

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตขอลงจากน้ำสับประค
โดยวิธีการนำเซลล์สดกลับมาใช้ใน เครื่องหมักชนิดคอกสัมนต์ต่อ เนื่อง



นางสาวศิริรัตน์ วงษ์วันทิพย์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-627-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018117

i17222618

IMPROVEMENT OF ALCOHOL PRODUCTION FROM PINEAPPLE JUICE
BY RECYCLING YEAST CELLS IN CONTINUOUS COLUMN FERMENTER



Miss. Sirirat Wongwantanee

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-627-2

ศิริรัตน์ วงษ์วันทนี : การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำสับประรด
โดยวิธีการนำเซลล์กลับมาใช้ในเครื่องหมักชนิดคอลัมน์ต่อเนื่อง (IMPROVEMENT OF
ALCOHOL PRODUCTION FROM PINEAPPLE JUICE BY RECYCLING YEAST CELLS IN
CONTINUOUS COLUMN FERMENTER) อ.ที่ปรึกษา:ดร.สุเมธ ชวเดช, อ.ที่ปรึกษาร่วม :
รศ.ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ, ผศ.สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ .170หน้า. ISBN 974-581-627-2

ระบบหมักแอลกอฮอล์ในทดลองนี้ ประกอบด้วยคอลัมน์ให้อากาศ 1 คอลัมน์ และคอลัมน์ไม่ให้อากาศ 8 คอลัมน์ต่ออนุกรมกัน โดยใช้ น้ำสับประรดเป็นวัตถุดิบและถูกป้อนเข้าระบบหมักแบบต่อเนื่อง วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมักแอลกอฮอล์โดยการนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่จากผลการทดลองพบว่า การนำน้ำหมักป้อนย้อนกลับสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแอลกอฮอล์อย่างเห็นได้ชัด โดยการนำน้ำหมักจากคอลัมน์ 5 ป้อนย้อนกลับให้ผลดีที่สุด คือให้ค่าอัตราเจือจางสูงสุดและประสิทธิภาพการผลิตเอธานอลสูงสุด ความสามารถเซลล์ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอธานอลมีค่าสูงสุดในคอลัมน์ถัดไปตามลำดับ การเพิ่มอัตราเติมอากาศสามารถกระตุ้นเซลล์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ สำหรับการทดลองการป้อนย้อนกลับน้ำหมักจากคอลัมน์ 5 ที่อัตราส่วนป้อนย้อนกลับ 0.5 ระบบหมักสามารถรับอัตราเจือจางสูงสุด $0.0330 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ มีอัตราให้อากาศเหมาะสม 0.12 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ระบบสามารถผลิตเอธานอลได้ 11% และมีประสิทธิภาพการผลิตเอธานอล 3.72 กรัม/ลิตร-ชั่วโมง และ 0.91 กรัมเอธานอล/กรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ไป

ภาควิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....
ปีการศึกษา.....2534.....

ลายมือชื่อผู้คิด.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##C226093 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : ALCOHOL / CONTINUOUS / RECYCLING YEAST CELLS

SIRIRAT WONGWANTANEE : IMPROVEMENT OF ALCOHOL PRODUCTION FROM PINEAPPLE JUICE BY RECYCLING YEAST CELLS IN CONTINUOUS COLUMN FERMENTER

THESIS ADVISOR : SUMEATH CHAVADEATH, PH.D., ASSO. PROF. VICHA VANADURONGWAN, PH.D., ASSIST. PROF. SUTTISAK SUKNAISILP 170 pp.

ISBN 974-581-627-2

In this study, the fermentation system consisted of one aerobic column and 8 anaerobic columns connected in series. Pineapple juice was used as raw material and fed into the studied fermenter continuously. The purpose of the study was to improve the efficiency of alcohol production by recycling yeast cells. The experimental results revealed that recycling of yeast cells could increase the ethanol production efficiency significantly. Recycling of the 5th column overflow provided the best results in term of dilution rate and alcohol yield. The yeast activity in converting sugar into ethanol from the first ethanol column was the highest value of the yeast activity in converting sugar into ethanol was form the first column and the activity decreased along the column number. An increase of the aeration rate resulted in increasing the yeast activities substantially. For the recycle of the 5th column overflow and the recycle ratio of 0.5, the system had the highest dilution rate of 0.0330 h⁻¹ and the optimum aeration rate of 0.12 volume of air/volume of wort/ time. The system could produce 11% ethanol and had the productivity of 3.72 g/l.h and the ethanol yield of 0.91 g ethanol/g sugar utilized.



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ปีการศึกษา 2534

.....
.....
.....
.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.สุเมธ
ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. วิชา วามรุงค์วารณ
ซึ่งท่านกรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทาง ตลอดจนการดูแลงานวิจัยมาด้วยดีตลอด
จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขานภิลย์ และ
ดร. ชิตพงษ์ ประดิษฐ์สุวรรณ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์
แก่งานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนวิจัยแก่งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณฉัณพาวดี ศรีสังจะ เลิศวาจา ที่ให้คำแนะนำและ เทคนิคต่างๆ
ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ช่างเทคนิคของภาควิชาเคมีเทคนิค เคมีอนินทรีย์ และห้อง
ภาควิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา
รวมทั้งโรงงานสับประรดไทย ที่กรุณาเก็บเพื่อนำสับประรดซึ่งนำมาใช้ เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบทาง เคมีของน้ำส้มประดเข้มแข็งและส้มประดปน ใน เมืองไทย.....	9
2.2	ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในน้ำส้มประดเข้มแข็งและส้มประดปน ใน เมืองไทยโดยเฉลี่ย.....	10
2.3	ส่วนประกอบทาง เคมีของน้ำหมักแห้งและจำนวนประชากร ของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ.....	14
2.4	สารอินทรีย์ที่สำคัญในจุลินทรีย์ 3 ชนิด.....	15
2.5	การ เปรียบเทียบผลผลิตในการหมักไม่ต่อ เนื่องกับการหมัก แบบต่อ เนื่อง.....	46
2.6	การ เปรียบเทียบผลผลิตในการหมักไม่ต่อ เนื่องกับการหมัก กึ่งต่อ เนื่อง.....	47
ข.1	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับ เวลา (จากกราฟ 4.1).....	127
ข.2	แสดงจำนวน เซลยีสต์กับ เวลา (จากกราฟ 4.2).....	128
ข.3	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับ เวลา (จากกราฟ 4.3).....	129
ข.4	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.1-4.3)....	130
ข.5	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับ เวลา (จากกราฟ 4.4).....	131
ข.6	แสดงจำนวน เซลยีสต์กับ เวลา (จากกราฟ 4.5).....	132
ข.7	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับ เวลา (จากกราฟ 4.6).....	133
ข.8	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับ เวลา (จากกราฟ 4.7).....	134
ข.9	แสดงจำนวน เซลยีสต์กับ เวลา (จากกราฟ 4.8).....	135
ข.10	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับ เวลา (จากกราฟ 4.9).....	136
ข.11	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.7-4.9)....	137
ข.12	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับ เวลา (จากกราฟ 4.10).....	138
ข.13	แสดงจำนวน เซลยีสต์กับ เวลา (จากกราฟ 4.11).....	139
ข.14	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับ เวลา (จากกราฟ 4.12).....	140

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.15	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.10-4.12)..	141
ข.16	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.13).....	142
ข.17	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.14).....	143
ข.18	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.15).....	144
ข.19	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.13-4.15)..	145
ข.20	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.16).....	146
ข.21	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.17).....	147
ข.22	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.18).....	148
ข.23	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.16-4.18)..	149
ข.24	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.19).....	150
ข.25	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.20).....	151
ข.26	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.21).....	152
ข.27	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.19-4.21)..	153
ข.28	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.22).....	154
ข.29	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.23).....	155
ข.30	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.24).....	156
ข.31	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.22-4.24)..	157
ข.32	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.25).....	158
ข.33	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.26).....	159
ข.34	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.27).....	160
ข.35	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.25-4.27)..	161
ข.36	แสดงปริมาณอัลกอฮอล์กับเวลา (จากกราฟ 4.28).....	162
ข.37	แสดงจำนวนเซลล์สดกับเวลา (จากกราฟ 4.29).....	163
ข.38	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.30).....	164

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.39	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 1.28-4.30)...	165
ข.40	แสดงปริมาณอัลกอซอลกับเวลา (จากกราฟ 4.31).....	166
ข.41	แสดงจำนวนเซลล์กับเวลา (จากกราฟ 4.32).....	167
ข.42	แสดงน้ำตาลที่เหลือกับเวลา (จากกราฟ 4.33).....	168
ข.43	แสดงกำลังผลิตกับประสิทธิภาพ (จากกราฟ 4.31-4.33)...	169

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการ Embden-Meyerhof-Parnas Pathways.....	13
2.2	แสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	20
2.3	แผนภาพแบบง่ายของการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง.....	27
2.4	การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบเปิด.....	30
2.5	การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบปิด.....	31
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหมักเซลล์กับเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง.....	43
2.7	การเปรียบเทียบการหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมักต่อเนื่อง.....	45
3.1	แผนผังเครื่องหมักและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการผลิตอัลกอฮอล์จาก น้ำสับปะรดแบบต่อเนื่อง.....	51
3.2	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์.....	52
3.3	คอลัมน์น้ำให้อากาศ.....	53
3.4	คอลัมน์ไม่ให้อากาศ.....	54
3.5	ระบบการนำเซลล์สดกลับมาใช้.....	55
4.1	แสดงปริมาณการผลิตอัลกอฮอล์กับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้น ลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสาร อาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง.....	63
4.2	แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิด ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้น ลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสาร อาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง.....	64
4.3	แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในกระบวนการ หมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมง แรก จากนั้นลดเหลือ 0.04-0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อย สารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง.....	65



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.4 แสดงปริมาณการผลิตอัลกอฮอล์กับ เวลาในการ เปรียบ เที่ยบความสามารถ
ของ เซลยีสต์จากการ เปลี่ยนน้ำสับประดาให้เป็นอัลกอฮอล์ ทดลองในขวด
เขย่าซึ่งมีปริมาตรน้ำหมัก 500 มิลลิลิตร.....69
- 4.5 แสดงจำนวน เซลยีสต์ที่นับได้กับ เวลาในการ เปรียบ เที่ยบความสามารถ
ของ เซลยีสต์จากการ เปลี่ยนน้ำสับประดาให้เป็นอัลกอฮอล์ ทดลองในขวด
เขย่าซึ่งมีปริมาตรน้ำหมัก 500 มิลลิลิตร.....70
- 4.6 แสดงความ เข้มข้นของน้ำตาลที่ เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในการ เปรียบ
เทียบความสามารถของ เซลยีสต์จากการ เปลี่ยนน้ำสับประดาให้เป็น
อัลกอฮอล์ ทดลองในขวด เขย่าซึ่งมีปริมาตรน้ำหมัก 500 มิลลิลิตร....71
- 4.7 แสดงปริมาณการผลิตอัลกอฮอล์กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์นิ
ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลด
เหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อ
เวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลยีสต์ทางด้านล่างคอสม์นิที่ 5
ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91-280.....73
- 4.8 แสดงจำนวน เซลยีสต์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์นิชนิด
ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ
0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลา
ผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลยีสต์ทางด้านล่างคอสม์นิที่ 5
ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91-280.....74
- 4.9 แสดงความ เข้มข้นของน้ำตาลที่ เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการ
หมักแบบคอสม์นิชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมง
แรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ทำให้ตลอดการทดลอง
เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลยีสต์
ทางด้านล่างของคอสม์นิที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3
ในชั่วโมงที่ 91 -280.....75

สารนิพนธ์รูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.10 แสดงปริมาณอัลกอฮอล์ที่ผลิตกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอกซ์ชนิด
ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลด
เหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อ
เวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์สดทางด้านล่างของคอกซ์ที่ 6
ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....77
- 4.11 แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอกซ์ชนิด
ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ
0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อ
เวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์สดทางด้านล่างของคอกซ์
ที่ 6 ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91-28.....78
- 4.12 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการ
หมักแบบคอกซ์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมง
แรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อย
สารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์สดทางด้าน
ล่างของคอกซ์ที่ 6 ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่
91 - 280.....79
- 4.13 แสดงปริมาณอัลกอฮอล์ที่ผลิตกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอกซ์
ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลด
เหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร
เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์สดทางด้านล่างของคอกซ์
ที่ 7 ด้วยอัตราส่วนการบ้อนย้อนกลับ 0.3ในชั่วโมงที่ 91 - 280....81
- 4.14 แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอกซ์
ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้น
ลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อย

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

สารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ 7 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....82

4.15 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ 7 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.3 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....83

4.16 แสดงปริมาณอัลกอฮอล์ที่ผลิตกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....85

4.17 แสดงจำนวนเซลล์ยีสต์ที่มีภายใต้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....86

4.18 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.19 แสดงปริมาณอัลกอซอลที่ผลิตกับ เวลา ในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิด ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลด เหลือ 0.04-0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อ เวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์ลงด้านล่างของคอลัมน์ที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการปั่นแยกกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 28089

4.20 แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิด ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลด เหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมงทำการดึง เซลล์ที่ทาง ต่ มล่างของคอลัมน์ ที่ 6 ด้วยอัตราส่วนการปั่นแยกกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....90

4.21 แสดงความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลที่เหนียวกับ เวลาในชั่วโมงแรก ใน กระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมง แรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลองเริ่มปล่อย สารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์ทาง ด้าน ล่างของคอลัมน์ที่ 6 ด้วยอัตราส่วนการปั่นแยกกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....91

4.22 แสดงปริมาณอัลกอซอลที่ผลิตกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิด ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรกจากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลา ผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึง เซลล์ที่ ทาง ต่ มล่างของคอลัมน์ที่ 7 ด้วยอัตราส่วนการปั่นแยกกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....94

4.23 แสดงจำนวน เซลล์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์ชนิด ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้น

สารบัญรูป (ตบ)

รูปที่

หน้า

- 4.24 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่ เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ตลอดการทดลอง เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอสม์ตัวที่ 7 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 ในชั่วโมงที่ 91 - 280..... 95
- 4.25 แสดงปริมาณ เซลล์กลัยโคลีสที่ผลิตกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอสม์ตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 พร้อมกันเพิ่มการให้อากาศเป็น 0.08 vvm ในชั่วโมงที่ 91 - 280..... 98
- 4.26 แสดงจำนวน เซลล์ยีสต์ที่นับได้กับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04-0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่างของคอสม์ตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 พร้อมกันเพิ่มอัตราการให้อากาศเป็น 0.08 vvm ในชั่วโมงที่ 91 -280.... 99
- 4.27 แสดงความเข้มข้นน้ำตาลที่ เหลือในน้ำหมักกับ เวลาในกระบวนการหมักแบบคอสม์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.05 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการตั้ง เซลล์ยีสต์ทางด้านล่าง

สารบัญ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ของคอสมิคที่ 5 พร้อมกับเพิ่มอัตราการให้อากาศเป็น 0.08 vvm
 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....100

4.28 แสดงปริมาณอัลกอกอลที่ผลิตกับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอสมิค
 ต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก
 จากน้ำตาลเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90
 เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์
 ทางด้านล่างของคอสมิคตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการโอนก้อนกลับ
 0.5 พร้อมกับเพิ่มอัตราการให้อากาศเป็น 0.12 vvm ในชั่วโมง
 ที่ 91 - 280.....102

4.29 แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอสมิค
 ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก
 จากน้ำตาลเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 แล้วเริ่ม
 ปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์
 ยึดทางด้านล่างของคอสมิคตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการโอนก้อน
 กลับ 0.5 พร้อมกับเพิ่มอัตราการให้อากาศเป็น 0.12 vvm
 ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....103

4.30 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในกระบวนการ
 หมักแบบคอสมิคชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm
 4 ชั่วโมงแรกจากน้ำตาลเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึง
 ชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง
 ทำการดึงเซลล์ทางด้านล่างของคอสมิคตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วน
 การโอนก้อนกลับ 0.5 พร้อมกับเพิ่มอัตราการให้อากาศเป็น
 0.12 vvm ในชั่วโมงที่ 91 -280.....104

4.31 แสดงปริมาณอัลกอกอลที่ผลิตกับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอสมิค
 ต่อเนื่องอัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก จากน้ำตาล

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- เหลือ 0.04-0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสารอาหาร
เมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์ใส่ทางด้านล่างของคอลัมน์
ตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 พร้อมกับเพิ่มอัตราการให้
อากาศเป็น 0.16 vvm ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....109
- 4.32 แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้กับเวลาในกระบวนการหมักแบบคอลัมน์
ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก
จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสาร
อาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์ใส่ทางด้านล่าง
ของคอลัมน์ตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 พร้อมกับเพิ่ม
อัตราการให้อากาศเป็น 0.16 vvm ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....109
- 4.33 แสดงความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมักกับเวลาในกระบวนการหมัก
แบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm 4 ชั่วโมงแรก
จากนั้นลดเหลือ 0.04 - 0.06 vvm จนถึงชั่วโมงที่ 90 เริ่มปล่อยสาร
อาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง ทำการดึงเซลล์ใส่ทางด้านล่างของ
คอลัมน์ตัวที่ 5 ด้วยอัตราส่วนการป้อนย้อนกลับ 0.5 พร้อมกับเพิ่มอัตรา
การให้อากาศเป็น 0.16 vvm ในชั่วโมงที่ 91 - 280.....110

สัญลักษณ์

- D = อัตราการเจือจาง, ชั่วโมง⁻¹
 D_c = อัตราการเจือจางวิกฤต, ชั่วโมง⁻¹
 D_m = อัตราการเจือจางสูงสุด, ชั่วโมง⁻¹
 F = อัตราการไหลของสารอาหารที่ป้อนเข้าระบบ, ลิตรต่อชั่วโมง
 F' = อัตราการไหลของสารอาหารที่ป้อนเข้าถังใบที่ 2, ลิตรต่อชั่วโมง
 G = อัตราส่วนของผลผลิตการหมักแบบต่อเนื่องหรือกึ่งต่อเนื่องเทียบกับแบบไม่ต่อเนื่อง
 K_s = ค่าคงที่ (saturated constant), มิลลิกรัมต่อลิตร
 p = ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร
 P = กำลังการผลิต, กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง
 r = อัตราส่วนของมวลสารหมัก เวียน
 S_0 = ความเข้มข้นของสารอาหาร เริ่มต้น, มิลลิกรัมต่อลิตร
 S_r = ความเข้มข้นของสารอาหารในถัง เก็บ, กรัมต่อลิตร
 S = ความเข้มข้นของสารอาหารในระบบ เคมีสแตท, กรัมต่อลิตร
 S' = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำหมักที่ป้อนเข้าถังใบที่ 2, กรัมต่อลิตร
 t_1 = เวลาที่ใช้ในการเตรียมระหว่างที่จะทำการหมักต่อไป, ชั่วโมง
 t_2 = เวลาที่ใช้ในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม, ชั่วโมง
 t_0 = Harvest period
 t_m = เวลาที่ใช้ในช่วง exponential phase
 V = ปริมาณน้ำหมักในเครื่องหมัก, ลิตร
 v_{vm} = ปริมาตรอากาศต่อปริมาณน้ำหมักต่อนาที
 w/v = น้ำหนักต่อปริมาตร
 X = ความเข้มข้นของ เซลล์ใน เครื่องหมัก, กรัมต่อลิตร
 X_i = น้ำหนัก เซลล์ เริ่มแรก, กรัมต่อลิตร
 X_m = น้ำหนัก เซลล์ สูงสุด, กรัมต่อลิตร

สัญลักษณ์ (ต่อ)

$Y_{x/s}$ = สัมประสิทธิ์ผลิตผลของ เซล, กรัม น้ำหนักแห้งของ เซลต่อกรัม สารอาหารที่ใช้

$Y_{p/s}$ = สัมประสิทธิ์ผลิตผลของ ผลิตภัณฑ์, กรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดต่อกรัมสารอาหารที่ใช้

m = ความต้องการพลังงานในการ เก็บรักษา, กรัมสารอาหารที่ใช้ต่อกรัม น้ำหนักแห้งของ เซลต่อชั่วโมง

q_p = อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์จำเพาะ, กรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดต่อลิตรต่อชั่วโมง

μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ, ชั่วโมง⁻¹

μ_{max} = อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเมื่อความเข้มข้นสารอาหารไม่จำกัด, ชั่วโมง⁻¹

α = อัตราการตายจำเพาะ, ชั่วโมง⁻¹

μ_{batch} = อัตราการเกิด เซลในการหมักไม่ต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อชั่วโมง

μ_{cont} = อัตราการเกิด เซลในการหมักแบบต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อชั่วโมง

μ_{semi} = อัตราการเกิด เซลในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อชั่วโมง



บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 เอลิธอัลกอซอส์.....	2
2.2 วัตถุประสงค์ที่เข้ารับการผลิตอัลกอซอส์.....	5
2.3 จุลินทรีย์ที่สำคัญที่เข้าในกระบวนการหมัก.....	11
2.4 การหมักอัลกอซอส์.....	16
2.5 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิตอัลกอซอส์.....	18
2.6 กระบวนการหมักแบบไม่ต่อ เนื่อง.....	20
2.6.1 การหมักแบบกะ.....	20
2.6.2 การหมักแบบพีคแบทช์.....	23
2.7 กระบวนการหมักแบบต่อ เนื่อง.....	26
2.7.1 การเลี้ยงจุลินทรีย์แบบต่อ เนื่อง.....	26
2.2.2 การจัดจำแนกระบบกระบวนการหมักแบบต่อ เนื่อง.....	29
2.8 ทฤษฎีของกระบวนการหมักแบบต่อ เนื่อง.....	32
2.8.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบหมักแบบ เคมีสแตท.....	33
2.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญกับความเข้มข้น ของเซลล์.....	33

2.8.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือจางกับความเข้มข้น ของสารอาหาร.....	35
2.8.4	สมการพื้นฐานสำหรับการหมักแบบต่อเนื่อง.....	36
2.8.5	อัตราการเจือจางวิกฤต.....	37
2.8.6	กำลังการผลิต.....	37
2.8.7	การทำลายผลิตภัณฑ์และค่าคงที่อัตราเร็ว.....	38
2.8.8	การปรับปรุงระบบ เคมีสแตทพื้นฐาน.....	39
2.9	การเปรียบเทียบความสามารถของการหมัก.....	43
2.9.1	การเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตระหว่างการหมัก ไม่ต่อเนื่อง กับการหมักแบบต่อเนื่อง.....	43
2.9.2	การเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตระหว่างการหมัก ไม่ต่อเนื่อง กับการหมักกึ่งต่อเนื่อง.....	46
2.10	การนำเซลล์สดกลับมาใช้.....	48
3.	อุปกรณ์และการทดลอง.....	50
3.1	อุปกรณ์.....	50
3.1.1	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์.....	50
3.1.2	คอลัมน์สำหรับหมัก.....	52
3.1.2.1	คอลัมน์น้ำให้อากาศ.....	52
3.1.2.2	คอลัมน์ไมให้อากาศ.....	52
3.1.3	ระบบนำเซลล์สดกลับมาใช้.....	54
3.2	การเตรียมการหมัก.....	54
3.2.1	ยีสต์.....	54
3.2.2	น้ำสับประรด.....	55
3.2.3	การฆ่าเชื้อเครื่องหมัก.....	55
3.2.4	เชื้อหมักเริ่มต้น.....	56
3.3	วิธีการทดลอง.....	56
3.3.1	การเริ่มต้นเดินระบบหมักอัลกอฮอล์.....	56

3.3.2	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับระบบหมักต่อ เบื้อง.....	57
3.3.3	ศึกษาความสามารถของยีสต์ในการ เปลี่ยนน้ำตาลให้ เป็น เอทานอลในแต่ละคอลัมน์.....	57
3.3.4	ศึกษาการนำ เซลล์ยีสต์ย้อนกลับในกระบวนหมักต่อ เบื้อง.....	57
3.3.5	ศึกษาอัตราฟีดอากาศที่เหมาะสมแก่ เซลล์ยีสต์ย้อนกลับ.....	58
3.4	วิธีวิเคราะห์.....	58
3.4.1	เซลล์ยีสต์.....	58
3.4.2	ความเป็นกรด - ด่าง.....	59
3.4.3	ปริมาณน้ำตาลในน้ำตาลและน้ำหมัก.....	59
3.4.4	ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก.....	59
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	60
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	111
	รายการอ้างอิง.....	115
	ภาคผนวก.....	119
	ประวัติผู้เขียน.....	170