การผลิตแซนแทนกัมในถังหมักโดยใช้ไฮโดรไลเซทจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

นางสาวปุณยนุช วชิรวรรณกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5740-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF XANTHAN GUM IN FERMENTER BY USING HYDROLYSATE FROM CASSAVA PRODUCTS

Miss Punyanuch Vashirawannagoon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science in Biotechnology

Program of Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5740-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตแซนแทนกัมในถังหมักโดยใช้ไฮโดรไลเซทจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง
โดย	นางสาว ปุณยนุช วชิรวรรณกุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปุณยนุช วชิรวรรณกุล : การผลิตแซนแทนกัมในถังหมักโดยใช้ไฮโดรไลเซทจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (PRODUCTION OF XANTHAN GUM IN FERMENTER BY USING HYDROLYSATE FROM CASSAVA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ 104 หน้า ISBN 974-17-5740-9

ไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยกากมันหรือแป้งมันสำปะหลัง ถูกนำมาเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเลี้ยงเชื้อ *Xanthomonas campestris* TISTR 840 ในการผลิตแซนแทนกัม โดยนำกากมันหรือแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.8 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30, 60 นาที และ แอลฟาอะไมเลสก่อนเป็นเวลา 60 นาที ในภาวะเดียวกับข้างต้นแล้วย่อยต่อด้วยกลูโคอะไมเลส ที่ภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.1-4.3 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบว่าไฮโดรไลเซทที่ได้มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 5.58 7.77 10.38 และ 38.84 กรัมต่อลิตร และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 8856 5147 4009 และ 1282 ดาลตัน ตามลำดับ แป้งมันสำปะหลังที่ย่อยด้วยภาวะเดียวกันกับกากมันสำปะหลังมีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 46.79 55.95 60.91 และ 72.23 กรัมต่อลิตร และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 1819 751 559 และ 436 ดาลตัน ตามลำดับ นำไฮโดรไลเซทที่ได้จากกากมันและแป้งมันที่ย่อยด้วยแอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 15 30 และ 60 นาที ร่วมกับกลูโคอะไมเลส 120 นาที ไปเป็นแหล่งคาร์บอนเลี้ยงเชื้อ *Xanthomonas campestris* TISTR 840 ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรปรับปรุงของ Roseiro (1992) 300 มิลลิลิตร โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเท่ากับ 30 กรัมต่อลิตร ในการเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยด้วยแอลฟาอะไมเลสและกลูโคอะไมเลสซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 436 ดาลตัน ได้ปริมาณแซนแทนกัมมากที่สุดเท่ากับ 13.47 กรัมต่อลิตร เมื่อนำไปเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ลิตร ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเท่ากับ 30 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm. ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 พบว่า ได้ปริมาณแซนแทนกัมเท่ากับ 19.41 กรัมต่อลิตร และมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.034 ต่อชั่วโมง จากนั้นแปรค่าอัตราการเจือจางเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงแบบต่อเนื่องโดยแปรอัตราการเจือจางในอัตรา 0.02 0.03 0.04 และ 0.06 ต่อชั่วโมง พบว่า ที่อัตราการเจือจาง 0.02 ต่อชั่วโมง ได้ปริมาณแซนแทนกัมมากที่สุดเท่ากับ 9.58 กรัมต่อลิตร และเมื่อแปรอุณหภูมิในการหมักแบบต่อเนื่องในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ลิตร โดยใช้ภาวะการหมักแบบเดิมพบว่าที่อุณหภูมิ 27 30 และ 33 องศาเซลเซียส เชื้อสามารถผลิตแซนแทนกัมได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

หลักสูตร.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ....	ลายมือชื่อนิสิต.....ปุณยนุช วชิรวรรณกุล.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4372317223 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : XANTHAN GUM, CASSAVA STARCH, HYDROLYSATE, *Xanthomonas campestris*

PUNYANUCH VASHIRAWANNAGOON: PRODUCTION OF XANTHAN GUM IN FERMENTER BY USING HYDROLYSATE FROM CASSAVA . THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUMATE TANTRATIAN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : CHIDPHONG PRADISTSUWANA, Ph.D. 104 pp. ISBN 974-17-5740-9

The cassava pulp and cassava starch were hydrolyzed enzymatically and used as carbon source for *Xanthomonas campestris* TISTR 840 to produce xanthan gum. The cassava pulp or cassava starch (7% w/v) was hydrolyzed with ∝–amylase at 80°C, pH 5.8 for 15, 30, 60 minutes and ∝–amylase for 60 minutes followed with glucoamylase at 60°C, pH 4.1 – 4.3 for 120 minutes. It was found that cassava pulp hydrolyzed with ∝–amylase for 15, 30, 60 minutes and that hydrolyzed with ∝–amylase for 60 minutes and with glucoamylase for another 120 minutes yielded 5.58, 7.77, 10.38 and 38.84 g/l reducing sugar, respectively. The average molecular weight of cassava pulp hydrolysates were 8856, 5147, 4009 and 1282 Dalton, respectively. Cassava starch was hydrolyzed with ∝–amylase for 15, 30, 60 minutes and that hydrolyzed with ∝–amylase for 60 minutes and with glucoamylase for another 120 minutes yielded 46.79, 55.95, 60.91 and 72.23 g/l reducing sugar, respectively and average molecular weight of the cassava starch hydrolysates were 1819, 751, 559 and 436 Dalton, respectively. The cassava pulp hydrolysates and cassava starch hydrolysates which were hydrolyzed with ∝–amylase for 15, 30 minutes and combination of ∝–amylase and glucoamylase were chosen for carbon sources. The *Xanthomonas campestris* TISTR 840 was grown in the 300 ml modified Roseiro (1992) medium contained total carbohydrate were adjusted 30 g/l, shaken at 200 rpm, pH 7.0, 30°C. It was found that cassava starch hydrolyzed with ∝–amylase and glucoamylase which contained the smallest average molecular weight were 436 Dalton, gave the highest xanthan gum production at 13.47 g/l. This hydrolysate was chosen for the carbon source in a batch fermentation which carried on in a 5 litre fermenter contained 2 litres of medium with the total carbohydrate 30 g/l, at 30°C, agitation rate 300 rpm, aeration rate 0.5 vvm. And pH 7.0. This batch fermentation produced xanthan gum at 19.41 g/l and had the specific growth rate of the culture at 0.034 h^{-1}. The dilution rate was varied at 0.02, 0.03, 0.04 and 0.06 h^{-1} to find the optimum conditions in continuous fermentation. It was found that, the dilution rate of 0.02 h^{-1} gave the highest xanthan gum production at 9.58 g/l. Finally, the temperature was varied to 27, 30 and 33°C. The result showed there was no different in the production of xanthan gum in all temperatures.

Program.....Biotechnology..... Student's signature.....Punyanuch Vashirawannagoon.....

Field of study.....Biotechnology..... Advisor's signature.....Sumate Tantratian.....

Academic year.....2003..... Co-advisor's signature.....Chidphong Pradistsuwana.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้โดยรับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. พันทิพา จันทวัฒน์ ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบริษัทอีสเอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณบริษัทสำปะหลังพัฒนาที่ให้ความอนุเคราะห์กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารโดยเฉพาะคุณสำเริง จันทร์นิยม ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกการในใช้ห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชายและญาติผู้ใหญ่ ที่เป็นกำลังใจสำคัญอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง..... .....ฌ
สารบัญรูป.....ฎ

บทที่

1 บทนำ.....1
2 วารสารปริทัศน์..... 2
2.1 มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....2
2.2 กัม (Gum).....9
2.3 แซนแทนกัม (Xanthan Gum).....11
2.4 จุลินทรีย์สร้างแซนแทนกัม.....13
2.5 โครงสร้างแซนแทนกัม.....13
2.6 การผลิตแซนแทนกัมกัม.....15
2.7 สมบัติทางกายภาพของแซนแทนกัม.....19
2.8 สมบัติโดยทั่วไปของแซนแทนกัม.....20
2.9 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแซนแทนกัม... 22
2.10 การหมักแบบต่อเนื่อง.....27
3 วิธีการทดลอง..... 33
3.1 วัตถุดิบ..... 33
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 33
3.3 แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง..... 35
3.4 การเก็บรักษาเชื้อและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง... 35
3.5 การเตรียมแหล่งคาร์บอนจากการย่อยกากมันหรือแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์.....36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.6 ศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลต่างกันต่อการผลิตแซนแทนกัม ของเชื้อ *X. campestris* TISTR 840..... 37

3.7 ศึกษาการผลิตแซนแทนกัมแบบต่อเนื่องของเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....39

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....41

4.1 ผลการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสที่เวลาต่างกัน.....41

4.2 ผลการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสที่เวลาต่างกัน.....46

4.3 ผลของแหล่งคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลต่างกันต่อ การผลิตแซนแทนกัมของเชื้อ *X. campestris* TISTR 840.....51

4.4 ผลของการผลิตแซนแทนกัมแบบต่อเนื่องในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....58

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....67

5.1 สรุปผลการทดลอง.....67

5.2 ข้อเสนอแนะ.....68

รายการอ้างอิง.....69

ภาคผนวก.....78

ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ.....79

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์.....80

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลิตภัณฑ์.....91

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....99

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....104

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง.....4
1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป.....6
1.3 มูลค่าการนำเข้ากัมชนิดต่าง ๆ 9
1.4 กัมจากสาหร่าย พืช และจุลินทรีย์.....10
1.5 ปริมาณการใช้และราคาของกัมชนิดต่าง ๆ.....11
1.6 การใช้แซนแทนกัมทางด้านอาหาร.....12
1.7 สมบัติทางกายภาพของแซนแทนกัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.....19
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง.....41
4.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและค่าสมมูลเดกซโตรสของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อย กากมันสำปะหลังด้วยด้วยแอลฟาอะไมเลสที่เวลาต่างๆ.....43
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป.....46
4.4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและค่าสมมูลเดกซโตรสของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อย แป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสที่เวลาต่างๆ.....47
4.5 ผลวิเคราะห์ที่ได้จากกากมันหรือแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยด้วยเอนไซม์.....51
4.6 ปริมาณเซลล์ ปริมาณแซนแทนกัม และ น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อแบบ เขย่าโดยใช้แหล่งคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 ชั่วโมงที่ 120.....56
4.7 ปริมาณเซลล์ ปริมาณแซนแทนกัม และ น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm. ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง.....61
4.8 ปริมาณเซลล์ ปริมาณแซนแทนกัม และ น้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 2 ลิตร ที่อัตราการเจือจาง 0.02 ต่อชั่วโมง อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm. ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง.....64

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาทีโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....99

6.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาทีโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design 99

6.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือเมื่อเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีขนาดโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตต่างๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมงโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design 100

6.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีขนาดโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตต่างๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมงโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design 100

6.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแซนแทนกัมเมื่อเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีขนาดโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตต่างๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมงโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ...100

6.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความหนืดน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีขนาดโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตต่างๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมงโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ...101

6.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยแปรอัตราการเจือจางต่างๆ กัน อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....101

6.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยแปรอัตราการเจือจางต่างๆ กัน อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....101

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

6.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแซนแทนกัมเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยแปรอัตราการเจือจางต่างๆ กัน อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....102

6.10ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความหนืดน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยแปรอัตราการเจือจางต่างๆ กัน อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....102

6.11ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง และแปรอุณหภูมิโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....102

6.12ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง และแปรอุณหภูมิโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....103

6.13ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแซนแทนกัมเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง และแปรอุณหภูมิโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....103

6.14ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความหนืดน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อในการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง และแปรอุณหภูมิโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design.....103

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1.1 โครงสร้างของอะไมโลส.....5
1.2 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน.....6
1.3 โครงสร้างของแซนแทนกัม.....15
1.4 กลไกการสังเคราะห์แซนแทนกัม.....17
1.5 กลไกการสังเคราะห์ Lipid-intermediate ของแซนแทนกัม.....18
1.6 แผนผังการสังเคราะห์แซนแทนกัมภายในไซโตรพลาสซึม.....18
4.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลส ที่เวลาต่างกัน.....42
4.2 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลส ที่เวลาต่างกัน.....42
4.3 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมของไฮโดรไลเซทที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสที่เวลาต่างกัน.....44
4.4 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงร่วมกับกลูโคอะไมเลสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....45
4.5 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงร่วมกับกลูโคอะไมเลสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....45
4.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลส ที่เวลาต่างกัน.....46
4.7 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลส.....48
4.8 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมของไฮโดรไลเซทน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลส.....48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.9 น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงร่วมกับกลูโคอะไมเลสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....49

4.10น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมของไฮโดรไลเซทน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยแอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงร่วมกับกลูโคอะไมเลสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....50

4.11ผลการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 แบบเขย่าในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนที่มีแหล่งคาร์บอนเวลาที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง 53

4.12ปริมาณแซนแทนกัมจากการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 แบบเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน.....57

4.13ความหนืดของแซนแทนกัมที่ผลิตจากเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 แบบเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน.....57

4.14ผลการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ที่อัตราการเจือจางต่างๆ.....61

4.15ปริมาณแซนแทนกัมจากการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ที่อัตราการเจือจางต่างๆ.....62

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.16ความหนืดของแซนแทนกัมจากการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ที่อัตราการเจือจางต่างๆ.....62

4.17ผลการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อัตราการเจือจาง 0.02 ต่อชั่วโมง อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ.....65

4.18ปริมาณแซนแทนกัมจากการเลี้ยงเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อัตราการเจือจาง 0.02 ต่อชั่วโมง อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่างๆ.....66

4.19ความหนืดของแซนแทนกัมที่ผลิตจากเชื้อ *X. campestris* TISTR 840 ในการหมักแบบต่อเนื่อง ในถังหมักปริมาตร 5 ลิตร ที่อัตราการเจือจาง 0.02 ต่อชั่วโมง อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.5 vvm.ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเวลา 120 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่างๆ.....66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย