

ผลของตัวแปรบางตัวที่มีต่อการผลิตเอทานอลจากวัสดุการเกษตร  
โดยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง

นายคนอง ศรีนครคุตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532


ISBN 974-569-922-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15564

I 17496223

EFFECTS OF SOME PARAMETERS ON ETHANOL PRODUCTION  
FROM AGRICULTURAL PRODUCTS IN CONTINUOUS COLUMN FERMENTOR



Mr. Kanong Srinorsakutana

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement  
for the Degree of Master of Science  
Program of Biotechnology

Graduate School  
Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-922-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของตัวแปรบางตัวที่มีต่อการผลิตเอทานอลจากวัสดุการเกษตรโดย  
เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง

โดย นายคนอง ศรีนครุต  
ภาควิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

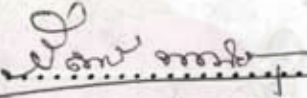
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนคุรงค์สุวรรณ

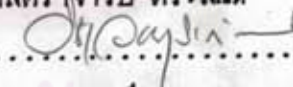
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

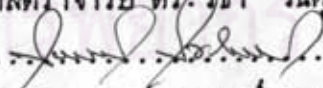
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

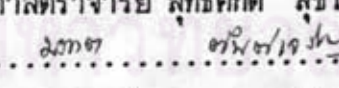
  
..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชาภัย )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.ลิ้น พันธ์กุล )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนคุรงค์สุวรรณ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.มรกต ตันติเจริญ )

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

คณอง ศรีนรคุตร : ผลของตัวแปรบางตัวที่มีต่อการผลิตเอทานอลจากวัสดุการเกษตรโดยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง (EFFECTS OF SOME PARAMETERS ON ETHANOL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL PRODUCTS IN CONTINUOUS COLUMN FERMENTOR)  
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิชา วนดุรงค์วรรณ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์,  
116 หน้า

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาต่อจากงานก่อน แต่จากงานนี้ ซึ่งได้กลับทิศทางการไหลของน้ำหมักให้ไหลเข้าตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ พบว่า ที่สภาวะสมดุลจะให้อัตราการเจือจางเหมาะสมสูงถึงเป็น  $0.18 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  และจากการศึกษาผลของการนำเซลล์สดกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก โดยเลือกวิธีคั้นน้ำหมักบางส่วนจากตอนล่างของคอลัมน์สุดท้ายกลับมาเข้าในคอลัมน์แรกซึ่งมีการให้อากาศตลอดเวลา พบว่าที่สภาวะสมดุล อัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ  $0.3250$  และอัตราการเจือจางเหมาะสม  $0.30 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  จะให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับอื่นที่ปริมาณเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ส่วนผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำอ้อยมาใช้ในกระบวนการหมัก พบว่าที่สภาวะสมดุลอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ  $0.2625$  ให้อัตราการเจือจางเหมาะสม  $0.20 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  เมื่อเทียบกับน้ำสับปะรดที่สภาวะเดียวกันให้ผลใกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ .....  
สาขาวิชา ..... เทคโนโลยีชีวภาพ .....  
ปีการศึกษา ..... 2531 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

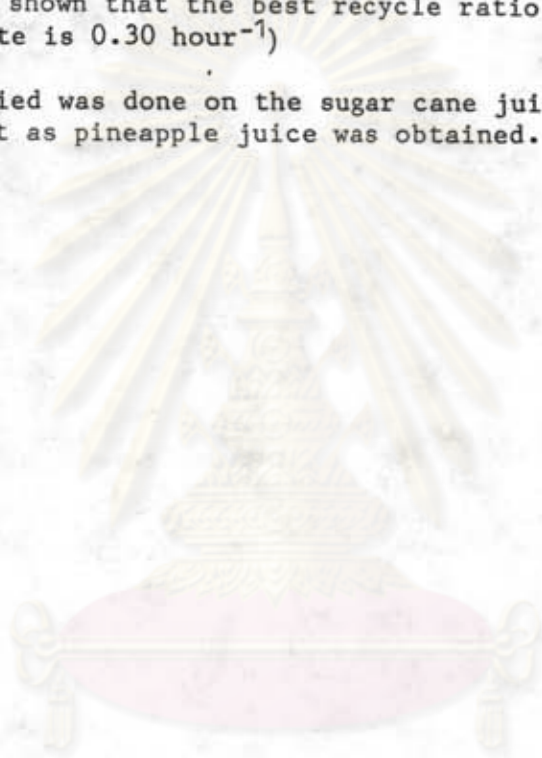
พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

KANONG SRINORAKUTARA : EFFECTS OF SOME PARAMETERS ON ETHANOL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL PRODUCTS IN CONTINUOUS COLUMN FERMENTOR. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VICHA VANADURONGWAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. SUTTISAK SUKNAISILP, 116 PP.

This studied has been done on the effect of the direction of flow in non-aerated columns. It was found that, at steady state, the flow of pineapple juice from the bottom of the column gave the better results when compared at the same fermentation condition with the previous work which flow from the top of the column.

In the studied of the various recycle ratios of the mash into the system, the results shown that the best recycle ratio is 0.3250 (that the optimum dilution rate is  $0.30 \text{ hour}^{-1}$ )

Other studied was done on the sugar cane juice and it was found that the same result as pineapple juice was obtained.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ .....  
สาขาวิชา ..... เทคโนโลยีชีวภาพ .....  
ปีการศึกษา ..... 2531 .....

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เพียรพรศ ทักตร ที่กรุณาให้ยืม peristaltic pump และอาจารย์ ดร.สุวิมล กิริติณิบลย์ ที่กรุณาให้ยืมกล้องจุลทรรศน์

ขอขอบพระคุณ สถาบันคั้นคว่าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาเชื้อเพื่อเชื้อยีสต์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ช่างเทคนิคของภาควิชาเคมีเทคนิค เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ยืมสถานที่สำหรับทำวิจัย และขอขอบพระคุณโรงงานเกียรติผ้า โรงงานมาลีสามพราน หน่วยงานวิจัยเชื้อเพลิงสวนจิตรลดา ที่กรุณาเชื้อเพื่อน้ำล้างแปรง และน้ำอ้อย ซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัย ทำให้บรรลุจุดมุ่งหมายในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
	กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
	สารบัญตาราง .....	ช
	สารบัญรูป .....	ญ
	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ .....	ณ
บทที่		
1	บทนำ .....	1
2	วารสารปริทัศน์ .....	4
	2.1 ชนิดของจุลินทรีย์ .....	4
	2.2 จุลินทรีย์ที่สำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรม .....	5
	2.3 โภชนาการของจุลินทรีย์ .....	10
	2.3.1 แหล่งพลังงาน .....	10
	2.3.2 แหล่งคาร์บอน .....	10
	2.3.3 แหล่งไนโตรเจน .....	11
	2.3.4 แหล่งเกลือแร่ .....	11
	2.3.5 แหล่งอาหารเสริม .....	12
	2.4 วัตถุดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหารสำหรับจุลินทรีย์ .....	12
	2.4.1 กากน้ำตาล .....	13
	2.4.2 มันสำปะหลัง .....	13
	2.4.3 น้ำอ้อย .....	14
	2.4.4 น้ำสับปะรด .....	14
	2.4.5 แหล่งอาหารเสริมและวิตามิน .....	15
	2.5 กระบวนการหมักด้วยระบบต่อเนื่อง .....	23
	2.6 ทฤษฎีของกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง .....	25
	2.7 การเปรียบเทียบความสามารถของการหมัก .....	30

สารบัญ(ต่อ)

2.8	การเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตระหว่างการผลิตหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมัก กึ่งต่อเนื่อง .....	33
2.9	การจัดจำแนกระบบกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง .....	35
2.10	ชนิดของเครื่องหมักในระบบต่อเนื่อง .....	38
2.11	การนำเซลล์กลับมาจากถังใหม่ .....	39
3	อุปกรณ์และการทดลอง .....	41
3.1	อุปกรณ์ .....	41
3.1.1	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์ .....	41
3.1.2	คอลัมน์สำหรับหมัก .....	41
3.2	การเตรียมการหมัก .....	43
3.2.1	ยีสต์ .....	43
3.2.2	น้ำล้นประด .....	43
3.2.3	เครื่องหมัก .....	43
3.3.4	เชื้อหมักเริ่มต้น .....	43
3.3	วิธีการทดลอง .....	44
3.3.1	ศึกษาเปรียบเทียบผลของทิศทางการไหลของน้ำหมักในคอลัมน์ที่ไม่มีการให้ ให้อากาศ .....	44
3.3.2	ศึกษาผลการนำเซลล์จากผลผลิตกลับมาใช้ในระบบการหมักแบบต่อ เนื่อง .....	45
3.3.3	ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุทางการเกษตรอื่นมาใช้ในการระบบ การหมักแบบต่อเนื่อง .....	46
3.4	วิธีวิเคราะห์ .....	46
3.4.1	ความเข้มข้นของเซลล์ .....	46
3.4.2	สภาพความเป็นกรด-ด่าง .....	46
3.4.3	ปริมาณน้ำตาลในน้ำล้นประดและน้ำหมัก .....	46
3.4.4	ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก .....	46
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ .....	50
4.1	ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของทิศทางการไหลของน้ำหมักในคอลัมน์ที่ไม่มีการให้ อากาศที่มีต่อการผลิตเอทานอลในเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง ...	50
4.2	ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของการนำเซลล์จากผลผลิตกลับมาใช้ในระบบการ	



สารบัญ (ต่อ)

4.3	ผลของการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุการเกษตรอื่น ๆ มาใช้ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลโดยใช้เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง . 71
4.4	การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ จำนวนเซลล์ และความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล ในการหมักเพื่อผลิตเอทานอลโดยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุล ..... 75
5	สรุปและข้อเสนอนแนะ ..... 86
	เอกสารอ้างอิง ..... 89
	ภาคผนวก ..... 92
	ประวัติผู้เขียน ..... 116

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนประกอบทางเคมี จำนวนประชากร และน้ำหนักแห้งจูลินทรีรี่ 4 ชนิด (โดยเฉลี่ย) .....	4
2.2	Composition of sugar cane and of juice solid .....	16
2.3	Concentration of mineral constituents .....	17
2.4	Concentrations of certain mineral constituents in raw and clarified juice solid (Louisiana) .....	17
2.5	Concentrations of organic acids in raw juice solids (Louisiana) .....	18
2.6	Concentrations and composition of protein in raw juice solids (Louisiana) .....	18
2.7	ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำสับปะรดแช่แข็ง และน้ำสับปะรดในเมืองไทยโดยเฉลี่ย (คิดเป็นร้อยละ) .....	19
2.8	ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในน้ำสับปะรดแช่แข็งและน้ำสับปะรดในเมืองไทยโดยเฉลี่ย .....	20
2.9	สารอาหารเสริมบางอย่างที่จำเป็นสำหรับโภชนาการของจูลินทรีรี่และวัตถุดิบที่อาจนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารเสริม .....	21
2.10	วัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรมการหมัก..	22
2.11	ตัวอย่างของจูลินทรีรี่ที่ใช้ในการหมักด้วยระบบต่อเนื่อง .....	24
2.12	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารเคมีที่ผลิตได้ด้วยการหมักระบบต่อเนื่อง .....	25
2.13	การเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง ....	33
2.14	การเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ..	34
ภาคผนวก		
ค-1	การใช้ประโยชน์ของเอทานอล .....	105
ค-2ก	อ้อยโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เป็นรายภาค ปีเพาะปลูก 2526/27-2529/30 .....	106
ค-2ข	อ้อยโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่เป็นรายเขตเกษตรเศรษฐกิจและรายจังหวัด ปีเพาะปลูก 2526/27-2529/30 .....	106/1

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-3	สัมประระค: เนื้อที่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคามูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เป็นตรกรขาย ได้ พ.ศ. 2520-2529 .....107
ค-4	อัตราการผลิตเอทานอลต่อชั่วโมงในกระบวนกรหมักแบบไม่ต่อเนื่อง ทั้งต่อเนื่อง และ ต่อเนื่อง .....108
ค-5	การเปรียบเทียบอัตราการผลิตเอทานอลในระบบกรหมักไม่ต่อเนื่อง กับระบบกร หมักทั้งต่อเนื่องและต่อเนื่อง .....109
ค-6	เปรียบเทียบผลผลิต (productivity) ของการผลิตเอทานอลในกระบวนกรหมัก แบบต่อเนื่อง .....110 Percentages by volume at 15.56°C (60°F) of ethyl alcohol corresponding to apparent specific gravity at various temperature .....112


  
 ศูนย์วิทยพักร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปร่าง <i>S. cerevisiae</i> , CBS, 1395 และ <i>S. cerevisiae</i> , CBS, 1171 ภายหลังจากเลี้ยงใน malt extract 3 วัน ..... 8
2.2	เปรียบเทียบการย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีอากาศและในสภาพที่มีการให้อากาศโดยยีสต์ ..... 9
2.3	แผนภูมิแสดงการหมักด้วยระบบต่อเนื่องที่ใช้จำนวนถังหมัก $n$ ถัง ..... 26
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหมักเซลกับเวลาที่ใช้ในการหมักไม่ต่อเนื่อง ..... 30
2.5	การเปรียบเทียบการหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง ..... 32
2.6	การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบเปิด ..... 36
2.7	การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบปิด ..... 37
2.8	เครื่องหมักระบบขึ้นบันได หรือระบบไหลล้น ..... 38
2.9	เครื่องหมักระบบหอสูง ..... 39
3.1	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์ ..... 42
3.2	ส่วนต่างๆของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ที่มีการให้อากาศ ..... 47
3.3ก	ทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนบนในคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 48
3.3ข	ทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนล่างในคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 48
3.3ค	ทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนล่างในคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ พร้อมทั้งมี การป้อนย้อนกลับของน้ำหมัก ..... 49
4.1ก	ปริมาณการผลิตเอทานอลกับเวลา ด้วยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำสับปะรดเป็นสารอาหาร ทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าตอนบนของคอลัมน์ที่ไม่มี การให้อากาศ ..... 52
4.1ข	จำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้กับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้น้ำสับปะรดเป็นสารอาหาร ทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าตอนบนของคอลัมน์ ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 53
4.1ค	ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักแบบ คอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้น้ำสับปะรดเป็นสารอาหาร ทิศทางการไหลของน้ำหมัก เข้าตอนบนของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 54



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5ข	จำนวนเซลยีสต์ที่นับได้กับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประตเป็นสารอาหาร น้ำหมักไหลเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.3250 ..... 69
4.5ค	ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประตเป็นสารอาหาร น้ำหมักไหลเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.3250 ..... 70
4.6ก	ปริมาณการผลิตเอทานอลกับเวลา ด้วยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำอ้อยเป็นสารอาหาร น้ำหมักไหลเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.2625 ..... 72
4.6ข	จำนวนเซลยีสต์ที่นับได้กับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำอ้อยเป็นสารอาหาร น้ำหมักไหลเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.2625 ..... 73
4.6ค	ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในแต่ละคอลัมน์ของเครื่องหมักคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำอ้อยเป็นสารอาหาร น้ำหมักไหลเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.2625 ..... 74
4.7ก	เปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประต ระหว่างทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนบนกับเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 76
4.7ข	เปรียบเทียบความเข้มข้นของเซลยีสต์ ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประต ระหว่างทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนบนกับเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 77
4.7ค	เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาล ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประต ระหว่างทิศทางการไหลของน้ำหมักเข้าทางตอนบนกับเข้าทางตอนล่างของคอลัมน์ที่ไม่มีการให้อากาศ ..... 78
4.8ก	เปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประต และมี การนำเซลยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก ..... 80
4.8ข	เปรียบเทียบความเข้มข้นของเซลยีสต์ ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้างประต และมี การนำเซลยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก ..... 81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8ค	เปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำตาล ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำล้นปะรด และ มีการนำ เซลล์ยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก ..... 82
4.8ก	เปรียบเทียบปริมาณเอทานอลในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ วัตถุดิบระหว่าง น้ำล้นปะรด กับน้ำอ้อย และมีการนำ เซลล์ยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก ..... 84
4.8ข	เปรียบเทียบความเข้มข้นของเซลล์ยีสต์ ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ วัตถุดิบระหว่าง น้ำล้นปะรดกับน้ำอ้อยและมีการนำ เซลล์ยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก. 85
4.8ค	เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาล ในการหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ วัตถุดิบระหว่าง น้ำล้น ปะรดกับน้ำอ้อย และมีการนำ เซลล์ยีสต์จากผลผลิตกลับมาใช้ในกระบวนการหมัก .. 86
ก-1	แสดงลักษณะ Hemacytometer ด้านหน้าและภาพตัด ..... 94
ก-2	รูปขยายตารางจาก Hemacytometer และแสดงกวางนับจุลินทรีย์ที่อยู่คาบเส้น ... 95
ข-1	แผนภูมิเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ..... 97
ข-2	แสดงการสลายกลูโคสไปเป็นไพรูเวท ..... 99
ข-3	แสดงความสัมพันธ์ของวัฏจักร เครบส์ลูกโซ่หายใจ Oxidative phosphorylation ..... 102
ค-1	กลไกการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสโดยยีสต์ ..... 103
ค-2	การแปรรูปผลล้นปะรดเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ..... 111

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

- D = อัตราการเจือจาง, ชั่วโมง
- D<sub>m</sub> = อัตราการเจือจางสูงสุด (maximum dilution rate), ชั่วโมง<sup>-1</sup>
- F = อัตราการไหลของน้ำหมักผ่านเข้าสู่ถังหมักแต่ละใบ, ลิตรต่อชั่วโมง
- G = อัตราส่วนของผลผลิตของการหมักแบบต่อเนื่องหรือกึ่งต่อเนื่องเทียบกับแบบไม่ต่อเนื่อง
- K<sub>s</sub> = ค่าคงที่ (saturated constant)
- P = ความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์, กรัมต่อลิตร
- r = อัตราส่วนของมวลสารหมุนเวียน (fraction of the mass recycle)
- S = ความเข้มข้นสารอาหารหลัก, กรัมต่อลิตร
- t<sub>1</sub> = เวลาที่ใช้ในการเตรียมระหว่างที่จะทำการหมักต่อไป, ชั่วโมง
- t<sub>2</sub> = เวลาที่ใช้ในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม, ชั่วโมง
- t<sub>d</sub> = เวลาที่ทำให้ความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า, ชั่วโมง
- t<sub>m</sub> = เวลาที่ใช้ในช่วง exponential phase, ชั่วโมง
- t<sub>o</sub> = harvest period, ชั่วโมง
- V = ปริมาตรของน้ำหมักในถังหมัก, ลิตร
- VVM = ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
- w/v = น้ำหนักต่อปริมาตร
- X = ความเข้มข้นของเซลล์, เซลล์ต่อมิลลิลิตร
- Y<sub>x/s</sub> = ปริมาณการเจริญเติบโต (yield of growth), กรัมต่อกรัมเซลล์
- τ<sub>batch</sub> = อัตราการเกิดเซลล์ในการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- τ<sub>cont</sub> = อัตราการเกิดเซลล์ในการหมักแบบต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- τ<sub>semi</sub> = อัตราการเกิดเซลล์ในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- μ = อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะของเซลล์
- μ<sub>max</sub> = อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของสารอาหารไม่มีขอบเขตจำกัด