

การผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากต้นข้าวโพด



นางสาววิชรา อินทุลักษณะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-293-7

009286

i 17252830

Production of Ethyl Alcohol from Corn Stalk

Miss Watchara Intuluksana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การผลิต เอทิลแอลกอฮอล์จากต้นข้าวโพด  
 โดย                              นางสาว รัชรา อินทุลักษณะ  
 ภาควิชา                        เคมีเทคนิค  
 อาจารย์ที่ปรึกษา            ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

*[Handwritten signature]*

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประติษฐ์ มุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

*[Handwritten signature]*

..... ประธานกรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
 (ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
 (อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเอทิลอัลกอฮอล์จากต้นข้าวโพด
ชื่อผลิต	นางสาววิชรา อินทุลักษณะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์
ภาควิชา	ภาควิชาเคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2526



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเอทิลอัลกอฮอล์จากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสต้นข้าวโพดบดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก โดยใช้ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ซึ่งเก็บเกี่ยวฝักเรียบร้อยแล้ว อายุ 3 เดือน งานวิจัยมี 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนพรี-ไฮโดรไลซิส เมื่อศึกษาขนาดของชิ้นมวลต้นข้าวโพดพบว่า มวลต้นข้าวโพด ที่สามารถลอดผ่านตระแกรงขนาด 10 เมช จะให้ปริมาตรน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดมากกว่าชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่สามารถลอดผ่านตระแกรงขนาด 4 และ 3 เมช คิดเป็นร้อยละ 10.6 และ 24.5 ตามลำดับ เมื่อศึกษาพรี-ไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที พบว่าเมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร): น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 10:1 ได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย 1.5% เมื่อศึกษาการทำพรี-ไฮโดรไลซิสซ้ำเป็นครั้งที่สอง ได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายเพิ่มขึ้นเป็น 2.8% โดยเพิ่มจากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งแรกคิดเป็นร้อยละ 90.6

ขั้นตอนไฮโดรไลซิส การศึกษาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 80% แยกจากต้นข้าวโพดที่ได้จากพรี-ไฮโดรไลซิส 3 ชั่วโมงแล้ว เจือจางด้วยน้ำให้เป็นสารละลายกรด 8% โดยมีอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร): น้ำหนักจากต้นข้าวโพด (กรัม) เป็น 8:1 ไฮโดรไลซิสในอ่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 20 นาที ได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย 1.4% เมื่อศึกษาที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% แยกจากต้นข้าวโพดที่ได้จากพรี-ไฮโดรไลซิส 2 ชั่วโมง จากนั้นเจือจางด้วยน้ำให้เป็นสารละลายกรด 8% โดยมีอัตราส่วน

ของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร): น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 ไฮโดรไลส์  
 ในหม้อนึ่งความดันด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 7 นาที ได้ปริมาณความเข้มข้น  
 น้ำตาลรีดิวสในสารละลาย 2.1%

ขั้นตอนการหมัก ศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ Saccharomyces cerevisiae  
var. ellipsoideus ในสารละลายน้ำตาลของต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเติม  
 $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.13%  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.01% และยีสต์สกัด 0.86% น้ำหนัก/ปริมาตร ค่าความเป็น  
 pH 4.5 เข้าขวดแก้วที่บรรจุสารอาหารซึ่งเติมเชื้อแล้วด้วยความเร็ว 240 รอบ/นาที พบว่า  
 ยีสต์จะเจริญได้ดีที่สุดในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์ ถัดไปเป็น 8 และ 12  
 องศาบริกซ์ ตามลำดับ โดยมีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์ยีสต์มากในช่วงเวลาที่ 12 - 24 ของ  
 การเขย่า ในการศึกษาการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยสารอาหารดังกล่าวข้างต้น โดยเติมเชื้อ  
 หมัก เริ่มต้นให้ได้ค่าสภาพการดูดกลืนแสง 0.1 วัดที่ 580 นาโนเมตร เขย่าขวดหมักด้วย  
 ความเร็ว 240 รอบ/นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงหยุดเขย่า ปล่อยให้การหมักดำเนินต่อไป  
 พบว่าการหมักสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์จะได้น้ำหนักที่มีเอทิลแอลกอฮอล์ 2.5%  
 โดยปริมาตรในช่วงเวลาที่ 60

Thesis Title        Production of Ethyl Alcohol from Corn Stalk  
Name                Watchara Intuluksana  
Thesis Advisor     Professor Somsak Dumronglurd, Ph.D.  
                         Assistant Professor Suttisak Suknaisilp, M.S.  
Department        Chemical Technology  
Academic Year     1984

#### ABSTRACT

This work involved the study of ethyl alcohol production from the hydrolysis of corn stalk with sulfuric acid solution. The corn stalks of "Suwan 1" which were already harvested (3 months old) were used as raw material in this experiment. The work can be divided into three stages, pre-hydrolysis, hydrolysis and fermentation as the following.

Pre-hydrolysis stage, the particle sizes of corn stalk were studied to find their effect on the yield of total reducing sugar. It was found that the total reducing sugar acquired from particle size of 10 mesh was more than that of 4 and 3 mesh by the yield of 10.6% and 24.5% respectively. Each run in this stage was performed at temperature of 100°C, about 50minutes, with sulfuric acid solution of 4.4% (wt./vol.) and the ratio of volume of sulfuric acid solution (ml) :weight of corn stalk (gm) was 10:1. The concentration of reducing sugar in the solution was about 1.5%. When the pre-hydrolysis solution was reused to extract dried corn stalk, the concentration of reducing sugar increased to 2.8%, which is about 90.6% more.

Hydrolysis stage, the corn stalk from the pre-hydrolysis stage was steeped in 80% sulfuric acid for 3 hours. After that, it was diluted

to 8% concentration and the ratio of volume of the sulfuric acid solution (ml):weight of corn stalk (gm) was 8:1. Then, the hydrolysis was taken place in an oil bath at the temperature of 100°C for 20 minutes, the concentration of the reducing sugar was 1.4%. Another experiment was performed at 121°C, the corn stalk from the pre-hydrolysis was steeped in 80% sulfuric acid solutions for 2 hours. After that, it was diluted to 8% concentration, the ratio of volume of the sulfuric acid (ml):weight of corn stalk (gm) was 6:1. And then, the solution was hydrolyzed with steam in an autoclave at the temperature of 121°C for 7 minutes. The concentration of the acquired product was 2.1%.

Fermentation stages, the growth rate of Saccharomyces cerevisiae var. ellipsoideus in the sugar solution from corn stalk was studied. The starter in a shaking flask at the speed of 240 rpm. Cultivation yeast in medium containing of  $\text{NH}_4\text{Cl}$  of 0.13%,  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.01%, Yeast extract of 0.85% (wt./vol.) was added and then adjust pH to 4.5. It was founded that the best condition for the growing yeast was taken place in the solution of concentration of 4° brix, following 8° and 12° brix respectively. The maximum growth rate of the yeast was between 12-24 hours. In the fermentation stage, the solution was adjusted the absorbance to 0.1 at 580 nanometer. The solution was shaking for 12 hours, it was found that alcohol concentration reached 2.5% at the 60<sup>th</sup> hour in 8° brix solution.

## กิติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดจนได้กรุณาขอทุนสนับสนุนการวิจัย และขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิริม์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้กรุณาให้ความสะดวกและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาก

ขอขอบพระคุณ ดร. พร รุ่งแจ้ง และเจ้าหน้าที่แห่งศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่าง แห่งชาติ ที่กรุณาให้ความเอื้อเฟื้อ และเอาใจใส่ช่วยเหลือในการเก็บต้นข้าวโพดเป็นอย่างดี ตลอดจนมา งานวิจัยครั้งนี้จะดำเนินไปด้วยความลำบากหากข้าพเจ้ามิได้รับความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธีรพิทยาภูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวรงค์สัตตศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล หัวหน้าภาควิชาเคมี และหัวหน้าภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกี่ยวกับการให้ความสะดวกในการใช้ห้องทดลองและ เครื่องมือ เป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณอย่างสูง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ น.พ.ธงไชย และ คุณไอลด์ อินทุลักษณะ คุณวิชาพงษ์ และคุณพีรเพ็ญ หาญเบญจพงศ์ คุณสมบุญ และ คุณเมียนารถ สุขผล คุณวรตัญ และคุณสิงห์ไชย อินทุลักษณะ คุณพีรนุช นานา ที่สนับสนุนทางด้านร่างกายแรงใจ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการอ่านตรวจทานการพิมพ์และจัดเรียงรูปภาพ เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายข้าพเจ้ามีความประทับใจ เป็นอย่างมากที่อาจารย์ในภาควิชาเคมีเทคนิค ตลอดจน เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามจุดมุ่งหมาย





สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
รายการตารางประกอบ.....	ญ
รายการรูปประกอบ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 โครงสร้างกายวิภาคของ เส้นใย เซลลูโลส และองค์ประกอบ ของผนัง เซล.....	4
2.2 การกระจายตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเส้นใย เซลลูโลส	9
2.3 สารประกอบ เคมีของ เนื้อเยื่อไม้และ เส้นใย เซลลูโลส.....	10
2.4 สารประกอบ เคมีของ เซมิ เซลลูโลส.....	12
2.5 ปฏิริยาไฮโดรไลซิสของ เซลลูโลสด้วยสารละลายกรด.....	20
2.6 กลไกของปฏิริยาไฮโดรไลซิสของ โพลีแซคคาไรด์ในสารละลาย กรด เจือจาง.....	23
2.7 ผลิตผลจากปฏิริยาไฮโดรไลซิสของ โพลีแซคคาไรด์ในสารละลาย กรด.....	24
2.8 จลนศาสตร์ของปฏิริยาไฮโดรไลซิสของ สารแซคคาไรด์ใน สารละลายกรด.....	26
2.8 ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในกระบวนการหมัก.....	39
2.10 กลไกในกระบวนการหมัก.....	49
3 วารสารปริทัศน์.....	52

บทที่ (ต่อ)

หน้า

4	การทดลอง .....	59
4.1	เครื่องมือ .....	59
4.2	สาร เคมีและอุปกรณ์ .....	68
4.3	วิธีการวิเคราะห์ .....	73
4.4	การเตรียมการก่อนทดลอง .....	73
4.5	วิธีการทดลอง .....	76
4.6	การทดลอง .....	82
5	ผลการทดลอง .....	88
5.1	ศึกษาตัวแปรใน ฟรี-ไฮโดรไลซิส .....	88
5.2	ศึกษาตัวแปรในไฮโดรไลซิส .....	101
5.3	ศึกษาการผลิต เอทิลแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายน้ำตาลจาก ต้นข้าวโพด .....	120
6	วิจารณ์ .....	130
6.1	การศึกษาตัวแปรในฟรี-ไฮโดรไลซิส .....	130
6.2	การศึกษาตัวแปรในไฮโดรไลซิส .....	139
6.3	การทดลองผลิต เอทิลแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายจากต้นข้าวโพด ..	146
7	สรุปผลและ เสนอแนะ .....	152
	เอกสารอ้างอิง .....	157
	ภาคผนวก .....	161
	ประวัติ .....	201

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
5-1	แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวส์ และความเข้มข้นของอนุภาคฟอสเฟตของสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดก่อนหมักที่ค่าปริมาณของแข็งรวมที่ละลายได้ทั้งหมดต่าง ๆ.....	121
6-1	แสดงความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของการพรี-ไฮโดรไลซิสต้นข้าวโพด ซึ่งมีขนาด 10, 4 และ 3 เมช.....	131
6-2	แสดงความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของการพรี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด.....	138
ง-1	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 4.0% ในการพรี-ไฮโดรไลส์ เมื่อศึกษาความเข้มข้นกรด พร้อมอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม).....	180
ง-2	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% ในการพรี-ไฮโดรไลส์ เมื่อศึกษาความเข้มข้นกรดพร้อมอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม).....	181
ง-3	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 5% ในการพรี-ไฮโดรไลส์ เมื่อศึกษาความเข้มข้นกรดพร้อมอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม).....	182
ง-4	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% ในการพรี-ไฮโดรไลส์ เมื่อศึกษาอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4.4%.....	183

ตารางที่ (ต่อ)

หน้า

ง-5	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 75% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วน ของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)	184
ง-6	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 80% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)	185
ง-7	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 85% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)	186
ง-8	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 80% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาเวลาไฮโดรไลซิส	187
ง-9	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 75% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 121 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาตรของสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)	188
ง-10	แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 80% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 121 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาตรของสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)	189

ตารางที่ (ต่อ)	หน้า
ง-11 แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อได้ใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 85% ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 121 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนัก กากต้นข้าวโพด (กรัม).....	190
ง-12 แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 80% เมื่อไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 121 องศา เซลเซียส เมื่อศึกษาเวลาไฮโดรไลซิส.....	191
ง-13 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของ <i>S. cerevisiae</i> ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มี ความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์.....	192
ง-14 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของ <i>S. cerevisiae</i> ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มี ความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์.....	193
ง-15 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของ <i>S. cerevisiae</i> ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มี ความเข้มข้น 12 องศาบริกซ์.....	194
ง-16 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์...	195
ง-17 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ใน สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์.....	196
ง-18 แสดงการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาล เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์.....	198
ง-19 แสดงการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาล เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์.....	199
ง-20 แสดงการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อไฮโดรไลสกากต้นข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 100 และ 121 องศาเซลเซียส.....	200

## รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2-1	เซลล์ที่ถูกล้อมรอบด้วยเซลล์อื่น ๆ อีก 7 เซลล์ ซึ่งแยกออกจากกัน โดยมีสารระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ที่เรียกว่า มิลเดิลลาเมลลา (middle lamella) คั่นอยู่.....	5
2-2	องค์ประกอบต่าง ๆ ของผนังเซลล์.....	7
2-3	ไมโครไฟบริลของ เซลลูโลสตามภาคตัดขวางในผนังเซลล์ชั้นที่สอง ซึ่งประกอบด้วยบริเวณเซลลูโลสที่มีรูปร่างเป็นผลึก (crystalline cellulose) ดังแสดงด้วยขีดดำที่อยู่รวมกันในบริเวณสี่เหลี่ยมและบริเวณเซลลูโลสที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous cellulose) ซึ่งล้อมรอบบริเวณแรกอยู่ แสดงด้วยขีดดำที่อยู่กระจายกันนอกบริเวณตารางสี่เหลี่ยม.....	8
2-4	การจัดจำพวกสารประกอบเคมีของเนื้อไม้.....	11
2-5	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของลูกโซ่เซลลูโลส.....	13
2-6-ก	สูตรโครงสร้างของไซโลส ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม.....	14
2-6-ข	สูตรโครงสร้างโพลีเมอร์ไซแลน ประกอบด้วยโครงสร้างหกเหลี่ยมของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะ เบต้า-ไกลโคซิดิก.....	15
2-7-ก	สูตรเคมีของกรดยูโรนิกที่เป็นส่วนประกอบของเคมีเซลลูโลส.....	17
2-7-ข	สูตรโครงสร้างกรดยูโรนิกที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 6 ตัว.....	18

รูปที่ (ต่อ)

2-7-ค	สูตรโครงสร้างหกเหลี่ยม 4-เมทิล-ดี-กลูโคยูโรนิก (4-Methyl-D-Glucouronic acid) ซึ่งมักพบในเซมิเซลล์ของพืชชนิดต่าง ๆ เป็นส่วนมาก.....	19
2-8	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสบนโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์.....	21
2-9	กลไกของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายกรด.....	25
2-10-ก	สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายตัวของ เฮกไซสในการไฮโดรไลส์ด้วย สารละลายกรดได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ .....	27
2-10-ข	สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายตัวของ เพนโตสในการไฮโดรไลส์ด้วย สารละลายกรดได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ.....	27
2-11	การสลายตัวของน้ำตาลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสในสารละลาย กรดซัลฟูริก 0.8%.....	29
2-12	การสลายตัวของกลูโคสในสารละลายกรดซัลฟูริก เจือจางที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส.....	31
2-13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราเร็ว (k) กับความเข้มข้นของ สารละลายกรดในการสลายตัวของกลูโคสที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	32
2-14	ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (k) กับอุณหภูมิในการ สลายตัวของกลูโคสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	33
2-15	ผลผลิตของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้รับจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไม้ที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส.....	36
2-16	ปริมาณเป็น เปอร์เซ็นต์ของ เซลลูโลสที่เหลือน้ำตาลที่สลายไปและน้ำตาล ริดิวส์สุทธิที่ได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไม้ ด้วย สารละลายกรดซัลฟูริก 0.8% ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	40
2-17	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ผลผลิต B ต่อเปอร์เซ็นต์ A ที่เหลือใน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาคู่เนื่องกัน $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ .....	41
2-18	ผลของอุณหภูมิต่อผลผลิตน้ำตาลในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไม้ใน สารละลายกรดซัลฟูริก 0.4%.....	42
2-19	ผลของอุณหภูมิต่อความสัมพันธ์ของสารละลายกรดในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่จะให้ผลผลิตน้ำตาลได้สูงสุด.....	43

## รูปที่ (ต่อ)

## หน้า

2-20	เปรียบเทียบการย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีอากาศและในสภาพที่มีการให้อากาศโดยยีสต์ (8) .....	50
3-1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองผลิตอัลกอฮอล์จากของเหลวไฮโดรไลซิสของ Dunning และคณะ (24).....	54
3-2	แผนภาพแสดงกรรมวิธีไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดของการทดลองของ Sitton และคณะ (25) .....	56
3-3	แผนภาพแสดงกรรมวิธีหมักสารละลายไฮโดรไลซิส ในการทดลองของ Sitton และคณะ (25) .....	57
3-4	แผนภาพแสดงกรรมวิธีและขั้นตอนในการผลิตอัลกอฮอล์ในการทดลองของ Mednick และคณะ (26) .....	58
4-1-ก	เครื่องตัดต้นข้าวโพด แสดงลักษณะภายนอกเครื่อง .....	60
4-1-ข	เครื่องตัดต้นข้าวโพด แสดงลักษณะภายในเครื่อง .....	60
4-2-ก	เครื่องบดต้นข้าวโพด แสดงลักษณะภายใน .....	61
4-2-ข	เครื่องบดต้นข้าวโพด แสดงลักษณะภายนอกเครื่อง .....	62
4-2-ค	ตะแกรงของ เครื่องบดต้นข้าวโพด ซึ่งสามารถถอดได้ .....	62
4-3	อ่างน้ำมันไข่หรือ-ไฮโดรไลซิส และไฮโดรไลซิส .....	63
4-4	หม้อนึ่งความดันไอน้ำ .....	65
4-5	เตาอบต้นข้าวโพดแบบถาด .....	66
4-6	เครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สภาพสุญญากาศ .....	67
4-7	เครื่องวัดสภาพการดูดกลืนแสง .....	67
4-8	เครื่องวัดความชื้นโดยแสงอินฟราเรด .....	69
4-9	แสดงอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ .....	70
4-10	แสดงอุปกรณ์ในการวิเคราะห์อนุพลซัลเฟต .....	70
4-11	แสดงอุปกรณ์ในการตกตะกอนซัลเฟต .....	72
4-12	แผนภาพแสดงการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทดลอง .....	75
4-13	แผนภาพแสดงขั้นตอนหรือ-ไฮโดรไลซิส .....	78
4-14	แผนภาพแสดงขั้นตอนไฮโดรไลซิส .....	79



รูปที่ (ต่อ)

หน้า

4-15	ขั้นตอนทั้งหมดในการผลิตเอทิลอัลกอฮอล์ด้วยสารละลายน้ำตาลจาก ต้นข้าวโพดที่ได้จากการไฮโดรไลส์.....	80
5-1	ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายต่อขนาดขึ้นมวลต้นข้าวโพด ในพรี-ไฮโดรไลซิส ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 11:1.....	89
5-2	ปริมาตรทั้งหมดต่อขนาดขึ้นมวลต้นข้าวโพด ในพรี-ไฮโดรไลซิสด้วย สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนัก ขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 11:1.....	90
5-3	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดต่อขนาดต้นข้าวโพดในพรี-ไฮโดรไลซิสด้วย สารละลายซัลฟูริก 4.4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวล ต้นข้าวโพด (กรัม) 11:1.....	91
5-4	ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายต่ออัตราส่วนของปริมาตร สารละลาย (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในการ พรี-ไฮโดรไลส์ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	92
5-5	แสดงปริมาตรทั้งหมดต่ออัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด ในการพรี-ไฮโดรไลส์ด้วยสารละลายกรด ซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	93
5-6	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลายต่ออัตราส่วนของปริมาตรสาร ละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในการพรี- ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	94

5-7	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลายต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในพี-ไฮโดรไลซิสที่ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4.4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	95
5-8	ปริมาตรทั้งหมดต่ออัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในพี-ไฮโดรไลซิสที่ใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	96
5-9	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลายต่ออัตราส่วนของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ในพี-ไฮโดรไลซิสที่ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที.....	97
5-10	ปริมาณความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่ผ่านพี-ไฮโดรไลซิสแต่ละครั้ง โดยเริ่มพี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4.4% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 10:1.....	98
5-11	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย (%) และปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลาย (กรัม) ที่ผ่านพี-ไฮโดรไลซิสแต่ละครั้ง โดยเริ่มพี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4.4% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 10:1.....	99
5-12	ปริมาตรสารละลายน้ำตาลทั้งหมดที่ผ่านพี-ไฮโดรไลซิสแต่ละครั้ง โดยเริ่มพี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 4.4% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 10:1...	100
5-13	ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายต่ออัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 75% 80% และ 85% เวลาที่แช่กากต้นข้าวโพด 2 ชั่วโมง ไฮโดรไลส์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที.....	102

- 5-14 ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายน้ำตาลรีดิวส์ต่ออัตราส่วนของปริมาตร  
สารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้  
สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 75% 80% และ 85% เวลาที่ใช้  
แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง ไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส  
เวลาที่ใช้ไฮโดรไลซิส 15 นาที..... 103
- 5-15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลายที่อัตราส่วนของปริมาตรสารละลาย  
กรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้สารละลาย  
กรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 75% 80% และ 85% เวลาที่แช่กากต้นข้าวโพด  
1 ชั่วโมง ไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 104
- 5-16 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย เมื่อใช้อัตราส่วนของ  
ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริก 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด  
(กรัม) 8 : 1 แช่กากต้นข้าวโพดในเวลาต่าง ๆ กัน ไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ  
100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที..... 105
- 5-17 ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายน้ำตาลรีดิวส์ เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก  
80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริก 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนัก  
กากต้นข้าวโพด (กรัม) 8 : 1 แช่กากต้นข้าวโพดในเวลาต่าง ๆ กัน  
ไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที... 106
- 5-18 ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลาย เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก  
มีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริก 8%  
(มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8 : 1 แช่กากต้นข้าวโพดใน  
เวลาต่าง ๆ กัน ไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา  
ไฮโดรไลซิส 15 นาที..... 107
- 5-19 ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย เมื่อได้สารละลายกรด  
ซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% แช่กากต้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วน  
สารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8 : 1  
ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน..... 108

5-20	ปริมาตรทั้งหมด เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% แห้ง กากต้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 ที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน.....	109
5-21	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดในสารละลาย เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้น 80% แห้งกากต้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนของ ปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด(กรัม) 8:1 ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน.....	110
5-22	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายที่อัตราส่วนของปริมาตร สารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อ ใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 75% 80% และ 85% เวลาที่ แห้งกากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา ไฮโดรไลซิส 5 นาที.....	111
5-23	ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิลิตร) ที่อัตราส่วนของ ปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 75% 80% และ 85% เวลา ที่ใช้แห้งกากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา ไฮโดรไลซิส 5 นาที.....	112
5-24	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดในสารละลายที่อัตราส่วนปริมาตรสารละลาย กรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟูริก 75% 80% และ 85% เวลาที่ใช้แห้งกากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที....	113
5-25	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายที่เวลาแห้งต้นข้าวโพด ต่าง ๆ กัน เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนปริมาตรสารละลาย 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที...	114

รูปที่		หน้า
5-26	<p>ปริมาตรทั้งหมดที่เวลาแช่ต้นข้าวโพดต่าง ๆ กัน เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรของสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที .....</p>	115
5-27	<p>ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลายที่เวลาแช่ต้นข้าวโพดต่าง ๆ กัน เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที .....</p>	116
5-28	<p>ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลาย เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 เวลาใช้กากต้นข้าวโพด 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน .....</p>	117
5-29	<p>ปริมาตรทั้งหมด เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน .....</p>	118
5-30	<p>ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดในสารละลาย เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน .....</p>	119
5-31	<p>สภาพการดูดกลืนแสงที่ 580 นาโนเมตร ในการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นสารอาหาร ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน .....</p>	122
5-32	<p>จำนวนเซลล์ที่นับได้จากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นสารอาหาร ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน .....</p>	123

รูปที่ (ต่อ)		
5-33	ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญเติบโตของยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นสารอาหาร ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	124
5-34	สภาพการดูดกลืนแสงที่ 580 นาโนเมตร ในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ของเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารในขวดหมัก ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน .....	125
5-35	จำนวนเซลล์ที่นับได้จากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง ในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ของเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์เป็นสารอาหารในขวดหมัก ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	126
5-36	ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ของเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์เป็นสารอาหารในขวดหมัก ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	127
5-37	ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ โดยเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารในขวดหมักในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	128
5-38	การเปลี่ยนแปลง เอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาล โดยเชื้อยีสต์ <u>S. cerevisiae</u> เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารในขวดหมัก ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	129
6-1	ค่าราคาน้ำตาล/ราคากรด ต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ในการฟรี-ไฮโดรไลส์ที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที .....	134

รูปที่ (ต่อ)	หน้า
6-2	ราคาน้ำตาล/ราคากรดต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลคั้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 4.4% ..... 136
6-3	ราคาน้ำตาล/ราคากรดต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากคั้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 85% 80% และ 75% เวลาที่แช่กากคั้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที ..... 140
6-4	ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อทำไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้น 80% แช่กากคั้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนสารละลาย 8% (มิลลิลิตร): น้ำหนักกากคั้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน ..... 143
6-5	ราคาน้ำตาล/ราคากรดที่อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากคั้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อให้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 75% 80% และ 85% เวลาที่ใช้แช่ข้าวโพด 1 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ ไฮโดรไลซิส 5 นาที อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ..... 145
6-6	ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 80% อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร): น้ำหนักกากคั้น ข้าวโพด (กรัม) 6:1 เวลาที่แช่กากคั้นข้าวโพด 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน ..... 147
ข-1	แผนภูมิเมตามอลิสมภายในเซลล์ยีสต์ ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่ง ให้พลังงานและคาร์บอน ..... 171
ข-2	แสดงการสลายกลูโคสเป็นไพรูเวท ..... 173
ข-3	แสดงความสัมพันธ์ของวัฏจักรเครบส์ถูกไข่หายใจ และ oxidative phosphorylation ..... 175