

การใช้น้ำตาลทรายสำหรับผลิตกรดกลูโคนิกและน้ำตาลฟรักโทส  
โดย *Aspergillus niger* G 153

นางสาว จารินี พานิชกรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2542  
ISBN 974-334-700-3  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**UTILIZATION OF CANE SUGAR FOR GLUCONIC ACID AND FRUCTOSE  
PRODUCTION BY *Aspergillus niger* G153**

**Miss Jarinee Panitchakorn**

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

**Department of Microbiology**

**Faculty of Science**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1999**

**ISBN 974-334-700-3**



จารินี พานิชกรณ์ : การใช้น้ำตาลทรายสำหรับการผลิตกรดกลูโคนิกและน้ำตาลฟรักโทสโดย *Aspergillus niger* G153 (UTILIZATION OF CANE SUGAR FOR GLUCONIC ACID AND FRUCTOSE PRODUCTION BY *Aspergillus niger* G153) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. กรรณิกา จันทรสอาด, หน้า. ISBN 974-334-700-3

การผลิตกรดกลูโคนิกจากน้ำตาลทรายโดย *Aspergillus niger* G153 จะได้น้ำตาลฟรักโทสเป็นผลิตภัณฑ์ที่สองร่วมด้วยในปริมาณมากและสามารถแยกผลิตภัณฑ์ทั้งสองออกจากกันได้โดยง่าย การผลิตระดับขวดเขย่าความเข้มข้นเหมาะสมของแหล่งคาร์บอนและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนคือ 450 กรัมต่อลิตร และ 250:0.5 ตามลำดับ โดยมีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน แต่ใช้เวลาในการผลิตถึง 19 วัน สำหรับการผลิตกรดกลูโคนิกในถังหมัก 5 ลิตรพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลทรายที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 300 กรัมต่อลิตร ภาวะบางประการที่เหมาะสมในการผลิตคือ ขนาดหัวเชื้อ 10% (ปริมาตรต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ) ค่าความเป็นกรดต่างตลอดการผลิตเท่ากับ 6.0-6.5 อัตราการกวน 500-600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 2.0 ลิตรต่อลิตรอาหารเลี้ยงเชื้อต่อนาที ให้ผลผลิตกรดกลูโคนิกสูงสุดเท่ากับ 183.29 กรัมต่อลิตรและฟรักโทส 106.78 กรัมต่อลิตรเป็นผลิตภัณฑ์ที่สอง โดยใช้ระยะเวลาในการผลิตเพียง 48 ชั่วโมง

ภาควิชา.....ภาควิชาจุลชีววิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....จารินี.....พานิชกรณ์  
 สาขาวิชา.....จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....กรรณิกา จันทรสอาด  
 ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 3970251323: MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD: GLUCONIC ACID / SUCROSE / *Aspergillus niger* G153

JARINEE PANITCHAKORN: UTILIZATION OF CANE SUGAR FOR  
GLUCONIC ACID AND FRUCTOSE PRODUCTION BY *Aspergillus niger* G153,  
THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. KANNIKA CHANTARASA-ARD, 160 pp.  
ISBN 974-334-700-3

Gluconic acid production from refined cane sugar by *Aspergillus niger* G153 gave large amount of fructose as a second product and both products could be separated easily. The suitable concentration of refined cane sugar and C:N ratio in shake culture were 450 g/l and 250:0.5 respectively (ammonium sulfate as nitrogen source) at 19 days of cultivation. The optimal concentration of carbon source and some cultivation condition for the production in 5-l fermenter were 300 g/l of cane sugar, inoculum size; 10% (v/v), pH; at 6.0-6.5, agitation speed; at 500-600 rpm and aeration rate; at 2.0 vvm. . The production time could be reduced down to 48 hours with yield of gluconic acid 183.29 g/l and fructose as 106.78 g/l respectively.

ภาควิชา . ภาควิชาจุลชีววิทยา ..... ลายมือชื่อนิสิต ..... *จาริณี พันธ์พานิช*  
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *กานทิศา ชันฑาราศา-อาร์ด*  
ปีการศึกษา 2542 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... -

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์  
กรรมิกา จันทรสอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำ และ  
แนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ไขตรวจสอบและสนับสนุนในด้านต่างๆจน  
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการและคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาตรวจสอบ  
และแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง และสมบูรณ์

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุนันท์ รังสีกาญจน์ ที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยวิเคราะห์กรด  
กลูโคินิกและน้ำตาลชนิดต่างๆด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง  
(HPLC)

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาคจุลชีววิทยา  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวก  
ในการทำงานวิจัย

ความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มอบแด่คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทั้งทาง  
กำลังใจและกำลังทรัพย์ ตลอดจนบุคคลอันเป็นที่รักที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเป็น  
อย่างดียิ่งตลอดมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
คำอธิบายคำย่อ .....	ค
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย .....	36
3. ผลการทดลอง .....	50
4. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย .....	134
รายการอ้างอิง .....	150
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สูตรอาหารและวิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ .....	161
ภาคผนวก ข วิธีเตรียมสารเคมีที่สำคัญที่ใช้ในการทดลอง .....	163
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน .....	165
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณหาปริมาณกรดกลูโคสิกและปริมาณไนโตรเจน .....	172
ประวัติผู้เขียน .....	174

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ชนิดกรดอินทรีย์ที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ผู้ผลิตรายใหญ่ และกรรมวิธีในการผลิต.....	2
2. ข้อมูลการใช้กรดอินทรีย์บางชนิดและมูลค่าของกรด .....	3
3. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าประเทศไทยของกรดกลูโคสิก เกลือของกรดและเอสเทอร์ของกรด.....	4
4. ตัวอย่างสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดกลูโคสิก.....	9
5. เปรียบเทียบการผลิตกรดกลูโคสิกและเกลือกกลูโคเนต โดยใช้วิธีการหมักโดยจุลินทรีย์ .....	15
6. เปรียบเทียบปริมาณการซื้อขายน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ของอุตสาหกรรมและผู้ค้าส่ง ระหว่างปี 2538-2541.....	22
7. การใช้น้ำเชื่อมฟรักโทสความเข้มข้นสูง (HFS) ทดแทนน้ำตาลทรายในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ.....	24
8. ส่วนประกอบและการใช้งานของน้ำเชื่อมฟรักโทสความเข้มข้นสูง (High Fructose Syrup, HFS) .....	25
9. การแปรผันอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน.....	41
10. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคสิก ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคสิก และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคสิกเมื่อแปรผันความเข้มข้นน้ำตาลทราย (ขวดเขย่า) .....	62
10. ข ประสิทธิภาพของสายใย <i>A. niger</i> G153 ในการผลิตน้ำตาลฟรักโทส เมื่อแปรผันความเข้มข้นน้ำตาลทราย (ขวดเขย่า) .....	62
11. เปรียบเทียบปริมาณกรดกลูโคสิกและน้ำตาลฟรักโทส ที่วิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี และวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงของน้ำหมัก เมื่อผลิตที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 450 กรัมต่อลิตร (ขวดเขย่า) .....	66
12. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคสิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคสิก ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคสิก เมื่อแปรผันอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน (ขวดเขย่า) .....	73



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
12. ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตฟรักโทส ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตฟรักโทส เมื่อแปรผันอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน (ขวดเขย่า)..	73
13. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคนิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิก และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคนิก ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลทรายขาว 250 และ 300 กรัมต่อลิตร ในการผลิตระดับถึงหมัก .....	85
13. ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตฟรักโทส และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตฟรักโทส ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลทราย 250 และ 300 กรัมต่อลิตร ในการผลิตระดับถึงหมัก .....	85
14. อัตราการผลิตกรดกลูโคนิก และร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิก และฟรักโทส ที่ความเข้มข้นน้ำตาลทราย 300 และ 450 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่ากับความเข้มข้นน้ำตาลทราย 300 กรัมต่อลิตร ในระดับถึงหมัก.....	89
15. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคนิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิกและประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคนิก เมื่อแปรผันขนาดหัวเชื้อ (ถึงหมัก) .....	96
15. ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตฟรักโทส และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตฟรักโทส เมื่อแปรผันขนาดหัวเชื้อ (ถึงหมัก) .....	96
16. ก การใช้น้ำตาลซูโครสในน้ำตาลทรายช่วง 12 ชั่วโมงแรก อัตราการผลิตกรดกลูโคนิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิก และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคนิก เมื่อแปรผันค่าความเป็นกรดต่างๆกัน (ถึงหมัก)..	104
16. ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตฟรักโทส ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตน้ำตาลฟรักโทส เมื่อแปรผันค่าความเป็นกรดต่างๆกัน (ถึงหมัก) .....	104
17. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคนิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิก และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคนิก เมื่อแปรผันอัตราเร็วของการกวนต่างๆกัน (ถึงหมัก) .....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
17. ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคซิก ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตฟรักโทสเมื่อแปรผันอัตราเร็วของการกวนต่างๆกัน (ถึงหมัก) .....	111
18. ก อัตราการผลิตกรดกลูโคซิก ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคซิก และประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตกรดกลูโคซิก เมื่อแปรผันอัตราการให้อากาศต่างๆกัน (ถึงหมัก) .....	119
ข ร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคซิก ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิตฟรักโทส เมื่อแปรผันอัตราการให้อากาศต่างๆกัน (ถึงหมัก) .....	119

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. ขั้นตอนการเกิดครดกลูโคนิกจากน้ำตาลกลูโคส.....	11
2. แผนภาพแสดงการนำครดกลูโคนิกไปใช้.....	13
3. ขั้นตอนการผลิตครดกลูโคนิกในรูปแบบแคลเซียมกลูโคนิกและโซเดียมกลูโคเนต.....	17
4. การทำงานของอินเวอร์เทส.....	20
5. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	51
6. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 250 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	52
7. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 300 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	54
8. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 350 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	55
9. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 400 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	56
10. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 450 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	57
11. ปริมาณครดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 500 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	58

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
12. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนัก สายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้น น้ำตาลทรายเท่ากับ 550 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	59
13. เปรียบเทียบร้อยละของน้ำตาลทรายที่ผลิตกรดกลูโคนิกและร้อยละของน้ำตาล ทรายขาวที่ผลิตน้ำตาลฟรักโทส ณ วันที่ผลิตกรดกลูโคนิกสูงสุด เมื่อแปรผันความ เข้มข้นน้ำตาลทรายในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดกลูโคนิก ในระดับ ขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร.....	60
14. ผลการวิเคราะห์น้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต โดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบ ของเหลวสมรรถนะสูง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 450 กรัมต่อลิตร.....	67
15. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนัก สายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วน ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 250:0.25 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร...	69
16. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนัก สายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วน ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 250:0.5 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร...	70
17. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนัก สายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วน ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 250:1.0 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร...	71
18. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนัก สายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วน ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 250:1.5 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร...	72
19. เปรียบเทียบน้ำหนักสายใยแห้งที่ได้ระหว่างการผลิตกรดกลูโคนิก โดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร ที่แปรผันอัตราส่วน ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	75

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
20. ผลการวิเคราะห์น้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต โดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในระดับขวดเขย่า 250 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 450 กรัมต่อลิตร และมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนเท่ากับ 250:0.5 .....	77
21. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำหนักรายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 450 กรัมต่อลิตร .....	80
22. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำหนักรายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 350 กรัมต่อลิตร .....	82
23. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนักรายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 300 กรัมต่อลิตร .....	84
24. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทสและน้ำหนักรายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 250 กรัมต่อลิตร .....	87
25. เปรียบเทียบปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด และน้ำหนักรายใยแห้งในระหว่างการผลิต โดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 300 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่าและถังหมัก .....	90
26. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ปริมาณหัวเชื้อ 7% (ปริมาตรต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ) .....	92
27. ปริมาณกรดกลูโคนิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายใยแห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ปริมาณหัวเชื้อ 10% (ปริมาตรต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ) .....	93

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
28. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ปริมาณหัวเชื้อ 12% (ปริมาตรต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ) .....	94
29. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้งเมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่ปริมาณหัวเชื้อ 15% (ปริมาตรต่อปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ) .....	95
30. เปรียบเทียบน้ำตาลกลัยไซม์แห้ง ณ วันที่ให้ผลผลิตสูงสุดจากการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร โดยสายพันธุ์ <i>Aspergillus niger</i> G153 ที่ความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 300 กรัมต่อลิตร .....	97
31. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้งในระหว่างการผลิตโดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักเมื่อควบคุมค่าความเป็นกรดต่างช่วง 12 ชั่วโมงแรกเป็น 4.5 หลังจากนั้นควบคุมที่ 6.0-6.5 จนสิ้นสุดการทดลอง .....	101
32. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้งในระหว่างการผลิตโดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักเมื่อควบคุมค่าความเป็นกรดต่างช่วง 12 ชั่วโมงแรกเป็น 5.5 หลังจากนั้นควบคุมที่ 6.0-6.5 จนสิ้นสุดการทดลอง .....	102
33. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้งในระหว่างการผลิตโดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักเมื่อควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง 6.0-6.5 จนสิ้นสุดการทดลอง .....	103
34. ปริมาณกรดกลูโคซิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลัยไซม์แห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร จัดอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที .....	108

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
35. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร จัดอัตราการกวนเท่ากับ 550 รอบต่อนาที .....	109
36. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร จัดอัตราการกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที .....	110
37. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื้อจัดอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 ลิตรต่อลิตรอาหารต่อนาที .....	114
38. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื้อจัดอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.5 ลิตรต่อลิตรอาหารต่อนาที .....	115
39. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื้อจัดอัตราการให้อากาศเท่ากับ 2.0 ลิตรต่อลิตรอาหารต่อนาที .....	116
40. ปริมาณกรดกลูโคสิก น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวิสต์ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำหนักรายละเอียด เมื้อเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื้อจัดอัตราการให้อากาศเท่ากับ 2.5 ลิตรต่อลิตรอาหารต่อนาที .....	117
41. ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงของน้ำตาลแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต โดยการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ภายใต้ภาวะเหมาะสม .....	122
42. ตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำหมัก เมื่อนำไปเก็บในอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส .....	123
43. ตะกอนที่แยกได้จากน้ำหมัก แคลเซียมกลูโคเนตมาตรฐาน และส่วนน้ำใส ที่มีน้ำตาลฟรักโทสผสมอยู่ .....	124

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
44. โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ในน้ำหมักจากการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 และกรดกลูโคนิกมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Zorbox C-8 .....	126
45. โครมาโตแกรมของน้ำตาลในน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง <i>Aspergillus niger</i> G153 และน้ำตาลฟรักโทสมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Sphensorb-NH <sub>2</sub> .....	127
46. โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์จากตะกอนขาวที่แยกจากส่วนของเหลวใสและกรดกลูโคนิกมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Zorbox C-8 .....	128
47. โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์จากตะกอนขาวที่แยกจากส่วนของเหลวใสและกรดกลูโคนิกมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Spherisorb C-18 .....	129
48. โครมาโตแกรมของน้ำตาลจากตะกอนขาวที่แยกจากส่วนของเหลวใสและน้ำตาลฟรักโทสมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Sphensorb-NH <sub>2</sub> .....	130
49. โครมาโตแกรมของน้ำตาลจากของเหลวใสที่แยกตะกอนออกแล้ว และน้ำตาลฟรักโทสมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Sphensorb-NH <sub>2</sub> .....	131
50. โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์จากของเหลวใสที่แยกตะกอนออกแล้ว และกรดกลูโคนิกมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Zorbox C-8 .....	132



**คำอธิบายคำย่อ**

<b>คำย่อ</b>	<b>คำเต็ม</b>
ก/ล	กรัมต่อลิตร
ก/ล/วัน	กรัมต่อลิตรต่อวัน
ก/ล/ชม.	กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง
HFS (High Fructose Syrup)	น้ำเชื่อมฟรักโทสความเข้มข้นสูง