ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการผลิตสารให้ความหวานพลังงานต่ำชนิดฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดย *Penicillium* sp.H12

นางสาว วรรณา ศรีสัจจารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0937-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOME FACTORS AFFECTING LOW-CALORIE SWEETENER FRUCTOOLIGOSACCHARIDES PRODUCTION BY *Penicillium* sp.H12

Miss Wanna Srisatjarak

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 2000

ISBN 974-13-0937-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการผลิตสารให้ความหวานพลังงานต่ำชนิดฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดย *Penicillium* sp.H12
โดย	นางสาว วรรณา ศรีสัจจารักษ์
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ส่งศรี กุลปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

วรรณา ศรีสัจจารักษ์ : ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการผลิตสารให้ความหวานพลังงานต่ำชนิดฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดย *Penicillium* sp.H12. (SOME FACTORS AFFECTING LOW-CALORIE SWEETENER FRUCTOOLIGOSACCHARIDES PRODUCTION BY *Penicillium* sp. H12) อ. ที่ปรึกษา : รศ.กรรณิกา จันทรสอาด, 168 หน้า. ISBN 974-13-0937-6.

ได้ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการผลิตสารให้ความหวานพลังงานต่ำชนิดฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructooligosaccharides , FOS) โดยการเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเหลว ผลการทดลองพบว่า FOS เป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิ ปริมาณหัวเชื้อส่งผลโดยตรงต่อการเติบโตและระยะเวลาในการผลิต FOS โดยหัวเชื้อสปอร์แขวนลอยปริมาณ 10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ให้การเติบโตมากที่สุด ผลิต FOS ได้มากและเร็วที่สุด อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลโดยตรงต่อการเติบโต แต่การเติบโตมากเกินไปไม่ได้ทำให้ผลิต FOS มากตาม โดยอัตราส่วนที่แสดงให้เห็นถึงสมดุลระหว่างการเติบโตและการผลิตคือ 145 : 1.0 ซึ่งให้ผลผลิต FOS รวม เท่ากับ 53.9 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นมีผลต่อการผลิต FOS และการเติบโต โดยความเข้มข้นของน้ำตาลทรายที่เหมาะสมคือ 250 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลผลิต FOSรวม สูงถึง 138.81 กรัมต่อลิตร (55.52 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อสูงหรือต่ำเกินไปทำให้ผลิต FOS ได้น้อยและช้า ผลผลิต FOS เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 157.44 และ 154.44 กรัมต่อลิตร เมื่อควบคุมค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อตลอดการทดลองและค่าพีเอชตั้งต้นเท่ากับ 5.0 ตามลำดับ อุณหภูมิมีผลต่อการผลิต FOS ด้วยเช่นกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์สายพันธุ์นี้ผลิต FOS ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ออกซิเจนละลายมีผลโดยตรงต่อการเติบโตและการผลิต FOS โดยการให้ออกซิเจนละลาย 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าอากาศอิ่มตัว ให้ผลผลิตFOS สูงที่สุด (139.2 กรัมต่อลิตร) ในระยะเวลาสั้น (14 ชั่วโมง) การปรับปรุงการผลิตโดยเพิ่มอาหารเลี้ยงเชื้อในระหว่างการเพาะเลี้ยง สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต FOS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเพิ่มขึ้นเป็น 176.35 กรัมต่อลิตร

ภาควิชา จุลชีววิทยา
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4072375323: MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD:FRUCTOOLIGOSACCHARIDES / KESTOSE / FRUCTOSYLTRANSFERASE / *Penicillium* sp.

WANNA SRISATJARAK : SOME FACTORS AFFECTING LOW-CALORIE SWEETENER FRUCTOOLIGOSACCHARIDES PRODUCTION BY *Penicillium* sp.H12., THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KANNIKA CHANTARASA-ARD , 168 pp. ISBN 974-13-0937-6.

Some factors affecting low calorie sweeteners fructooligosaccharides (FOS) production by *Penicillium* sp.H12 in liquid medium were studied. The result showed that FOS were primary metabolite. The amount of inoculum had direct effect on growth and FOS production time. The 10^9 spore suspension/millilitre gave the highest biomass and FOS in shortest production time. C:N ratios had direct affect toward growth but a large amount of cell mass could not produce high yield of FOS. The C:N ratios that showed balance between growth and production is 145 :1.0 which gave 53.9 g/l of total FOS. The initial concentration of refined cane sugar affect the FOS production and growth. The suitable concentration of refined cane sugar for growth and FOS production by batch fermentation was 250 g/l which gave 138.81 g/l of total FOS (55.52 % w/w). Too low or high pH of medium resulted in low FOS yield and long cultivation time. The yield of FOS was increased upto 157.44 and 154.44 g/l by controlling the pH of medium throughout the experiment and the initial pH at 5.0 , respectively. The temperature also showed effect on FOS production. At 30°C, the strain had highest efficient to produce FOS. Dissolve oxygen affected on growth and FOS production, the maximum FOS (139.2 g/l) was produced in short time (14 hours), with 80% dissolve oxygen. FOS production could be enhanced efficiently by addition of culture medium during cultivation, the maximum amount of FOS increased upto 176.35 g/l.

Department	Microbiology	Student's signature	.....
Field of study	Industrial Microbiology	Advisor's signature	.....
Academic year	2000	Co-advisor's signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำและแนวทางในการทำงานวิจัยตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขและสนับสนุนในด้านต่างๆจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการและคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณ สุนันท์ รังสีกาญจน์ส่อง ที่ช่วยวิเคราะห์และช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนมา รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

ความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังใจและกำลังทรัพย์ตลอดจนบุคคลอันเป็นที่รักที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วรรณา ศรีสัจจารักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

คำอธิบายคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1.บทนำ 1

2.อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย 34

3.ผลการวิจัย 45

4.สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย 135

รายการอ้างอิง 148

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สูตรอาหารและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 156

ภาคผนวก ข วิธีเตรียมสารเคมีที่สำคัญที่ใช้ในการทดลอง 158

ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน 160

ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณหาปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณไนโตรเจน 166

ประวัติผู้เขียน 168

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ผลิต FOS และจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์สำหรับผลิต FOS.....	9
2. ตัวอย่างพืชที่พบ FOS และเอนไซม์สำหรับผลิต FOS.....	10
3. ตัวอย่างสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์.....	11
4. การใช้เอนไซม์ในรูปแบบต่างๆจากจุลินทรีย์ในการผลิต FOS.....	27
5. การใช้เซลจุลินทรีย์ในรูปแบบต่างๆในการผลิต FOS.....	27
6. การแปรผันอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน.....	40
7. เปรียบเทียบความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนในการผลิต FOS โดยการเพิ่มและไม่เพิ่มอาหารเลี้ยงเชื้อในระหว่างการผลิต.....	44
8. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อผลิตโดยมีและไม่มีการเขย่า.....	52
9. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตรวมสูงสุด เมื่อแปรผันชนิดและปริมาณหัวเชื้อ.....	71
10. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อแปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลทรายต่างกัน.....	89
11. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิต่างกัน.....	115
12: เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อมีการเพิ่มและไม่เพิ่มอาหารเลี้ยงเชื้อระหว่างการผลิต..	132
13.สรุปผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการผลิต FOS โดย *Penicillium* sp.H12.....	142

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.	โครงสร้างทางเคมีของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์	2
2.	การทำงานของเอนไซม์ FT ในการสร้าง FOS	18
3.	การสร้าง FOS เมื่อใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารตั้งต้น	20
4.	ปริมาณ FOS น้ำตาลชนิดต่างๆ ค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเหลวโดยไม่มีการเขย่า	47
5.	ปริมาณ FOS น้ำตาลชนิดต่างๆ ค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเหลวที่มีการเขย่าบนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่	48
6.	โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน FOS และน้ำตาลชนิดต่างๆ เมื่อ วิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)	49
7.	ตัวอย่างโครมาโตแกรมของ FOS และน้ำตาลชนิดต่างๆ ในน้ำหมัก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 โดยวิธีการเขย่าและไม่มีการเขย่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)	50
8.	ร้อยละการงอกของสปอร์ เมื่อเพาะเลี้ยงสปอร์แขวนลอยของ *Penicillium* sp.H12 บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่	53
9.	การเติบโตของ *Penicillium* sp.H12 เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 80 และ 50 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 168 ชั่วโมง มีปริมาณหัวเชื้อสปอร์แขวนลอย ~2 x 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่	55
10.	ปริมาณ FOS และน้ำตาลชนิดต่างๆ เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 80 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 168 ชั่วโมง มีปริมาณหัวเชื้อสปอร์แขวนลอย ~2 x 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่	56
11.	ปริมาณ FOS และน้ำตาลชนิดต่างๆ เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 50 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 168 ชั่วโมง มีปริมาณหัวเชื้อสปอร์แขวนลอย ~2 x 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

12. การเติบโตของ *Penicillium* sp. H12 ระหว่างการผลิต โดยหัวเชื้อ 2 ชนิด ในปริมาณต่างๆกัน ใช้อาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 60
13. เปรียบเทียบค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการเพาะเลี้ยง เมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์งอกปริมาณต่างๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทราย เท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 61
14. เปรียบเทียบค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการเพาะเลี้ยง เมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์แขวนลอยปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 62
15. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครสตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์งอกปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทราย เท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 64
16. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครสตลอดการเพาะเลี้ยง เมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์แขวนลอยปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 65
17. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์งอกปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 66
18. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์แขวนลอยปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 67
19. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์งอกปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 69
20. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS โดยใช้หัวเชื้อชนิดสปอร์แขวนลอยปริมาณต่าง ๆ ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

21. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลซูโครส ค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 73
22. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 74
23. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 76
24. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 77
25. เปรียบเทียบปริมาณนีสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงเมื่อผลิต FOS ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 79
26. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp. H12 ในอาหารเหลวที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆกัน..... 80
27. เปรียบเทียบน้ำหนักสายใยแห้ง ค่าพีเอชและปริมาณน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 82
28. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครสตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 83
29. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 85
30. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

31. เปรียบเทียบปริมาณนีสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตั้งต้นต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 88
32. เปรียบเทียบค่าพีเอชและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 91
33. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม น้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 92
34. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 94
35. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและค่าพีเอช ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 95
36. เปรียบเทียบปริมาณนีสโตสและค่าพีเอช ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 97
37. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าพีเอชตั้งต้นต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 98
38. เปรียบเทียบน้ำหนักสายใยแห้งและปริมาณน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่ควบคุมค่าพีเอชตลอดการทดลองต่าง ๆ กัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 100
39. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเหลว ที่ควบคุมค่าพีเอชตลอดการทดลองต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 101
40. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่ควบคุมค่าพีเอชตลอดการทดลองต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 103
41. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่ควบคุมค่าพีเอชตลอดการทดลองต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 104
42. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตส ตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเหลวที่ควบคุมค่าพีเอชตลอดการทดลองต่างๆกัน บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

43. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp. H12 ในอาหารเหลวที่ควบคุมค่าพีเอชต่างๆ..... 107
44. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 110
45. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครส ตลอดการเพาะเลี้ยง ในอาหารเหลว ที่อุณหภูมิต่างๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 111
46. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 112
47. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตสตลอดการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ บนเครื่องเขย่าแบบโรตารี่..... 114
48. เปรียบเทียบน้ำหนักสายใยแห้งและปริมาณออกซิเจนละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อตลอดการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลาย 100 80 60 และ 40 เปอร์เซ็นต์ของค่าอากาศอิ่มตัว..... 117
49. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำหนักสายใยแห้ง ตลอดการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่างๆ..... 118
50. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครส ตลอดการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp. H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่างๆ..... 120
51. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ตลอดการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่างๆ.... 121
52. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตสตลอดการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่างๆ..... 122
53. เปรียบเทียบปริมาณ FOS อัตราการผลิต น้ำหนักสายใยแห้ง Yp/x และ Yp/s ณ.ชั่วโมงที่ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่างๆ..... 124

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

54. เปรียบเทียบปริมาณ FOSรวม และน้ำตาลซูโครส เมื่อผลิต FOS ในถังหมัก ขนาด 5 ลิตร ที่มีการเพิ่มอาหารในชั่วโมงที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงและไม่เพิ่มอาหาร 127

55. เปรียบเทียบปริมาณเคสโตสและนีสโตส เมื่อผลิต FOS ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีการเพิ่มอาหารในชั่วโมงที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงและไม่เพิ่มอาหาร..... 128

56. เปรียบเทียบน้ำหนักสายใยแห้ง เมื่อผลิต FOS ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีการเพิ่มอาหารในชั่วโมงที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงและไม่เพิ่มอาหาร..... 129

57. เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโตส เมื่อผลิต FOS ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีการเพิ่มอาหารในชั่วโมงที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง และไม่เพิ่มอาหาร..... 130

58. โครมาโตแกรมของ FOS และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง *Penicillium* sp.H12 และสารมาตรฐาน FOS และน้ำตาลชนิดต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง(HPLC) โดยจัดปริมาณออกซิเจนละลายเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าอากาศอิ่มตัว..... 134

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม
ก/ล	กรัมต่อลิตร
ก/ล/ชม.	กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง
ชม.	ชั่วโมง
FOS	ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์
HPLC	High performance liquid chromatography (โครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง)
G	น้ำตาลกลูโคส
F	น้ำตาลฟรักโตส
GF	น้ำตาลซูโครส
GF2	FOSชนิดเคสโตส
GF3	FOSชนิดนีสโตส
GF4 หรือ FFN	FOSชนิดฟรักโตฟิวแรนโนซิลนีสโตส
FOSรวม หรือ total	FOSชนิดเคสโตสรวมกับFOSชนิดนีสโตส
Yp/x	ประสิทธิภาพของสายใยในการผลิต FOS
Yp/s	ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสไปเป็น FOS
FT	เอนไซม์ฟรักโตซิลทรานเฟอเรส
FF	เอนไซม์ฟรักโตฟิวแรนโนซิเดส
Ut	กิจกรรมทรานฟรักโตซิลเลชั่น (การเคลื่อนย้ายน้ำตาลฟรักโตสเพื่อสร้างFOS)
Uh	กิจกรรมไฮโดรไลซิส (การสลาย FOS)