

การออกแบบสร้างถังหมักเพื่อผลิตกรดมะนาว

นายนริศ เหลืองวิไลวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-292-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CONSTRUCTION DESIGN OF A FERMENTER FOR
CITRIC ACID PRODUCTION**

Mr. Naris Luangewilaiwan

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology**

Program of Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-292-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบสร้างถังหมักเพื่อผลิตกรดมะนาว

โดย

นายนริศ เหลืองวิไลวรรณ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

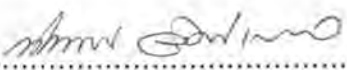
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ ขำวิวรรธน์

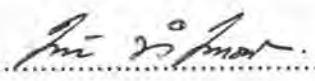
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร ลิ้มปเสนีย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)


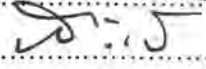
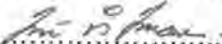

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ ขำวิวรรธน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน)

นริศ เหลืองวิไลวรรณ : การออกแบบสร้างถังหมักเพื่อผลิตกรดมะนาว.
(CONSTRUCTION DESIGN OF A FERMENTER FOR CITRIC ACID
PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม :
ผศ.วินิจ ขำวิวรรณ, 146 หน้า. ISBN 974-334-292-3.

การออกแบบสร้างถังหมักเพื่อผลิตกรดมะนาว ประกอบด้วย ถังกวน ใบพัดกวน และฝา
ถังกวนที่สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อป้องกันการกักครอนจากกรดมะนาว ถังกวนเป็นรูป
ทรงกระบอกขนาดความจุ 12.5 ลิตร มีช่องเสียบด้านล่างของถังกวนเพื่อให้อากาศเข้า และมีแฉกเกิด
หุ้มด้านข้างถังกวน 2 ชั้น แฉกเกิดชั้นในควบคุมอุณหภูมิสูงโดยมีขดลวดให้ความร้อนคัดเป็นรูปตัว
ยูจุ่มอยู่ในน้ำมันซึ่งจะทำหน้าที่ให้ความร้อนผ่านเข้าสู่ น้ำหมักในถังกวน ใช้เทอร์มอสตัทเปิดเป็นคัต
บ่งชี้อุณหภูมิในน้ำหมัก ส่วนแฉกเกิดชั้นนอกควบคุมอุณหภูมิต่ำโดยระบบน้ำหล่อเย็น ส่วนใบพัด
กวนมีลักษณะเป็นรูปเกือกม้ามีเข็มปลายแหลมจำนวน 4 ตัวติดตั้งอยู่ที่แกนด้านบนเพื่อใช้ควบคุมการ
เกิดฟองในระหว่างการหมัก จากการทดลองผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ *Candida oleophila* C-73 ใน
ถังหมักขนาด 12.5 ลิตรที่สร้างขึ้นนี้ ใช้อัตราการกวน 160 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 2.0
ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส สูตรอาหารสำหรับ
การผลิตกรดมะนาวใน 1 ลิตร ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสจากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วย
เอนไซม์ 200 กรัม , แอมโมเนียมคลอไรด์ 2.0 กรัม , โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.2 กรัม ,
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต 0.5 กรัม , แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต 0.2 กรัม , สารสกัดจาก
ยีสต์ 1.0 กรัม และแคลเซียมคาร์บอเนต 100 กรัม โดยใช้ น้ำมันรำข้าวเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง
เมื่อเปรียบเทียบการผลิตกรดมะนาวในถังหมักขนาด 12.5 ลิตรที่สร้างขึ้นและถังหมักขนาด 5 ลิตร
ของบริษัท New Brunswick Scientific รุ่น Bio FLO II C จะผลิตกรดมะนาว ได้ 75 และ 102 กรัมต่อ
ลิตร ตามลำดับ ส่วนอัตราการผลิตกรดมะนาวเท่ากับ 0.417 และ 1.063 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตาม
ลำดับ ส่วนค่าความหนืดของการหมักในถังหมัก 12.5 ลิตรจะต่ำกว่าการหมักในถังหมักขนาด 5
ลิตร

หลักสูตร เทคโนโลยีทางชีวภาพ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

##3970764023 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORDS : FERMENTER / CANDIDA OLEOPHILA C-73 / CITRIC ACID

NARIS LUANGEWILAIWAN : CONSTRUCTION DESIGN OF A FERMENTER FOR CITRIC ACID PRODUCTION. THESIS ADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : VINICH KHAMVIWATH, 146 pp. ISBN 974-334-292-3

A fermenter of 12.5 litre for citric acid production has been designed and constructed. The fermenter was equipped with stainless steel cylindrical vessel, a horseshoe paddle impeller with 4 needles on shaft for agitation and defoaming. The temperature was controlled by thermocouple with 2 jackets which wrapped around the outside of the vessel. The vessel was dipped in oil within the inner jacket. It was heated by the heater and cooled by cold water from a cooler. Air circulation was supplied from air compressor to the fermenter via the bottom of the vessel. The production of citric acid from *Candida oleophila* C-73 in the 12.5-litre fermenter was investigated. The optimal condition of cultivation in this fermenter were 160 rpm of agitation speed and 2.0 vvm of aeration rate. While, the optimal medium of cultivation were 200 g/l of glucose, that was hydrolyzed from cassava starch by enzymes, 2.0 g/l of NH_4Cl , 0.2 g/l of KH_2PO_4 , 0.5 g/l of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2 g/l of $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1.0 g/l of yeast extract and 100 g/l of CaCO_3 . Furthermore, rice bran oil was used instead of antifoam A. The amount of citric acid in the 12.5-litre fermenter and the 5-litre fermenter (model :Bio FLO II C , manufacturer : New Brunswick Scientific) were obtained as 75 and 102 g/l respectively. While, the citric acid productivity were 0.417 and 1.063 g / l / hour respectively. The viscosity of fermentation broth in the 12.5-litre fermenter was lower than that in the 5-litre fermenter.

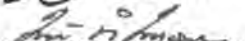
หลักสูตร เทคโนโลยีทางชีวภาพ

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ

ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ ขำวิวรรณ ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆในการทำงานวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร ลิ้มปเสนีย์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาชีวเคมี และภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับความอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย

ขอขอบคุณ นิสิตปริญญาโทและปริญญาเอกเทคโนโลยีทางชีวภาพและชีวเคมีสำหรับ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณป้า คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องที่รักทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ ความเข้าใจ กำลังใจ และกำลังใจ ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 คุณสมบัติของกรรมมะนาว.....	1
1.2 มาตรฐานของกรรมมะนาว.....	2
1.3 ประวัติความเป็นมา.....	3
1.4 การผลิตกรรมมะนาว โดยยีสต์.....	4
1.5 ชีวิตเคมีของการผลิตกรรมมะนาว โดยยีสต์.....	5
1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกรรมมะนาว โดยยีสต์.....	7
1.7 ประโยชน์ของกรรมมะนาว.....	12
1.8 การออกแบบถังหมัก.....	15
1.9 การขยายส่วนการผลิต.....	21
1.10 มุมเหตุจูงใจในการทำวิจัย.....	29
1.11 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	31
1.12 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	31
2 วิธีการทดลอง.....	32
2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
2.2 เชื้อจุลินทรีย์.....	34
2.3 การเก็บรักษาเชื้อยีสต์.....	34
2.4 การเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตกรรมมะนาว.....	35
2.5 วิธีการวิเคราะห์.....	36
2.6 การออกแบบสร้างถังหมักเพื่อใช้ในการผลิตกรรมมะนาว.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 ผลการทดลอง.....	49
3.1 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยทำการผันแปรอัตราการกวนที่ความเร็วต่างๆ.....	49
3.2 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยทำการผันแปรอัตราการให้อากาศ.....	61
3.3 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร เมื่อทำการผันแปรปริมาณการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น.....	71
3.4 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร เมื่อเติมไรอะมีนไฮโดรคลอไรด์ ลงในอาหารสำหรับผลิตกรดมะนาว.....	79
3.5 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	87
3.6 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันพืชชนิดต่างๆเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	97
3.7 การผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อศึกษาผลของการใช้ แอนติโฟม เอ และน้ำมันรำข้าว เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	110
4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	118
รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก	
ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	130
ข ลักษณะการเจริญของ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการเจริญเติบโต..	133
ค การคำนวณเมื่อใช้เกณฑ์ทางกายภาพในการกำหนดการขยายส่วนของถังหมัก.....	135
ง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (K_La) และ Parameter (α, β) โดยวิธี Dynamic measurement	138
จ การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	140
ฉ การย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์.....	141

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ช กราฟมาตรฐาน.....	142
ช สูตรการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์.....	145
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	146

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	คุณลักษณะทางเคมีตามมาตรฐานกรดมะนาว.....	2
1-2	การขยายส่วนการผลิตมีผลต่อการผลิตในทางชีวภาพ.....	23
1-3	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกกรดมะนาวในประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2531-2542.....	30
1-4	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2534-2540.....	31
3-1	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 90 รอบต่อนาที.....	50
3-2	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 125 รอบต่อนาที.....	52
3-3	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 160 รอบต่อนาที.....	54
3-4	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยทำการผันแปรอัตราการกวนที่ 90 , 125 และ 160 รอบต่อนาที	60
3-5	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	62
3-6	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการให้	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
	อากาศ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักค่อนาที.....	64
3-7	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยทำการแปรผันอัตราการให้อากาศที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักค่อนาที..	70
3-8	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร).....	72
3-9	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยทำการแปรผันปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 และ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร)	78
3-10	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติม โซอะมีนไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	80
3-11	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมและไม่เติมโซอะมีนไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	86
3-12	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง	88
3-13	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	90
3-14	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่ใช้แคลเซียม	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
	คาร์บอนและใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ...	96
3-15	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้น้ำมันปาล์มเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	98
3-16	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	100
3-17	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้น้ำมันรำข้าวเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	102
3-18	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ระหว่างการใช้น้ำมันพืชและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	109
3-19	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง และใช้น้ำมันรำข้าวเพื่อควบคุมการเกิดฟอง	111
3-20	การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	117
ข-1	น้ำหนักเซลล์แห้งของเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการเจริญในระดับขวดเขย่า ที่ช่วงเวลาการเพาะเลี้ยงต่างๆ.....	134

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	โครงสร้างของกรดมะนาว.....	1
1-2	วัฏจักรเครปส์.....	6
1-3	ความสัมพันธ์ของวัฏจักรเครปส์ วัฏจักรไกลออกซิเดต และปฏิกิริยาทดแทนอะนาโพลิโรติก.....	8
1-4	การออกแบบเครื่องกังวไพบัด turbine.....	17
1-5	การออกแบบเครื่องกังวไพบัด paddle.....	18
1-6	เครื่องกังวที่มีแรงเฉือนสูง.....	20
1-7	ส่วนประกอบต่างๆของถังหมัก.....	22
1-8	สัดส่วนทางเรขาคณิตของถังหมักมาตรฐาน.....	22
1-9	ความสัมพันธ์ของ N_p และ N_{Re}	26
2-1	ยีสต์สายพันธุ์ <i>Candida oleophila</i> C-73 อัตราการขยาย 200 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ photoeyepiece lens 5 เท่า และ objective lens 40 เท่า.....	35
2-2	ไดอะแกรมอุปกรณ์การผลิตกรดมะนาว.....	42
2-3	ปฏิกรณ์การผลิตกรดมะนาว.....	43
2-4	ถังกวน (รูปถ่ายจากด้านบน).....	43
2-5	ไพบัดกวน.....	44
2-6	ฝาถังกวน.....	44
2-7	อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ.....	45
2-8	เครื่องอัดอากาศ.....	45
2-9	ถังดักน้ำจากเครื่องอัดอากาศและชุดกรองอากาศ.....	46
2-10	เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	46
2-11	เครื่องควบคุมระบบน้ำหล่อเย็น.....	47
2-12	หม้อไอน้ำ.....	47
2-13	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ.....	48
3-1	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวส์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 90 รอบต่อนาที.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-2	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 125 รอบต่อนาที.....	53
3-3	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวน 160 รอบต่อนาที.....	55
3-4	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการกวนที่ 90 , 125 และ 160 รอบต่อนาที	56
3-5	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการกวนที่ 90 , 125 และ 160 รอบต่อนาที	57
3-6	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการกวนที่ 90 , 125 และ 160 รอบต่อนาที	58
3-7	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการกวนที่ 90 , 125 และ 160 รอบต่อนาที	59
3-8	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	63
3-9	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้อัตราการให้อากาศ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-10	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการให้อากาศที่ 1.0 , 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	66
3-11	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการให้อากาศที่ 1.0 , 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	67
3-12	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการให้อากาศที่ 1.0 , 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ..	68
3-13	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันอัตราการให้อากาศที่ 1.0 , 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที...	69
3-14	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร).....	73
3-15	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 และ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร)	74
3-16	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 และ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร)	75
3-17	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 และ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร)	76
3-18	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร จากการแปรผันปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 และ 15 (ปริมาตรต่อปริมาตร)	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-19	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมไขมันไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	81
3-20	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมและไม่เติมไขมันไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	82
3-21	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมและไม่เติมไขมันไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	83
3-22	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมและไม่เติมไขมันไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	84
3-23	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่เติมและไม่เติมไขมันไฮโดรคลอไรด์ ในถังหมักขนาด 12.5 ลิตร.....	85
3-24	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง	89
3-25	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมัก เมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง	91
3-26	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-27	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง....	93
3-28	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง....	94
3-29	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง....	95
3-30	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อนำน้ำมันปาล์มเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	99
3-31	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อนำน้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	101
3-32	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อนำมันรำข้าวเป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	103
3-33	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ระหว่างการใช้น้ำมันพืชและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	105
3-34	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ระหว่างการใช้น้ำมันพืชและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	106
3-35	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ระหว่างการใช้น้ำมันพืชและ แอนติโฟม เอ เป็นสาร	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
	ควบคุมการเกิดฟอง.....	107
3-36	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ระหว่างการใช้น้ำมันพืชและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	108
3-37	ปริมาณกรดมะนาว ค่าความหนืด น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวส์ที่เหลือ ที่ระยะเวลาต่างๆของการหมักเมื่อเลี้ยง <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการผลิตกรดมะนาวเมื่อใช้ แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง และใช้น้ำมันรำข้าว เพื่อควบคุมการเกิดฟอง	112
3-38	การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง....	113
3-39	การเปรียบเทียบค่าความหนืดของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	114
3-40	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเซลล์ของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	115
3-41	การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคสที่เหลือของการผลิตกรดมะนาวด้วยเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและ แอนติโฟม เอ เป็นสารควบคุมการเกิดฟอง.....	116
ช-1	รูปแบบการเจริญของเชื้อ <i>Candida oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับเตรียมหัวเชื้อ.....	134
ช-1	กราฟมาตรฐานของกรดมะนาว.....	142
ช-2	กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส.....	143

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ช-3	กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์.....	144