

**การผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ตรึง *Candida oleophila* C-73
ในด่างหมักแบบไม่ต่อเนื่องขนาด 5 ลิตร**

นางสาวธีรวัฒนา ภาระมาตย์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ ระดับปริญญาตรี วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-078-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**PRODUCTION OF CITRIC ACID FROM IMMOBILIZED *Candida oleophila* C-73
IN A BATCH CULTURE 5-L FERMENTER**



Miss Thirawatthana Pharamat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
For the Degree of Master of Science in Biotechnology**

Program of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

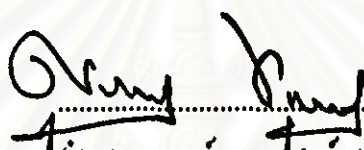
Academic Year 1997

ISBN 974-639-078-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ตรึง *Candida oleophila* C-73 ในตั้งหมักแบบไม่
ต่อเนื่องขนาด 5 ลิตร

โดย นางสาว ชีรวัฒนา ภาระมาตย์
สาขา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ จำวีรรรณห์
ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

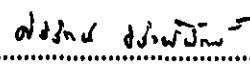

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินิจ จำวีรรรณห์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

ธีรวัฒนา ภาระมาตย์ : การผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ตรึง *Candida oleophila* C-73 ใน
ถังหมักแบบไม่ต่อเนื่องขนาด 5 ลิตร (PRODUCTION OF CITRIC ACID FROM
IMMOBILIZED *Candida oleophila* C-73 IN A BATCH CULTURE 5-L
FERMENTER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.วินิจ ขำวิวรรณ์,
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ 118 หน้า, ISBN 974-639-078-3

การผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ตรึง *Candida oleophila* C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร
สภาวะที่เหมาะสมในการหมักอุณหภูมิตั้งที่ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm ปริมาณเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเม็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเซลล์ตรึง 0.5-1.0 มิลลิเมตร อัตราการผลิตกรดมะนาว และผลผลิตกรดมะนาวสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 ของการหมักเท่ากับ 2.25 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงและ 137.07 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เปรียบเทียบการผลิตกรดมะนาวระหว่างการหมักแบบ batch และ fed-batch เมื่อใช้จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเม็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร พบว่าการหมักแบบ batch ให้ผลผลิตกรดมะนาวสูงสุด 136.45 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการหมัก ในการหมักแบบ fed-batch จะให้ผลผลิตกรดมะนาวสูงสุด 136.81 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 5 ของการหมัก ความหนืดของน้ำหมักในชั่วโมงที่ 96 ของการหมักมีค่า 3,872 เซนติพอยซ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C727091 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: CELL IMMOBILIZATION/ CANDIDA OLEOPHILA C-73/ CITRIC ACID
THIRAWATTHANA PHARAMAT : PRODUCTION OF CITRIC ACID FROM
IMMOBILIZED *Candida oleophila* C-73 IN A BATCH CULTURE 5-L FERMENTER.
THESIS ADVISOR: VINICH KHAMVIWATH.,
THESIS CO-ADVISOR: PROF. SOMSAK DAMRONGLERD Ph.D.,
118 pp. ISBN 974-639-078-3

The production of citric acid from immobilized *Candida oleophila* C-73 in a 5 litre fermenter was investigated. The optimal condition of cultivation were 28° C of incubation, 600 rpm of agitation speed, 1.0 vvm of aeration rate, 15 g/l of calcium alginate beads and 0.5-1.0 mm in bead diameter. The citric acid production rate and the highest citric acid productivity after 96 hours of cultivation were 2.25 g/l.hr. and 137.07 g/l, respectively. Comparison using 10 g/l of immobilized beads in batch and a fed-batch fermentation showed that amount of citric acid was obtained as 136.45 g/l after 7 days of cultivation by the batch fermentation. The fed-batch fermentation showed the highest citric acid productivity of 136.81 g/l after 5 days of cultivation. Accumulation of citric acid in fermentation broth at the high productivity showed that the viscosity was approximately 3,872 centipoise after 96 hours of cultivation.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....

สาขาวิชา.....หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *พิมพ์ อมร*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *พิมพ์ อมร*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *พิมพ์ อมร*.....



กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินิจ ขำวิวรรณ และศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะ และช่วยเหลือในการทำวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทิพาพร ลิมปเสนีย์ ที่ได้กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ของภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาชีวเคมีทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือ คำแนะนำ งบประมาณวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์-ศูนย์รังสิต ที่ให้การช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจ งบประมาณวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ตุ่ม, โอล่า, เจียบ, เดียร์, นื่องนะ, น้องชายตลอดจนพี่น้องๆภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยีชีวภาพทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและให้กำลังใจงานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอระลึกถึงพระคุณเจ้าคุณพระธรรมวิสุทธิญาณ อดีตเจ้าคณะภาค 10 ข. ตลอดจนขอขอบกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจ กำลังกายและกำลังทรัพย์ ในระหว่างการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญรูป	ณ
คำย่อ	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ประวัติและความเป็นมาของการผลิตกรรมนาวา.....	2
1.2 การผลิตกรรมนาวาโดยการหมักยีสต์.....	3
1.3 วิธีการตรึงเซลล์จุลินทรีย์	4
1.4 สารพาหะที่ใช้ในการตรึงเซลล์จุลินทรีย์.....	7
1.5 ประวัติการของการตรึงเซลล์จุลินทรีย์	9
1.6 ชีวิตเคมีของการผลิตกรรมนาวา	10
1.7 คุณสมบัติของกรรมนาวา.....	12
1.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกรรมนาวา	13
1.9 ประโยชน์ของกรรมนาวา.....	18

บทที่	หน้า
1.10 มุกเหตุจูงใจในการทำวิจัย.....	21
1.11 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	25
1.12 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	25
2. วิธีการทดลอง	26
2.1 ครุภัณฑ์และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
2.1.1 ครุภัณฑ์.....	26
2.1.2 เคมีภัณฑ์.....	27
2.2 วิธีการทดลอง	29
2.2.1 เชื้อจุลินทรีย์.....	29
2.2.2 การเก็บรักษาอีสต์.....	29
2.2.3 การเตรียมเซลล์แขวนลอยของอีสต์.....	29
2.2.4 การเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญ(หัวเชื้อ).....	29
2.2.5 วิธีการครึ่ง <i>C. oleophila</i> C-73	29
2.2.6 การเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตกรดมะนาวจากเซลล์อิสระ <i>C. oleophila</i> C-73	
ในถังหมักขนาด 5 ลิตร	30
2.2.7 การเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ครึ่ง <i>C. oleophila</i> C-73	
ในถังหมักขนาด 5 ลิตร	31
2.2.8 การเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตกรดมะนาวจากเซลล์อิสระ <i>C. oleophila</i> C-73	
ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยการหมักแบบ Fed-batch fermentation....	31

บทที่	หน้า
2.2.9 วิธีการวิเคราะห์	31
3. ผลการทดลอง	35
3.1 การศึกษาลักษณะการเจริญของ <i>C. oleophila</i> C-73 ในอาหารสำหรับการเจริญ	35
3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอะมิโนจากเซลล์ครึ่ง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร	36
3.2.1 ผลของอัตราการกวนอาหารเลี้ยงยีสต์	36
3.2.2 ปริมาณเซลล์ครึ่งเริ่มต้นที่เหมาะสม	42
3.2.3 ผลของกระบวนการหมักแบบ Fed-batch fermentation	47
3.2.4 ผลของการผลิตกรดอะมิโนในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้เซลล์ครึ่ง ขนาดเล็ก	49
3.2.5 ผลการแปรผันอัตราการใช้อากาศ	51
3.3 ผลการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อในถังหมัก	56
3.3.1 ผลการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการแบ่งเติมแคลเซียม คาร์บอเนต	57
3.3.2 ผลการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	59
3.3.3 ผลการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยแคลเซียมออกไซด์	61
3.4 ปริมาณน้ำตาถกฤโคสเริ่มต้นที่เหมาะสม	63
3.5 ผลการผลิตกรดอะมิโนจากเซลล์อิสระ <i>C. oleophila</i> C-73	70

หน้า

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	72
รายการเอกสารอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	97
ก. อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ.....	98
ข. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	99
ค. การย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์.....	101
ง. กราฟมาตรฐาน.....	102
จ. ข้อมูลผลการทดลอง.....	105
ฉ. สูตรการคำนวณ.....	117
ประวัติผู้เขียน.....	118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราง

ตาราง	หน้า
1	แสดงกลไกการเกิดเจต โดยสารพาหะเมื่อใช้วิธีกักขัง6
2.	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกกรรมมะนาวของประเทศไทยระหว่างปี 2530-2541.....22
3	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังในประเทศไทยระหว่างปี 2530-254024
4	การผลิตกรรมมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเชลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเชลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเม็ดเชลล์ตรึงต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส ควบคุมอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของหมักโดยการแบ่งเติมปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 35 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 0 และ 15 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 24 , 48, 60, 72, 84.....58
5	การผลิตกรรมมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเชลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเชลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเม็ดเชลล์ตรึงต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 50 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์60
6	การผลิตกรรมมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเชลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเชลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเม็ด เชลล์ตรึงต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส ควบคุมอัตราการกวนที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักโดยใช้แคลเซียมออกไซด์62

ตาราง

หน้า

- 7ก การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง *C. oleophila* C-73
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 150 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส
ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....64
- 7ข การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง *C. oleophila* C-73
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 160 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส
ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....65
- 7ค การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง *C. oleophila* C-73
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 180 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส
ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....66
- 7ง การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง *C. oleophila* C-73
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 200 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส
ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....68
- 7จ การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง *C. oleophila* C-73
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 150 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส
ควบคุมอัตราการกวน ที่ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....69
- 8 การผลิตกรรมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตรจากเซลล์อิสระ *C. oleophila* C-73
หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	วิธีการผลิตกรรมะนาวโดยเชื้อยีสต์ผ่านวัฏจักรเกรปต์.....11
2	โครงสร้างของกรรมะนาว.....12
3	การเจริญของ <i>C. oleophila</i> C-73 ในอาหารเลี้ยง Yeast malt extract ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที.....35
4ก	แสดงผลการผลิตกรรมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....37
4ข	แสดงผลการผลิตกรรมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....38
4ค	แสดงผลการผลิตกรรมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....39
4ง	แสดงผลการผลิตกรรมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....40

รูปที่	หน้า
4ง	แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมื่อเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....41
4ฉ	เปรียบเทียบผลการผลิตกรดมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร จากเซลล์ตรึง <i>C. Oleophila</i> C-73 โดยการแปรผันอัตราการกวน 300, 400, 500, 600 และ 700 รอบต่อนาที หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm.....42
5ก	แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเมื่อเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....44
5ข	แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 20 กรัมเมื่อเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....45
5ค	เปรียบเทียบผลการผลิตกรดมะนาวในถังหมักขนาด 5 ลิตร จากเซลล์ตรึง <i>C. Oleophila</i> C-73 โดยใช้จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10, 15 และ 20 กรัมเมื่อ เซลล์ตรึงต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบ ต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm.....46
6	แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 โดยใช้กระบวนการหมักแบบ Fed-batch จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 10 กรัมเมื่อ เซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600

รูปที่	หน้า
	รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....48
7	<p>แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73</p> <p>โดยใช้เซลล์ตรึงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 มิลลิเมตร จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส</p> <p>อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm.....50</p>
8ก	<p>แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73</p> <p>จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5vvm.....52</p>
8ข	<p>แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73</p> <p>จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm.....53</p>
8ค	<p>แสดงผลการผลิตกรดมะนาวถึงหมักขนาด 5 ลิตร ด้วยเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73</p> <p>จำนวนเซลล์ตรึงเริ่มต้น 15 กรัมเมล็ดเซลล์ตรึงต่อลิตร ควบคุมการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.5 vvm.....54</p>
8ง	<p>แสดงผลการผลิตกรดมะนาวในถึงหมักขนาด 5 ลิตร จากเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73</p> <p>ทำการแปรผันอัตราการให้อากาศ 0.5, 1.0 และ 1.5 vvm. ควบคุมการหมักที่ 28 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที.....55</p>
9	<p>เปรียบเทียบผลของการกวนที่มีต่อการผลิตกรดมะนาวจากเซลล์ตรึง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถึงหมักขนาด 5 ลิตร.....73</p>

รูปที่	หน้า
10	เปรียบเทียบปริมาณเซลล์ตรงเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักกรรมมะนาวจากเซลล์ตรง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร75
11	เปรียบเทียบผลของอัตราการให้อากาศเมื่อทำการหมักกรรมมะนาวจากเซลล์ตรง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร79
12	เปรียบเทียบผลของปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้นเมื่อทำการหมักกรรมมะนาว จากเซลล์ตรง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร84
13	เปรียบเทียบค่าความหนืดจากการหมักกรรมมะนาวจากเซลล์ตรง <i>C. oleophila</i> C-73 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น 150, 160, 180, 200 และ 220 กรัมต่อลิตร84

คำย่อ

คำย่อ	ทำอธิบายคำย่อ
°C	องศาเซลเซียส
mm	มิลลิเมตร
rpm	รอบต่อนาที
vvm	ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย