ผลของออกซิเจนและสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการสร้างเซลลูโลสของแบคทีเรีย

นางสาว อังคณา พันธ์ศรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-132-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19206215

EFFECTS OF OXYGEN AND MEDIUM COMPOSITIONS ON BACTERIAL CELLULOSE SYNTHESIS

Miss Angkana Phunsri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-332-132-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของออกซิเจนและสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการสร้างเซลลูโลสของแบคทีเรีย
โดย	นางสาว อังคณา พันธ์ศรี
ภาควิชา	สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาย ปราโมทย์ ธรรมรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร ริมพณิชยกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นาย ปราโมทย์ ธรรมรัตน์)

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อังคณา พันธ์ศรี: ผลของออกซิเจนและสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการสร้างเซลลูโลสของแบคทีเรีย (EFFECTS OF OXYGEN AND MEDIUM COMPOSITIONS ON BACTERIAL CELLULOSE SYNTHESIS) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.สุเมธ ตันตระเธียร, อ.ที่ปรึกษาร่วม: นายปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 86 หน้า. ISBN 974-332-132-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของออกซิเจนที่ละลายต่อการสร้างเซลลูโลสของเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR975 ในน้ำมะพร้าว ในขั้นต้นศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมในสภาพนิ่ง ต่อการสร้างเซลลูโลสคือ น้ำตาลทราย 5.1 % โดยปริมาตร และมีค่าความเป็นกรด 4.75 โดยความสูงของน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงในระยะ 8 วัน คือ 2.5 ซ.ม เมื่อศึกษาถึงผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก โดยการแปรความสูงของน้ำหมัก ปริมาตรของน้ำหมัก และ พื้นที่ผิวหน้าผิวหน้าภาชนะบรรจุ พบว่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเริ่มต้นไม่มีผลต่อปริมาณเซลลูโลสที่เชื้อสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ของการหมักออกซิเจนที่ละลายลดลงจนเกือบถึงศูนย์ แต่ยังคงสร้างเซลลูโลสต่อไปอีก ซึ่งพบว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุและความหนาของแผ่นวุ้นจะเพิ่มขึ้นจากการสร้างแผ่นวุ้นใหม่บริเวณที่แผ่นวุ้นสัมผัสอากาศ สำหรับสภาพเขย่าพบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างเซลลูโลส คือน้ำตาลทราย 4.98 %โดยปริมาตร ความเป็นกรด 4.9 และความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบ/นาที จากการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายโดยการเขย่าจาก 100 เป็น 150 รอบ/นาที พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเซลลูโลสที่เชื้อสร้างกลับลดลง อาจเนื่องจากกลูโคสซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างเซลลูโลสถูกเปลี่ยนเป็นกรดกลูโคนิกมากขึ้น ต่อมาศึกษาการเติมสารให้ความหนืด 3 ชนิด ได้แก่ CMC , Xanthan และ Carageenan ที่ความหนืด 1.82 mPa.s พบว่าสารให้ความหนืดที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดคือ CMC โดยลักษณะของเซลลูโลสที่ได้จะแตกต่างกัน จากการแปรความเข้มข้นของ CMC เป็น 0.1 0.2 และ 0.3 % โดยปริมาตร พบว่า ในระหว่างการหมักปริมาณออกซิเจนในน้ำหมัก การเจริญของเชื้อ และการสร้างเซลลูโลสลดลง โดยในระยะ 3 วันแรก อาหารหมักที่เติม CMC 0.2% ให้เซลลูโลสมากกว่าชุดควบคุม 1.42 เท่า

ภาควิชา ..... ลายมือชื่อนิสิต อังคณา พันธ์ศรี

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

C827347 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD: *Acetobacter* sp./ BACTERIAL CELLULOSE/ OXYGEN
ANGKANA PHUNSRI : EFFECTS OF OXYGEN AND MEDIUM COMPOSITIONS ON BACTERIAL CELLULOSE SYNTHESIS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUMATE TANTRATIAN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: Mr. PRAMOTE TAMMARATE. 86 pp. ISBN 974-332-132-2.

The objective of this research was to study the effect of dissolved oxygen on cellulose production in *Acetobacter* sp. TISTR975 in coconut water. It was found, that the optimum cellulose production was obtained at 2.5 cm height after 8 days of incubation in coconut medium containing 5.1%sucrose with pH 4.75 in the static culture. Although the initial dissolved oxygen has been reported to affect height, volume and surface area of cellulose producing during cultivation, the result revealed that even dissolved oxygen decrease to nearly zero level at 6 hour post cultivation, the production of cellulose still remained. The result also showed that cellulose production was depending proportionally on the surface area. Cellulose was accumulated at the surface of the medium where the film contacted directly with air. With shaking condition, the optimum cellulose production was obtained after incubation in coconut medium containing 4.98%sucrose with pH 4.9 and 100 rpm rotary shaking. The increase in dissolved oxygen by increasing shaking over 100 rpm, led to the decrease of cellulose production due to the conversion of glucose to gluconic acid during metabolism. When thickening agent of carboxymethyl cellulose (CMC), xanthan gum and carageenan were added to the medium, the cellulose products obtained had different appearance. Only CMC was found to increase cellulose production. The effect of concentration of CMC from 0.1 to 0.3% on cellulose production was studied. It was found that CMC at 0.2% increased cellulose production by 1.42 times to that of control within 3 days. Higher CMC concentration decreased the cellulose production due to the lowering in dissolved oxygen which effected on cells growth.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต อังคณา พันธ์ศรี

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ โดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ นาย ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ซึ่งศิษย์ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร ริมพณิชยกิจ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และให้การชี้แนะในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณรัตนา ม่วงรัตน์ ตลาดมหานาค ที่เอื้อเฟื้อน้ำมะพร้าวสดสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทดลองตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณคุณน้ำทิพย์ ด้วงทวี โรงงานน้ำทิพย์ ที่ให้คำแนะนำและความรู้เพิ่มเติมในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้สถานที่และความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ พี่ และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งสำหรับการศึกษาวิจัยตลอดเวลา

ความดีของการศึกษาและคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ ขออุทิศแด่ดวงวิญญาณของคุณพ่อ ซึ่งเป็นผู้ให้การเลี้ยงดู ให้ความรู้การศึกษา และเป็นกำลังใจอย่างสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 วุ้นน้ำมะพร้าว 3

2.2 การผลิตเซลลูโลสโดย *Acetobacter* sp. 4

2.3 ชีวเคมีของการผลิตเซลลูโลสจาก *Acetobacter* sp. 6

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสร้างเซลลูโลสโดย *Acetobacter* sp. 10

2.5 อิทธิพลของออกซิเจนต่อการเจริญและการสร้างเซลลูโลสของแบคทีเรีย 15

2.6 การใช้ Response surface methodology (RSM) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อภาวะการผลิต 18

3 วิธีการทดลอง 21

3.1 วัตถุดิบ 21

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 21

3.3 แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง 23

3.4 การเก็บรักษาแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง 23

3.5 การหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสในภาวะนิ่ง 23

3.6 การหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสในภาวะเขย่า 28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	31
4.1 การหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสในภาวะนิ่ง	31
4.1.1 ศึกษาของของค่าความเป็นกรด-ด่างและน้ำตาลทราย (%w/v) ที่เหมาะสม ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้	31
4.1.2 ศึกษาผลของความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุและพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้	35
4.1.3 ศึกษาผลของออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าวในภาวะนิ่ง	39
4.1.3.1 แปรผันปริมาตรอาหารน้ำมะพร้าวโดยให้พื้นที่ผิวหน้าภาชนะคงที่	39
4.1.3.2 แปรผันพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุโดยให้ความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะคงที่	43
4.1.4 ศึกษาลักษณะการสร้างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวในภาวะนิ่ง	47
4.2 การหมักเพื่อผลิตเซลลูโลสในภาวะเขย่า	49
4.2.1 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง,ปริมาณน้ำตาลทราย(%w/v) และความเร็วรอบในการเขย่า ที่เหมาะสมต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้	49
4.2.2 ศึกษาผลของออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าวในภาวะเขย่า	54
4.2.2.1 แปรผันความเร็วรอบในการเขย่า	54
4.2.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหนืด	57
5 วิจารณ์ผลการทดลอง	64
6 สรุปผลการทดลอง	69
รายการอ้างอิง	71
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ	78
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์	79
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	83
ประวัติผู้เขียน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างและน้ำตาลทราย (%w/v) หลังการหมักนาน 8 วัน ในการทดลองแบบ Central composite design จำนวน 13 การทดลอง..... 32

2 ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรผันความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุและพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุหลังการหมักนาน 8 วัน ในการทดลองแบบ Central composite design จำนวน 13 การทดลอง..... 35

3 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่อปริมาณเซลลูโลสที่ได้หลังการหมักเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง..... 42

4 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่อปริมาณเซลลูโลสที่ได้หลังการหมักเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง..... 47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	วิถีเมแทบอลิสมของคาร์โบไฮเดรตใน *A. xylinum*.....	7
2	ภาพจำลองกลไกการทำงานของ cellulose synthase บน plasma membrane.....	8
3	การรวมตัวกันของสายเซลลูโลสที่สังเคราะห์จาก *A. xylinum*.....	9
4	กลไกการแตกกิ่งก้านของไฟบริลเซลลูโลสจาก *A. xylinum*.....	10
5	ภาพ scanning electron micrograph ของผิวหน้าวุ้นน้ำมะพร้าวที่แปรความเข้มข้นของออกซิเจนที่ระดับต่างๆ.....	16
6	การแตกกิ่งก้านของไฟบริลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผิวหน้าระดับ 10% และ 50%.....	17
7	สรุปขั้นตอนการหมัก *Acetobacter* sp. TISTR975 เพื่อผลิตเซลลูโลส.....	24
8	กราฟสามมิติ (surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและน้ำตาลทราย (%w/v) ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน.....	33
9	กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและน้ำตาลทราย (%w/v) ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน.....	34
10	กราฟสามมิติ (surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุ และพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน.....	37
11	กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำหมักจากก้นภาชนะบรรจุ และพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 8 วัน.....	38
12ก	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน.....	40
12ข	ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

12ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์ที่มีในน้ำหมักในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน... 41

12ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 41

12จ ความหนาของแผ่นวุ้นในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่แปรความสูงของอาหารน้ำมะพร้าวจากก้นภาชนะ โดยมีพื้นที่ผิวหน้าภาชนะ 165.33 ซ.ม^2 ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 42

13ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 44

13ข ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 44

13ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตในน้ำหมัก ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 44

13ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้าภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน..... 45

13จ ความหนาของแผ่นวุ้นที่ได้ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรพื้นที่ผิวหน้า ภาชนะบรรจุ ซึ่งมีอาหารน้ำมะพร้าวสูงจากก้นภาชนะ 2.5 ซ.ม ในภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 7 วัน 46

13ฉ แสดงการสร้างเซลลูโลสต่อพื้นที่ผิวหน้าภาชนะในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 8 วัน..... 46

14 ภาพแสดงลักษณะการสร้างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวที่หมักในภาวะนิ่ง..... 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

15 อัตราการสร้างแผ่นวุ้นในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 ที่เลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าว ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 8 วัน..... 48

16 กราฟสามมิติ (surface plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเร็วรอบในการเขย่า ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ที่ภาวะเขย่า ระยะเวลา 8 วัน..... 52

17 กราฟสองมิติ (contour plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเร็วรอบในการเขย่า ต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ ที่ภาวะนิ่ง ระยะเวลา 6 วัน..... 53

18ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 55

18ข ปริมาณกรดกลูโคนิกในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 55

18ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตที่เหลือในน้ำหมักในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 56

18ง ปริมาณเซลลูโลส ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรความเร็วรอบในการเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 56

19ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืดที่ 1.82 mPa.s ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 59

19ข ค่าความหนืดในน้ำหมักที่ได้จากการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืดที่ 1.82 mPa.s ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 59

19ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิตในน้ำหมัก ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสารให้ความหนืดที่ 1.82 mPa.s ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

19ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรชนิดสาร ให้ความหนืดที่ 1.82 mPa.s ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 60

20ก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 61

20ข ค่าความหนืดในน้ำหมักในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 61

20ค ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและจำนวนเซลล์มีชีวิต ในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 62

20ง ปริมาณเซลลูโลสในการเลี้ยง *Acetobacter* sp. TISTR975 เมื่อแปรปริมาณ CMC ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 62

21 ลักษณะเซลลูโลสในอาหารน้ำมะพร้าว ในการเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 6 วัน..... 63

22 กราฟมาตรฐานกรดกลูโคนิก..... 81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย