทรลีนเฟอร์รัสซัลเฟต (1,10 – phenanthroline ferrous sulfate) เป็นอินดิเคเตอร์ โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวใสไปเป็นสีน้ำตาล

$$2Cr_2O_7^{-2} + 3C_2H_5OH + 16H^+ \longrightarrow 4Cr^{3+} + 3CH_3COOH + 11H_2O$$

สมการที่ 1

$$Cr_2O_7^{-2} + 6Fe^{+2} + 14H^+ \longrightarrow Cr^{3+} + 6Fe^{+3} + 7H_2O$$

สมการที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1) สารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต : ละลายโปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 33.77 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 450 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 325 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา

2) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต : ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($(Fe(NH_4)_2SO_2)_2.6H_2O$) 135 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 750 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 25 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3) สารละลาย 1, 10 ฟีแนนโทรลีนเฟอร์รัสซัลเฟต ละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.70 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมออโทฟีแนนโทรลีน ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.49 กรัม คนให้ละลาย และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1) เติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปชมพู่สำหรับกลั่น 100 มิลลิลิตร

2) ปิเปตต์ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่สำหรับกลั่น ต่อชุดกลั่น

3) ปิเปตต์สารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปวางที่ปลายส่วนควบแน่น โดยให้ปลายของส่วนควบคุมจุ่มลงในสารละลาย

4) กลั่นด้วยความร้อนต่ำจนได้ส่วน distillate รวมกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต จนมีปริมาตร 40-45 มิลลิลิตร จึงหยุดกลั่น

5) ฉีดล้างส่วนควบแน่นด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยให้ลงไปรวมอยู่ในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

6) นำขวดสารละลายที่ได้ไปแช่ในอ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เพื่อให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับโปตัสเซียมไดโครเมตที่อยู่ในสารละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นถ่ายสารละลายพร้อมทั้งใช้น้ำกลั่นเล็กน้อยฉีดล้างสารละลายทั้งหมดลงสู่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

7) ไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวใส เติมสารละลาย 1, 10 ฟีแนนโทรลีนเฟอร์รัสซัลเฟต ลงไปประมาณ 10 หยดแล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จดปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไปเป็นค่า V_A

8) ทำ blank โดยปิเปตต์น้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 25 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 นาที นำมาไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตตามข้อ 7 จดปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไปเป็นค่า V_B

9) นำค่า V_A และ V_B ที่ได้คำนวณหาปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (ปริมาตรต่อปริมาตร)} = 25 - [25 \times \frac{V_A}{V_B}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ภาคผนวก ข. 1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากเปลือกทุเรียน

ตาราง ข.1 ผลของสายพันธุ์เชื้อต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)		
	S. cerevisiae TISTR 5019	*S. cerevisiae* TISTR 5049	*S. cerevisiae* TISTR 5059
0	ND	ND	ND
1	ND	ND	ND
2	0.43 ± 0.01^{d}	0.38 ± 0.02^{e}	0.33 ± 0.03^{f}
3	0.70 ± 0.02^{a}	0.60 ± 0.02^{b}	0.60 ± 0.02^{b}
4	0.62 ± 0.02^{b}	0.54 ± 0.03^{c}	0.51 ± 0.03^{c}
5	0.40 ± 0.02^{de}	0.40 ± 0.02^{de}	0.35 ± 0.02^{ef}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

ตาราง ข.2 ผลของปริมาณกล้าเชื้อต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)		
	กล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5019 (เปอร์เซ็นต์)		
	5.00	10.00	15.00
0	ND	ND	ND
1	ND	ND 00^{i}	ND
2	0.43 ± 0.02^{h}	0.48 ± 0.01^{f}	0.48 ± 0.01^{f}
3	0.63 ± 0.02^{d}	0.74 ± 0.03^{b}	0.68 ± 0.01^{c}
4	0.79 ± 0.02^{a}	0.65 ± 0.03^{cd}	0.53 ± 0.00^{e}
5	0.64 ± 0.02^{d}	0.45 ± 0.02^{fg}	0.40 ± 0.01^{h}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 ผลการแปรผันพีเอชเริ่มต้นในการใช้น้ำย่อยเปลือกทุเรียนผลิตเอทานอล

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)		
	พีเอช		
	4.0	5.0	6.0
0	ND	ND	ND
1	ND	ND	ND
2	0.75 ± 0.01^{a}	0.65 ± 0.01^{c}	0.59 ± 0.01^{d}
3	0.73 ± 0.01^{a}	0.50 ± 0.02^{e}	0.40 ± 0.01^{f}
4	0.68 ± 0.02^{b}	0.50 ± 0.01^{e}	0.35 ± 0.01^{g}
5	0.64 ± 0.02^{c}	0.26 ± 0.01^{i}	0.30 ± 0.00^{h}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

ตาราง ข.4 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)		
	อุณหภูมิ (°C)		
	25	30	35
0	ND	ND	ND
1	ND	ND	ND
2	0.38 ± 0.01^{e}	0.45 ± 0.01^{d}	0.76 ± 0.02^{a}
3	0.67 ± 0.01^{b}	0.74 ± 0.01^{a}	0.75 ± 0.02^{a}
4	0.74 ± 0.01^{a}	0.65 ± 0.02^{b}	0.74 ± 0.02^{a}
5	0.55 ± 0.01^{c}	0.40 ± 0.02^{e}	0.40 ± 0.01^{e}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร) แอมโมเนียมซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)		
	0.5	1.0	1.5
0	ND	ND	ND
1	0.80 ± 0.02^{a}	0.78 ± 0.02^{ab}	0.70 ± 0.02^{cde}
2	0.74 ± 0.01^{bc}	0.72 ± 0.02^{cd}	0.68 ± 0.03^{def}
3	0.72 ± 0.01^{cd}	0.70 ± 0.01^{cde}	0.50 ± 0.02^{h}
4	0.68 ± 0.02^{def}	0.65 ± 0.01^{ef}	0.47 ± 0.02^{h}
5	0.64 ± 0.01^{f}	0.57 ± 0.03^{g}	0.38 ± 0.02^{i}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

ตาราง ข.6 ผลของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร) แมกนีเซียมซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)		
	0.1	0.5	1.0
0	ND	ND	ND
1	0.83 ± 0.01^{c}	0.78 ± 0.02^{de}	0.76 ± 0.03^{def}
2	0.93 ± 0.01^{a}	0.90 ± 0.01^{ab}	0.74 ± 0.02^{efg}
3	0.88 ± 0.02^{b}	0.83 ± 0.01^{c}	0.70 ± 0.01^{gh}
4	0.83 ± 0.03^{c}	0.80 ± 0.01^{cd}	0.69 ± 0.01^{h}
5	0.74 ± 0.02^{efg}	0.72 ± 0.00^{fgh}	0.62 ± 0.02^{i}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.7 ผลของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)		
	โปตัสเซียมฟอสเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)		
	0.1	0.5	1.0
0	ND	ND	ND
1	1.12 ± 0.02^{b}	0.83 ± 0.02^{f}	0.68 ± 0.04^{i}
2	1.22 ± 0.02^{a}	1.07 ± 0.01^{c}	0.92 ± 0.02^{e}
3	1.20 ± 0.02^{a}	1.06 ± 0.01^{c}	1.07 ± 0.02^{c}
4	0.97 ± 0.01^{d}	0.95 ± 0.01^{de}	0.92 ± 0.02^{e}
5	0.82 ± 0.02^{fg}	0.78 ± 0.02^{gh}	0.76 ± 0.02^{h}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

ตาราง ข.8 ผลการเปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในสภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการเปลือกทุเรียนที่ไม่มีการเติมสาร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (โดยปริมาตร)	
	น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนที่เติมแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโปตัสเซียมฟอสเฟต 0.5, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์	น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน
0	0.05 ± 0.08^{e}	0.16 ± 0.14^{e}
1	0.62 ± 0.07^{d}	0.67 ± 0.03^{cd}
2	0.96 ± 0.00^{abc}	0.74 ± 0.03^{cd}
3	1.26 ± 0.13^{a}	0.86 ± 0.01^{bcd}
4	1.16 ± 0.13^{ab}	0.83 ± 0.03^{bcd}
5	0.74 ± 0.26^{cd}	0.77 ± 0.06^{cd}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. 2 การหมักเอทานอลจากเปลือกทุเรียนในถังหมักแบบใบพัดกวน

ตาราง ข.9 ค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาอัตราการกวนต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวน

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอลสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	อัตราการผลิตเอทานอล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)	ผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ (กรัมต่อกรัม)
50	24	4.00 ± 0.09^{r}	0.16 ± 0.01^{e}	0.25 ± 0.02^{g}
	48	4.47 ± 0.00^{q}	0.09 ± 0.00^{j}	0.19 ± 0.00^{j}
	72	5.56 ± 0.12^{n}	0.08 ± 0.00^{k}	0.19 ± 0.01^{j}
	96	5.82 ± 0.05^{l}	0.06 ± 0.00^{m}	0.20 ± 0.01^{i}
	120	6.03 ± 0.12^{k}	0.05 ± 0.00^{n}	0.19 ± 0.01^{j}
	144	7.77 ± 0.05^{e}	0.05 ± 0.00^{n}	0.25 ± 0.00^{g}
	168	8.61 ± 0.08^{b}	0.05 ± 0.00^{n}	0.26 ± 0.00^{g}
100	24	9.81 ± 0.01^{a}	0.41 ± 0.00^{a}	0.47 ± 0.01^{a}
	48	8.62 ± 0.02^{b}	0.18 ± 0.00^{d}	0.34 ± 0.00^{c}
	72	8.61 ± 0.01^{b}	0.12 ± 0.00^{g}	0.29 ± 0.00^{f}
	96	8.22 ± 0.02^{c}	0.09 ± 0.00^{j}	0.26 ± 0.00^{g}
	120	7.44 ± 0.01^{f}	0.06 ± 0.00^{m}	0.23 ± 0.00^{h}
	144	7.43 ± 0.00^{f}	0.05 ± 0.00^{n}	0.22 ± 0.00^{h}
	168	6.64 ± 0.01^{i}	0.04 ± 0.00^{o}	0.19 ± 0.00^{j}
150	24	7.16 ± 0.09^{gh}	0.30 ± 0.00^{b}	0.37 ± 0.02^{b}
	48	7.94± 0.06^{d}	0.16± 0.01^{e}	0.30 ± 0.01^{e}
	72	7.90 ± 0.00^{d}	0.11 ± 0.00^{h}	0.30 ± 0.00^{e}
	96	7.27± 0.16^{g}	0.08± 0.01^{k}	0.22 ± 0.01^{h}
	120	5.98 ± 0.04^{k}	0.05 ± 0.00^{n}	0.17 ± 0.00^{l}
	144	5.53 ± 0.08^{n}	0.04 ± 0.00^{o}	0.15 ± 0.00^{m}
	168	5.09 ± 0.09^{o}	0.03 ± 0.00^{p}	0.14 ± 0.00^{n}
200	24	6.77 ± 0.09^{i}	0.28 ± 0.01^{c}	0.35 ± 0.01^{c}
	48	7.16 ± 0.09^{gh}	0.15 ± 0.00^{f}	0.31 ± 0.01^{d}
	72	7.11 ± 0.00^{h}	0.10 ± 0.00^{i}	0.31 ± 0.00^{d}
	96	6.72 ± 0.08^{i}	0.07 ± 0.00^{l}	0.20 ± 0.01^{i}
	120	6.37 ± 0.09^{j}	0.05 ± 0.00^{n}	0.18 ± 0.01^{k}
	144	5.69 ± 0.16^{m}	0.04 ± 0.00^{o}	0.15 ± 0.01^{m}
	168	4.85 ± 0.12^{p}	0.03 ± 0.00^{p}	0.13 ± 0.01^{o}

หมายเหตุ: 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข. 10 ค่าพารามิเตอร์การศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด

วิธีการกวน	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอลสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	อัตราการผลิตเอทานอล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)	ผลได้เอทานอลต่อน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้ (กรัมต่อกรัม)
100 รอบต่อนาที	24	9.81 ± 0.01^{g}	0.41 ± 0.00^{c}	0.48 ± 0.01^{c}
	48	8.62 ± 0.02^{h}	0.18 ± 0.00^{f}	0.34 ± 0.01^{h}
	72	8.61 ± 0.01^{h}	0.12 ± 0.00^{i}	0.29 ± 0.00^{i}
	96	8.22 ± 0.02^{i}	0.09 ± 0.00^{k}	0.26 ± 0.01^{k}
	120	7.44 ± 0.01^{j}	0.06 ± 0.00^{l}	0.23 ± 0.00^{m}
	144	7.43 ± 0.00^{j}	0.05 ± 0.00^{m}	0.22 ± 0.00^{m}
	168	6.64 ± 0.01^{l}	0.04 ± 0.00^{n}	0.19 ± 0.00^{n}
100 รอบต่อนาทีตามด้วยสภาวะนิ่ง	24	12.99 ± 0.09^{e}	0.54 ± 0.00^{a}	0.50 ± 0.00^{ab}
	48	20.07 ± 0.05^{a}	0.45 ± 0.00^{b}	0.51 ± 0.00^{a}
	72	19.15 ± 0.20^{b}	0.27 ± 0.01^{e}	0.49 ± 0.01^{bc}
	96	16.49 ± 0.10^{c}	0.17 ± 0.00^{g}	0.42 ± 0.00^{e}
	120	14.62 ± 0.16^{d}	0.12 ± 0.00^{i}	0.37 ± 0.00^{g}
	144	7.22 ± 0.09^{k}	0.05 ± 0.00^{m}	0.18 ± 0.00^{o}
	168	6.64 ± 0.00^{l}	0.04 ± 0.00^{n}	0.17 ± 0.00^{p}
สภาวะนิ่ง	24	6.72 ± 0.00^{l}	0.28 ± 0.00^{d}	0.40 ± 0.00^{f}
	48	7.43 ± 0.16^{j}	0.15 ± 0.01^{h}	0.35 ± 0.01^{h}
	72	8.64 ± 0.10^{h}	0.12 ± 0.00^{i}	0.38 ± 0.01^{g}
	96	10.43 ± 0.00^{f}	0.11± 0.01^{j}	0.45 ± 0.00^{d}
	120	7.37 ± 0.24^{jk}	0.06 ± 0.00^{l}	0.28 ± 0.01^{j}
	144	6.62 ± 0.23^{l}	0.05 ± 0.0^{m}	0.24 ± 0.01^{l}
	168	5.61 ± 0.08^{m}	0.03 ± 0.00^{o}	0.18 ± 0.00^{o}

หมายเหตุ : 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ND คือ Not Detected หมายถึง ตรวจแล้วไม่พบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ตาราง ค.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	687.85	687.85	229.28	490.74	0.000
C2	3	2246.05	2246.05	748.68	1602.42	0.000
C1*C2	9	389.19	389.19	43.24	92.56	0.000
Error	32	14.95	14.95	0.47		
Total	47	3338.04				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	584.52	584.52	194.84	1703.78	0.000
C2	3	1579.83	1579.83	526.61	4604.98	0.000
C1*C2	9	159.52	159.52	17.72	154.99	0.000
Error	32	3.66	3.66			
Total	47	2327.52				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	2311.58	2311.58	770.53	31.40	0.000
C2	3	364.98	364.98	121.66	4.96	0.006
C1*C2	9	662.30	662.30	73.59	3.00	0.010
Error	32	785.16	785.16	24.54		
Total	47	4124.03				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.4 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Correlations							
		น้ำตาลรีดิวซ์	x1	x2	x1x1	x1x2	x2x2
Pearson Correlation	น้ำตาลรีดิวซ์	1.000	.748	.088	.678	.498	.008
	x1	.748	1.000	.000	.984	.674	.000
	x2	.088	.000	1.000	.000	.674	.984
	x1x1	.678	.984	.000	1.000	.664	.000
	x1x2	.498	.674	.674	.664	1.000	.664
	x2x2	.008	.000	.984	.000	.664	1.000
Sig. (1-tailed)	น้ำตาลรีดิวซ์	.	.000	.275	.000	.000	.477
	x1	.000	.	.500	.000	.000	.500
	x2	.275	.500	.	.500	.000	.000
	x1x1	.000	.000	.500	.	.000	.500
	x1x2	.000	.000	.000	.000	.	.000
	x2x2	.477	.500	.000	.500	.000	.
N	น้ำตาลรีดิวซ์	48	48	48	48	48	48
	x1	48	48	48	48	48	48
	x2	48	48	48	48	48	48
	x1x1	48	48	48	48	48	48
	x1x2	48	48	48	48	48	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960[a]	.922	.912	2.49553

a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1

ANOVA

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3076.482	5	615.296	98.800	.000[a]
	Residual	261.562	42	6.228		
	Total	3338.044	47			

a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1

b. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95.0% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-18.549	3.340		-5.553	.000	-25.290	-11.808
	x1	45.999	3.933	3.084	11.697	.000	38.063	53.936
	x2	1.523	.131	3.062	11.617	.000	1.258	1.787
	x1x1	-11.043	1.441	-1.880	-7.664	.000	-13.950	-8.135
	x1x2	-.193	.038	-.720	-5.025	.000	-.271	-.116
	x2x2	-.017	.002	-2.528	-10.307	.000	-.020	-.013

a. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Correlations

		น้ำตาลรีดิวซ์	x1	x2	x1x1	x1x2	x2x2
Pearson Correlation	น้ำตาลรีดิวซ์	1.000	.736	.310	.662	.695	.236
	x1	.736	1.000	.000	.984	.674	.000
	x2	.310	.000	1.000	.000	.674	.984
	x1x1	.662	.984	.000	1.000	.664	.000
	x1x2	.695	.674	.674	.664	1.000	.664
	x2x2	.236	.000	.984	.000	.664	1.000
Sig. (1-tailed)	น้ำตาลรีดิวซ์	.	.000	.016	.000	.000	.053
	x1	.000	.	.500	.000	.000	.500
	x2	.016	.500	.	.500	.000	.000
	x1x1	.000	.000	.500	.	.000	.500
	x1x2	.000	.000	.000	.000	.	.000
	x2x2	.053	.500	.000	.500	.000	.
N	น้ำตาลรีดิวซ์	48	48	48	48	48	48
	x1	48	48	48	48	48	48
	x2	48	48	48	48	48	48
	x1x1	48	48	48	48	48	48
	x1x2	48	48	48	48	48	48
	x2x2	48	48	48	48	48	48

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960[a]	.922	.913	2.07965

a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2145.872	5	429.174	99.232	.000[a]
	Residual	181.648	42	4.325		
	Total	2327.520	47			

a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1

b. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95.0% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-.873	2.784		-.314	.755	-6.491	4.744
	x1	35.003	3.277	2.810	10.680	.000	28.389	41.616
	x2	1.075	.109	2.588	9.836	.000	.854	1.295
	x1x1	-9.948	1.201	-2.028	-8.286	.000	-12.371	-7.525
	x1x2	-.026	.032	-.114	-.800	.428	-.090	.039
	x2x2	-.012	.001	-2.236	-9.132	.000	-.015	-.009

a. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 วิเคราะห์การถดถอยตัวแปรความเข้มข้นของกรด (X1) และเวลาในการย่อย (X2) เปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Correlations							
		น้ำตาลรีดิวซ์	x1	x2	x1x1	x1x2	x2x2
Pearson Correlation	น้ำตาลรีดิวซ์	1.000	.182	.666	.161	.548	.621
	x1	.182	1.000	.000	.984	.674	.000
	x2	.666	.000	1.000	.000	.674	.984
	x1x1	.161	.984	.000	1.000	.664	.000
	x1x2	.548	.674	.674	.664	1.000	.664
	x2x2	.621	.000	.984	.000	.664	1.000
Sig. (1-tailed)	น้ำตาลรีดิวซ์	.	.108	.000	.137	.000	.000
	x1	.108	.	.500	.000	.000	.500
	x2	.000	.500	.	.500	.000	.000
	x1x1	.137	.000	.500	.	.000	.500
	x1x2	.000	.000	.000	.000	.	.000
	x2x2	.000	.500	.000	.500	.000	.
N	น้ำตาลรีดิวซ์	48	48	48	48	48	48
	x1	48	48	48	48	48	48
	x2	48	48	48	48	48	48
	x1x1	48	48	48	48	48	48
	x1x2	48	48	48	48	48	48
	x2x2	48	48	48	48	48	48

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.728[a]	.531	.475	6.78872
a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2188.394	5	437.679	9.497	.000[a]
	Residual	1935.640	42	46.087		
	Total	4124.034	47			
a. Predictors: (Constant), x2x2, x1x1, x1x2, x2, x1						
b. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์						

Coefficients								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95.0% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-4.237	9.087		-.466	.643	-22.575	14.101
	x1	15.502	10.698	.935	1.449	.155	-6.087	37.092
	x2	1.063	.357	1.923	2.980	.005	.343	1.782
	x1x1	-3.823	3.919	-.586	-.975	.335	-11.733	4.086
	x1x2	-.078	.105	-.262	-.746	.460	-.289	.133
	x2x2	-.008	.004	-1.098	-1.829	.075	-.017	.001
a. Dependent Variable: น้ำตาลรีดิวซ์								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	710.94	710.94	236.98	325933.24	0.000
C2	3	1136.05	1136.05	378.68	520824.16	0.000
C1*C2	9	334.40	334.40	37.16	51102.85	0.000
Error	32	0.02	0.02	0.00		
Total	47	2181.42				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาล ฟรุคโตส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	197.451	197.451	65.817	193817.07	0.000
C2	3	203.733	203.733	67.911	199983.43	0.000
C1*C2	9	72.383	72.383	8.043	23683.47	0.000
Error	32	0.011	0.011	0.000		
Total	47	473.578				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	91.087	91.087	30.362	83279.18	0.000
C2	3	298.551	298.551	99.517	272960.49	0.000
C1*C2	9	128.207	128.207	14.245	39072.53	0.000
Error	32	0.012	0.012	0.000		
Total	47	517.856				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	470.133	470.133	156.711	127277.86	0.000
C2	3	156.104	156.104	52.035	42261.70	0.000
C1*C2	9	616.352	616.352	68.484	55621.16	0.000
Error	32	0.039	0.039	0.001		
Total	47	1242.628				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	3440.05	3440.05	1146.68	535937.25	0.000
C2	3	2686.17	2686.17	895.39	418488.19	0.000
C1*C2	9	377.59	377.59	41.95	19608.56	0.000
Error	32	0.07	0.07	0.00		
Total	47	6503.87				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	712.60	712.60	237.53	780929.85	0.000
C2	3	1422.08	1422.08	474.03	1558447.42	0.000
C1*C2	9	445.72	445.72	49.52	162818.32	0.000
Error	32	0.01	0.01	0.00		
Total	47	2580.41				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	42.587	42.587	14.196	6960.01	0.000
C2	3	220.165	220.165	73.388	35982.09	0.000
C1*C2	9	62.840	62.840	6.982	3423.36	0.000
Error	32	0.065	0.065	0.002		
Total	47	325.657				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	74.431	74.431	24.810	55134.17	0.000
C2	3	473.339	473.339	157.780	350621.42	0.000
C1*C2	9	128.563	128.563	14.285	31743.85	0.000
Error	32	0.014	0.014	0.000		
Total	47	676.347				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.15 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	62.020	62.020	20.673	62019.17	0.000
C2	3	64.128	64.128	21.376	64128.01	0.000
C1*C2	9	394.805	394.805	43.867	131601.77	0.000
Error	32	0.011	0.011	0.000		
Total	47	520.964				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.16 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	1315.09	1315.09	438.36	141502.16	0.000
C2	3	1488.92	1488.92	496.31	160206.94	0.000
C1*C2	9	1780.82	1780.82	197.87	63871.42	0.000
Error	32	0.10	0.10	0.00		
Total	47	4584.92				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.17 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	103.502	103.502	34.501	84491.30	0.000
C2	3	262.267	262.267	87.422	214095.87	0.000
C1*C2	9	388.678	388.678	43.186	105762.73	0.000
Error	32	0.013	0.013			
Total	47	754.460				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.18 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	80.849	80.849	26.950	1351.15	0.000
C2	3	44.403	44.403	14.801	742.06	0.000
C1*C2	9	234.553	234.553	26.061	1306.61	0.000
Error	32	0.638	0.638	0.020		
Total	47	360.444				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.19 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลไซโลส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	59.897	59.897	19.966	84810.06	0.000
C2	3	69.047	69.047	23.016	97766.22	0.000
C1*C2	9	73.206	73.206	8.134	34551.37	0.000
Error	32	0.008	0.008	0.000		
Total	47	202.158				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.20 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	178.593	178.593	59.531	120062.49	0.000
C2	3	98.318	98.318	32.773	66095.81	0.000
C1*C2	9	397.059	397.059	44.118	88976.90	0.000
Error	32	0.016	0.016	0.000		
Total	47	673.986				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

ตาราง ค.21 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15-60 นาที ต่อปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	629.96	629.96	209.99	9858.57	0.000
C2	3	519.31	519.31	173.10	8126.95	0.000
C1*C2	9	1136.29	1136.29	126.25	5927.43	0.000
Error	32	0.68	0.68	0.02		
Total	47	2286.24				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ระยะเวลาในการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรด
2) C2 คือ ความเข้มข้นของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเฟอฟิวรอลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pH	2	0.0042889	0.0042889	0.0021444	2.80	0.139
Error	6	0.0046000	0.0046000	0.0007667		
Total	8	0.0088889				

ตาราง ค.23 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ 5- ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที พีเอช 4.0, 5.0 และ 6.0

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pH	2	0.014689	0.014689	0.007344	5.05	0.052
Error	6	0.008733	0.008733	0.001456		
Total	8	0.023422				

ตาราง ค.24 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสายพันธุ์เชื้อที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.03693	0.03693	0.01847	58.32	0.000
C2	5	3.31313	3.31313	0.66263	2092.50	0.000
C1*C2	10	0.02762	0.02762	0.00276	8.72	0.000
Error	36	0.01140	0.01140	0.00032		
Total	53	3.38908				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ สายพันธุ์เชื้อ
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.25 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.03949	0.03949	0.01975	108.81	0.000
C2	5	4.28584	4.28584	0.85717	4723.17	0.000
C1*C2	10	0.17277	0.17277	0.01728	95.20	0.000
Error	36	0.00653	0.00653	0.00018		
Total	53	4.50464				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ปริมาณกล้าเชื้อ
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.26 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.36058	0.36058	0.18029	1908.96	0.000
C2	5	3.67879	3.67879	0.73576	7790.38	0.000
C1*C2	10	0.26466	0.26466	0.02647	280.23	0.000
Error	36	0.00340	0.00340	0.00009		
Total	53	4.30744				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ค่าพีเอชเริ่มต้น
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.27 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.04434	0.04434	0.02217	176.07	0.000
C2	5	4.84117	4.84117	0.96823	7688.92	0.000
C1*C2	10	0.26770	0.26770	0.02677	212.59	0.000
Error	36	0.00453	0.00453	0.00013		
Total	53	5.15775				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.28 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.20403	0.20403	0.10202	437.21	0.000
C2	5	3.44847	3.44847	0.68969	2955.83	0.000
C1*C2	10	0.09030	0.09030	0.00903	38.70	0.000
Error	36	0.00840	0.00840	0.00023		
Total	53	3.75120				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.29 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.12923	0.12923	0.06462	264.34	0.000
C2	5	4.70686	4.70686	0.94137	3851.07	0.000
C1*C2	10	0.04986	0.04986	0.00499	20.40	0.000
Error	36	0.00880	0.00880	0.00024		
Total	53	4.89475				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟต
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.30 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริก

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.25156	0.25156	0.12578	446.85	0.000
C2	5	7.50964	7.50964	1.50193	5335.79	0.000
C1*C2	10	0.23011	0.23011	0.02301	81.75	0.000
Error	36	0.01013	0.01013	0.00028		
Total	53	8.00144				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ ปริมาณโปตัสเซียมฟอสเฟต
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.31 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปรียบเทียบการหมักเอทานอลในสภาวะที่เหมาะสมกับการหมักเอทานอลที่ไม่มีการเติมสาร

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	1	0.14188	0.14188	0.14188	11.05	0.003
C2	5	3.54586	3.54586	0.70917	55.02	0.000
C1*C2	5	0.35836	0.35836	0.07167	5.58	0.002
Error	24	0.30820	0.30820	0.01284		
Total	35	4.35429				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ สภาวะการหมักเอทานอล
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.32 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	0.325803	0.325803	0.108601	2542.85	0.000
C2	7	0.108124	0.108124	0.015446	361.67	0.000
C1*C2	21	0.058939	0.058939	0.002807	65.72	0.000
Error	64	0.002733	0.002733	0.000043		
Total	95	0.495599				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.33 วิเคราะห์ความแปรปรวนของมวลเซลล์จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	260.778	260.778	86.926	260778.12	0.000
C2	7	322.154	322.154	46.022	138065.79	0.000
C1*C2	21	72.737	72.737	3.464	10390.94	0.000
Error	64	0.021	0.021	0.000		
Total	95	655.690				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.34 วิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำตาลทั้งหมดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	13.96	13.96	4.65	13.06	0.000
C2	7	11873.99	11873.99	1696.28	4759.65	0.000
C1*C2	21	259.14	259.14	12.34	34.62	0.000
Error	64	22.81	22.81	0.36		
Total	95	12169.90				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.35 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	45.693	45.693	15.231	2794.13	0.000
C2	7	495.731	495.731	70.819	12991.79	0.000
C1*C2	21	102.762	102.762	4.893	897.70	0.000
Error	64	0.349	0.349	0.005		
Total	95	644.535				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.36 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	52.2202	52.2202	17.4067	2794.13	0.000
C2	6	9.3440	9.3440	1.5573	249.98	0.000
C1*C2	18	96.2342	96.2342	5.3463	858.19	0.000
Error	56	0.3489	0.3489	0.0062		
Total	83	158.1472				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.37 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	0.035905	0.035905	0.011968	2513.33	0.000
C2	6	0.569217	0.569217	0.094869	19922.58	0.000
C1*C2	18	0.075079	0.075079	0.004171	875.92	0.000
Error	56	0.000267	0.000267	0.000005		
Total	83	0.680467				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.38 วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยอัตราการกวน 50-200 รอบต่อนาที

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	3	0.052785	0.052785	0.017595	492.66	0.000
C2	6	0.311129	0.311129	0.051855	1451.93	0.000
C1*C2	18	0.154890	0.154890	0.008605	240.94	0.000
Error	56	0.002000	0.002000	0.000036		
Total	83	0.520804				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ อัตราการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.39 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.0035194	0.0035194	0.0017597	30.90	0.000
C2	7	0.0330653	0.0330653	0.0047236	82.95	0.000
C1*C2	14	0.0063472	0.0063472	0.0004534	7.96	0.000
Error	48	0.0027333	0.0027333	0.0000569		
Total	71	0.0456653				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.40 วิเคราะห์ความแปรปรวนของมวลเซลล์จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	266.776	266.776	133.388	578550.73	0.000
C2	7	169.851	169.851	24.264	105243.27	0.000
C1*C2	14	84.633	84.633	6.045	26220.26	0.000
Error	48	0.011	0.011	0.000		
Total	71	521.271				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.41 วิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำตาลทั้งหมดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	1671.87	1671.87	835.93	55157.00	0.000
C2	7	8442.22	8442.22	1206.03	79576.84	0.000
C1*C2	14	390.59	390.59	27.90	1840.88	0.000
Error	48	0.73	0.73	0.02		
Total	71	10505.41				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.42 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	451.634	451.634	225.817	22054.82	0.000
C2	7	1066.979	1066.979	152.426	14886.93	0.000
C1*C2	14	337.937	337.937	24.138	2357.52	0.000
Error	48	0.491	0.491	0.010		
Total	71	1857.042				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.43 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	516.153	516.153	258.076	22054.82	0.000
C2	6	303.592	303.592	50.599	4324.08	0.000
C1*C2	12	273.418	273.418	22.785	1947.16	0.000
Error	42	0.491	0.491	0.012		
Total	62	1093.654				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

ตาราง ค.44 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการผลิตเอทานอลสูงสุดจากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.170575	0.170575	0.085287	17910.33	0.000
C2	6	0.972832	0.972832	0.162139	34049.11	0.000
C1*C2	12	0.153292	0.153292	0.012774	2682.61	0.000
Error	42	0.000200	0.000200	0.000005		
Total	62	1.296898				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

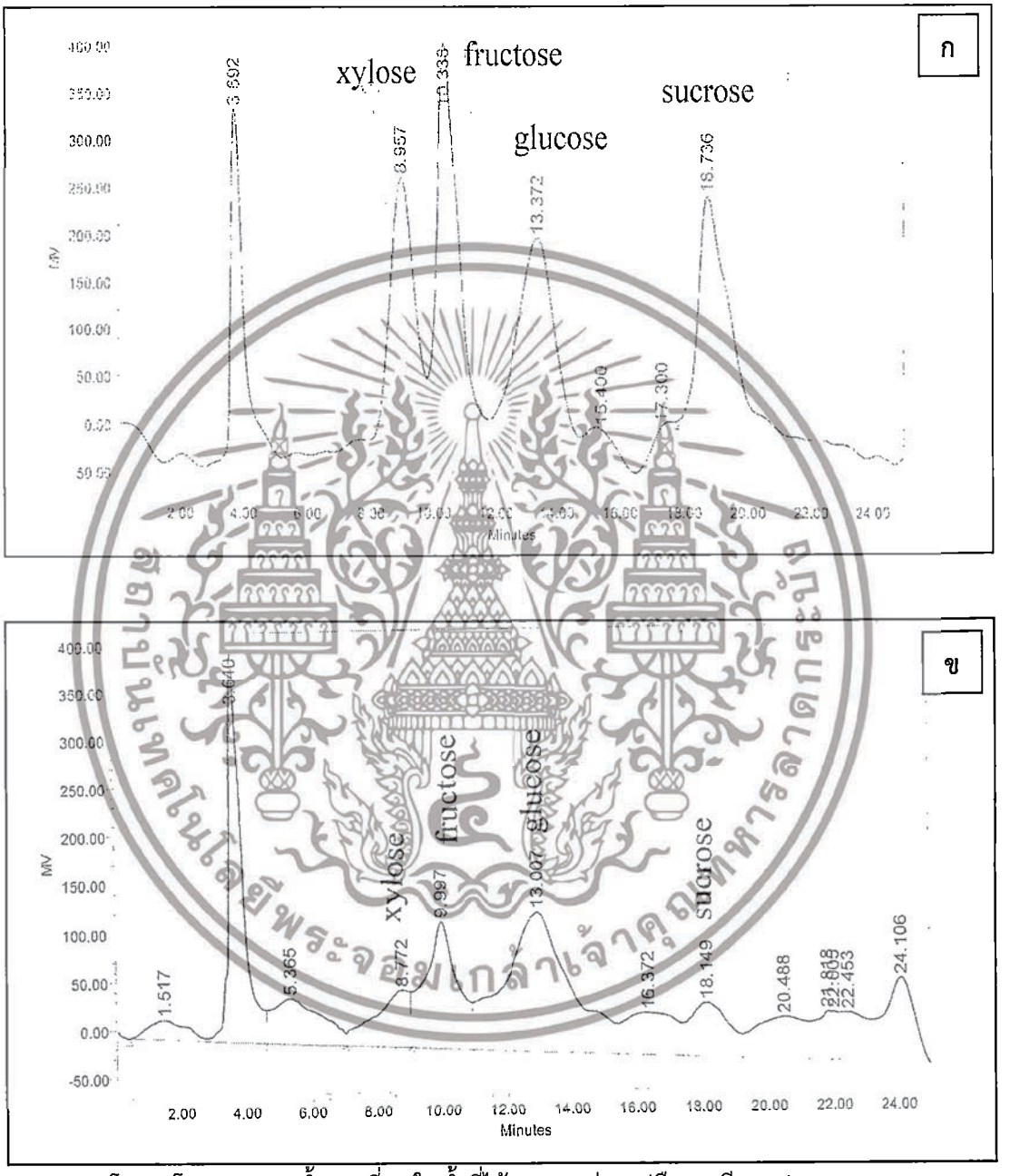
ตาราง ค.45 วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้ของเอทานอลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ใช้จากการหมักเอทานอลจากน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดในถังหมักแบบใบพัดกวนด้วยวิธีการกวนแบบต่าง ๆ

ANOVA						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	0.084689	0.084689	0.042344	2223.08	0.000
C2	6	0.577254	0.577254	0.096209	5050.97	0.000
C1*C2	12	0.144556	0.144556	0.012046	632.43	0.000
Error	42	0.000800	0.000800	0.000019		
Total	62	0.807298				

หมายเหตุ : 1) C1 คือ วิธีการกวน
2) C2 คือ ระยะเวลาการหมัก

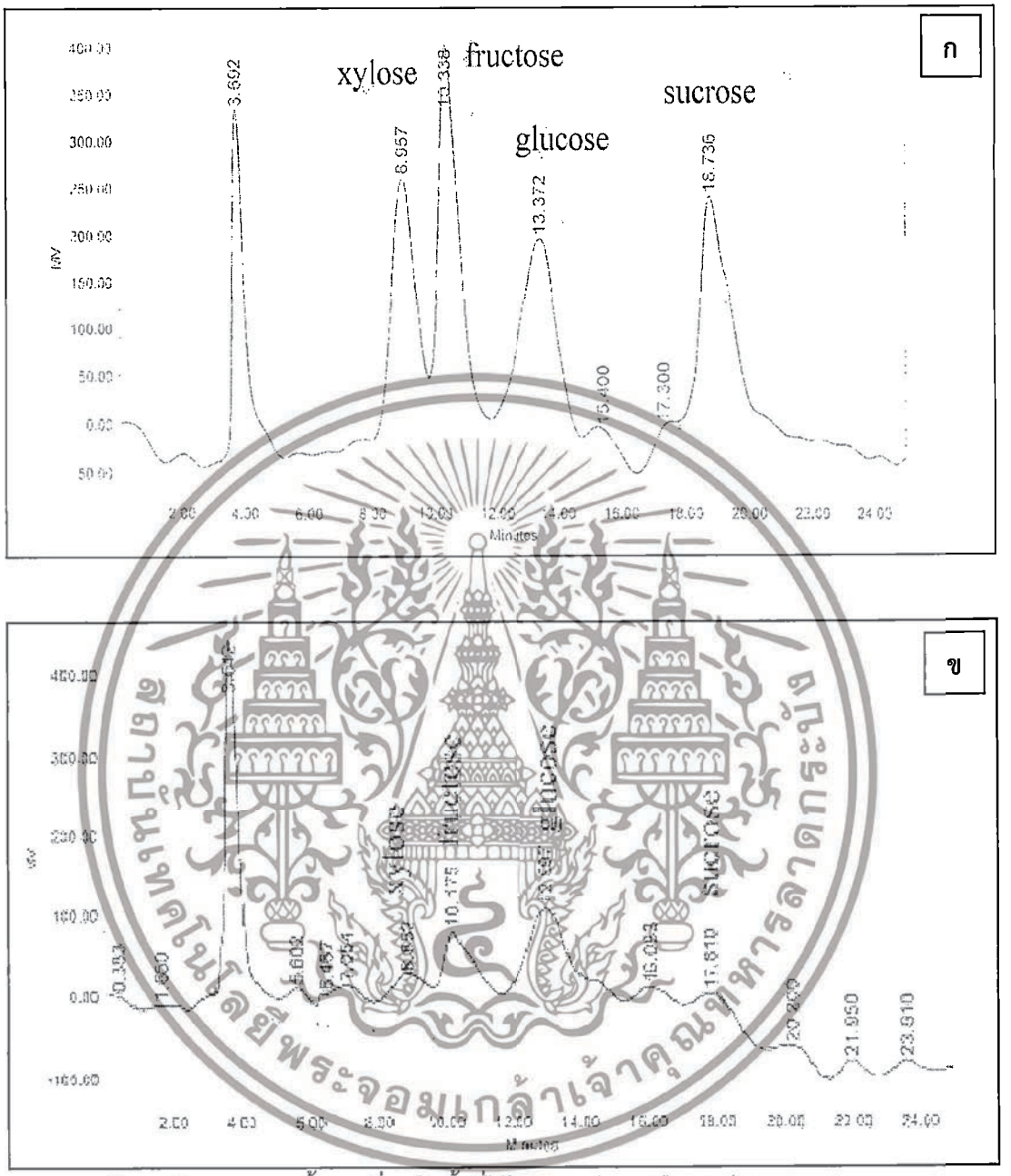
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
กราฟโครมาโทแกรม



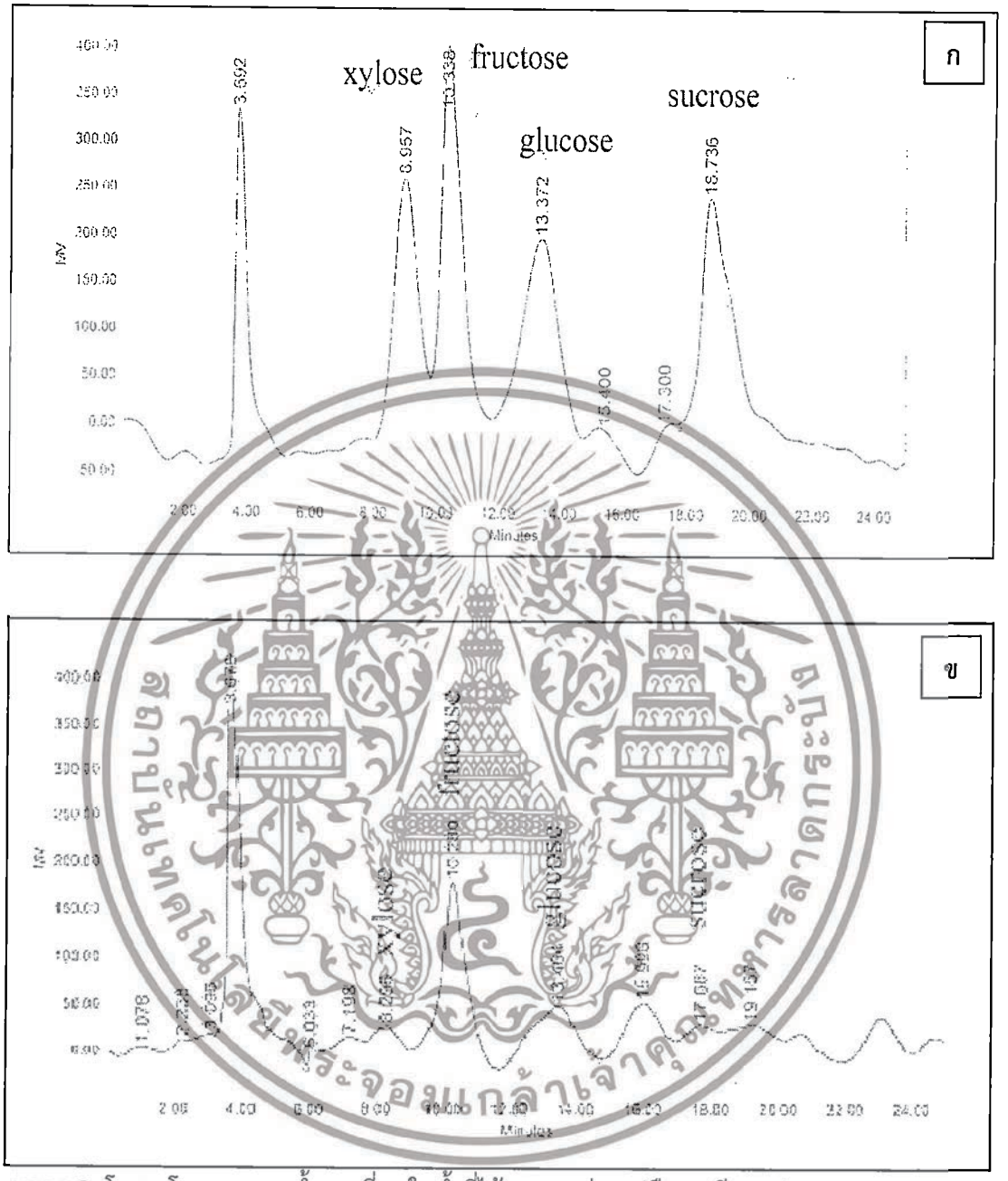
ภาพ ง.1 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



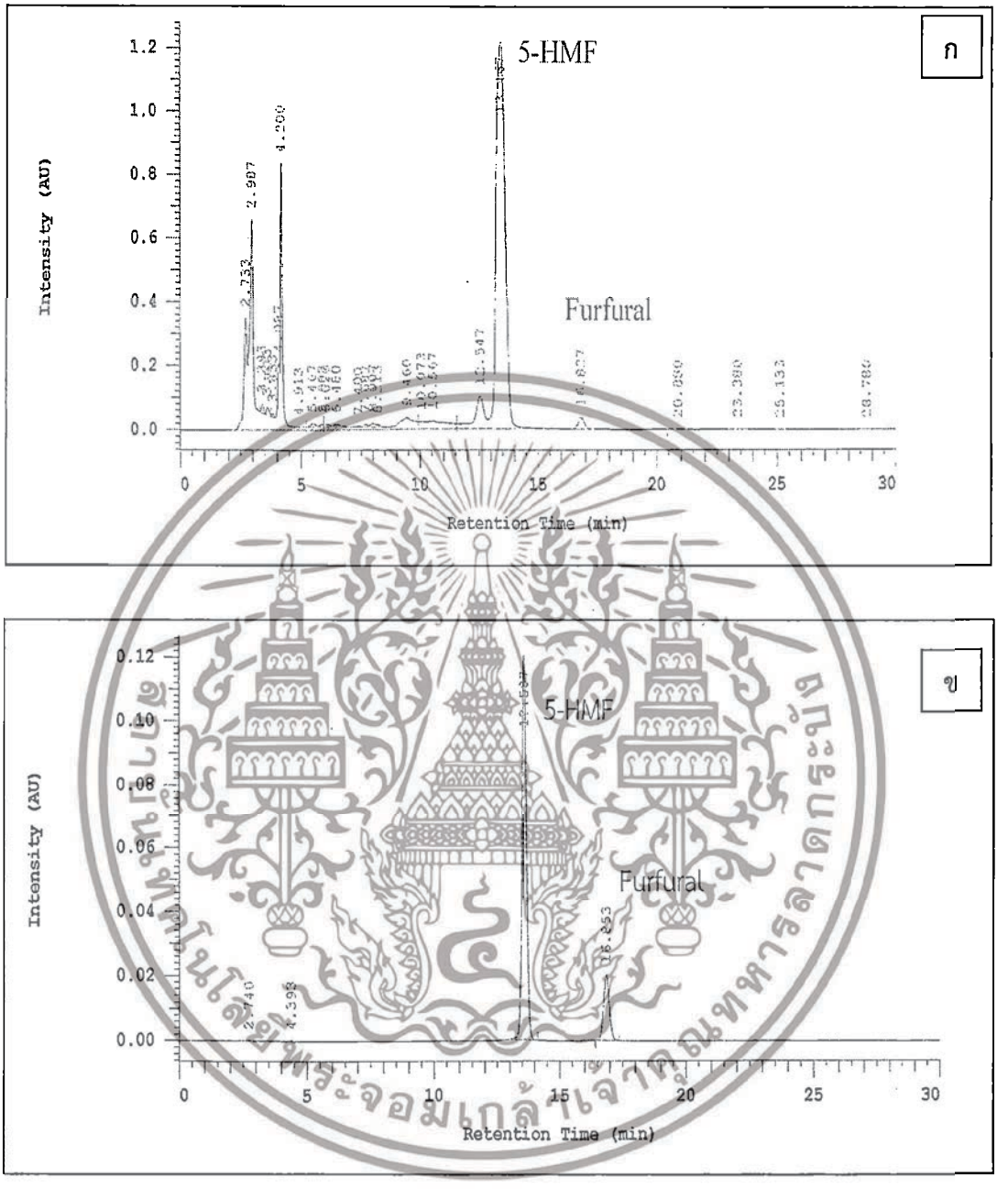
ภาพ ง.2 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



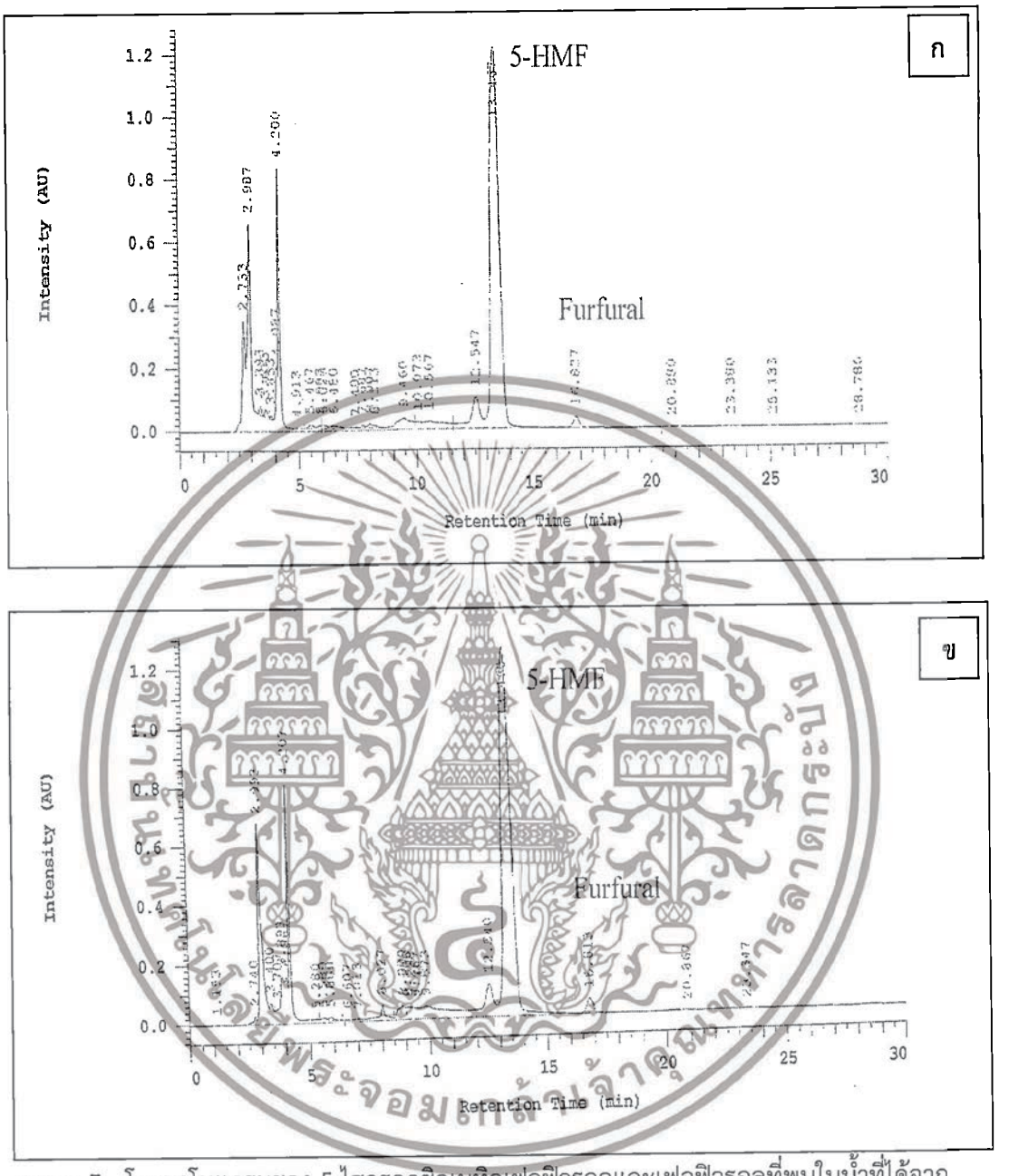
ภาพ ง.3 โครมาโทแกรมของน้ำตาลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายน้ำตาลไซโลส ฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส มาตรฐาน ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



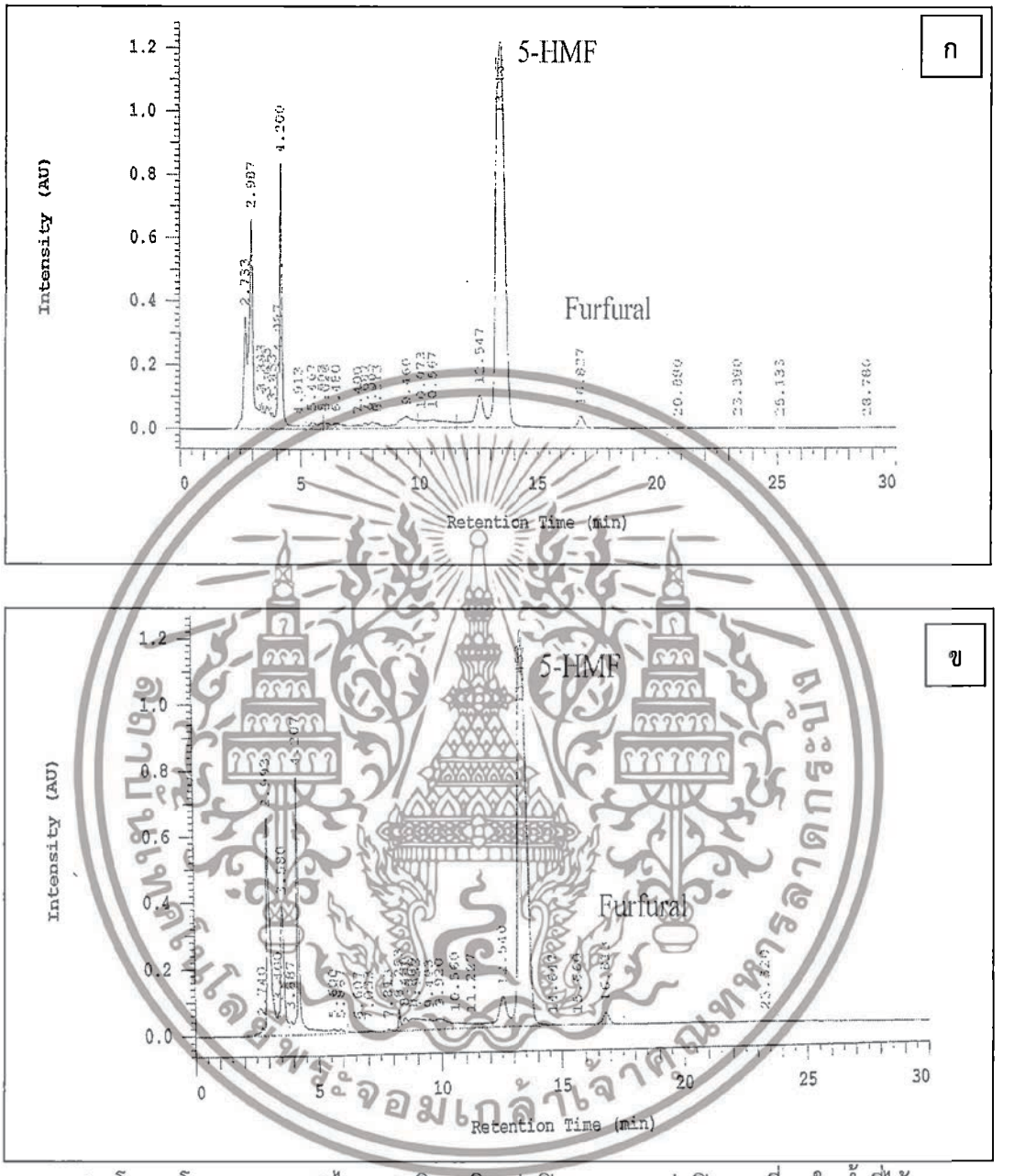
ภาพ ง.4 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ง.5 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ง.6 โครมาโทแกรมของ 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอลที่พบในน้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียน ก) สารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟิวรอลและเฟอฟิวรอล ข) น้ำที่ได้จากการย่อยเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 45 นาที พีเอช 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางมธุรา อุณหศิริกุล
วัน เดือน ปีเกิด	19 กุมภาพันธ์ 2515 ที่พิษณุโลก
ที่อยู่	41/13 หมู่ 5 ต.ท่าช้าง อ.เมือง จ. จันทบุรี 22000 โทร. 089-8334379
ประวัติการศึกษา	2538 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	2543 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) การแปรรูปอาหาร
	2) เทคโนโลยีชีวภาพ

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2539-2540	นักวิชาการผลิตภัณฑ์อาหาร กรมประมง
พ.ศ. 2543- ปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ ตำแหน่งอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
พ.ศ. 2550	1) การแปรรูปเปลือกทุเรียนเป็นกระถางชีวภาพ
	2) ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ เพื่อการวางแผนการจัดการพลังงานโดย การมีส่วนร่วมของชุมชนในเขต อ. ท่าใหม่ จ. จันทบุรี
พ.ศ. 2551	หมู่บ้านต้นแบบในการใช้พลังงานหมุนเวียนในจังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2553	การพัฒนากระถางชีวภาพให้พร้อมปลูก
พ.ศ. 2555	ผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง
พ.ศ. 2556	ผลของการเสริมเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้