

การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้
เซลล์และ Saccharomyces cerevisiae



นางลาวอานวย ชวีญเมือง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาพฤษศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-584-4-548-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I1675888.2

ALCOHOLIC FERMENTATIONION OF CROP RESIDUES USING CELLULASE
AND Saccharomyces cerevisiae



Miss Amnuay Kwanmuang

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

Department of Botany

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-584-548-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้
เซลล์เลสและ Saccharomyces cerevisiae

โดย

นางสาวอำนวยการ ชวีญเมือง

ภาควิชา

พฤกษศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

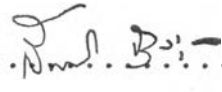
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรษา ปุณณะพยัคฆ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


รองศาสตราจารย์มุกดา คูหิรัญ

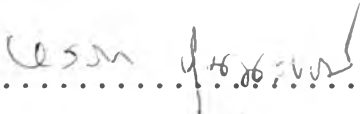



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..........คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อึ้งสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..........ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

..........อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

..........อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์มุกดา คูหิรัญ)

..........กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เตือนใจ ไก่สกุล)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อำนาจ ขวัญเมือง : การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เซลลูเลส และ *Saccharomyces cerevisiae* (ALCOHOLIC FERMENTATION OF CROP RESIDUES USING CELLULASE AND *Saccharomyces cerevisiae*) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. พรรษา ปุณณะพยัคฆ์ รศ. มุกดา คูหิรัญ, 113 หน้า. ISBN 974 - 584 - 4 - 548 - 5

เซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย และต้นมันสำปะหลัง การใช้ประโยชน์โดยเปลี่ยนเป็นเอทานอลทำได้โดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงการผลิตเอนไซม์ การหมักเอทานอลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เอนไซม์จากเชื้อราย่อยสลายเซลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคส และหมักน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอล จากการคัดเลือกเชื้อราเพื่อผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา 2 ชนิด 3 สายพันธุ์ คือ *T. reesei* QM 9414 *T. reesei* QM 6a และ *Aspergillus* sp. No 3335 พบว่า *T. reesei* QM 6a ให้ activity ของเอนไซม์สูงสุดที่อายุ 9 วัน โดยมีค่าของ endoglucanase (CMCase) เท่ากับ 3.6973 หน่วย/มล. และ cellulase filter paper activity เท่ากับ 0.8525 หน่วย/มล. เมื่อทดสอบอายุการผลิต พบว่าอายุ 12 วัน ให้เอนไซม์สูงสุด ซึ่งเมื่อนำมาผลิตในถังหมักเป็นเวลา 12 วันจะได้ CMCase เท่ากับ 2.876 หน่วย/มล. และ FPA เท่ากับ 0.810 หน่วย/มล.

การย่อยสลายฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย และต้นมันสำปะหลัง ที่ผ่านการปรับสภาพในต่างด้วยเอนไซม์เพื่อการค้ำและเอนไซม์ที่ผลิตได้จากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a การย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพื่อการค้ำให้ผลผลิตของน้ำตาลรีดิวิซ์เท่ากับ 0.720 0.693 และ 0.525 กรัมต่อกรัมสับสเตรท ผลผลิตของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 0.353 0.345 และ 0.276 กรัม ต่อกรัมสับสเตรทในฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อย ตามลำดับ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ให้ผลผลิตของน้ำตาลรีดิวิซ์เท่ากับ 0.328 0.289 และ 0.216 กรัมต่อกรัมสับสเตรท ผลผลิตของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 0.170 0.132 และ 0.158 กรัมต่อกรัมสับสเตรท ในฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อย ตามลำดับ ส่วนต้นมันสำปะหลังไม่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเมื่อใช้ทั้ง 2 วิธีการ

การหมักเอทานอลจากวัสดุที่ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้ำและเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ผลผลิตของเอทานอลในฟางข้าวเท่ากับ 0.145 และ 0.133 กรัมต่อกรัมสับสเตรท ชังข้าวโพดเท่ากับ 0.251 และ 0.156 กรัมต่อกรัมสับสเตรท และชานอ้อยเท่ากับ 0.156 และ 0.172 กรัมต่อกรัมสับสเตรท จากการย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อการค้ำและเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ตามลำดับ

ผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้ยังเป็นแนวทางที่จะนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ มาใช้ประโยชน์ และยังเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในอนาคตต่อไป

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



C425395 : MAJOR BOTANY

KEY WORD: ETHANOL / ALCOHOLIC FERMENTATION / CELLULOSE / Saccharomyces

cerevisiae

AMNUAY KWANMUANG : ALCOHOLIC FERMENTATION OF CROP RESIDUES USING CELLULOSE AND Saccharomyces cerevisiae. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. HUNSA PUNNAPAYAK, Ph.D., ASSO. PROF. MUKDA KUHIRUN 113 pp. ISBN 974-584-4-548-5

Cellulose an organic material found all crop residues such as rice straws, corn cobs, bagasse and cassava stalks. May be converted into ethanol via biotechnological processes. This study emphasized on an from fungi and the ethanol fermentation from crop residues by enzymatic hydrolysis to glucose and fermentation into ethanol. The fungi studied for cellulase production were Trichoderma reesei QM 9414, T. reesei QM 6a and Aspergillus sp. No 3335. T. reesei QM 6a gave the maximum cellulase activity on the ninth days, with an average endoglucanase (CMCase) of 3.6973 unit/ml. and the cellulase filter paper activity 0.8525 unit/ml. The test of T. reesei QM 6a for cellulase production, revealed the maximum cellulase activity on the twelve days. The cellulase production using a fermentor for twelve days gave the enzyme with CMCase 2.876 unit/ml. and FPA 0.810 unit/ml.

The alkali pretreated rice straws, corn cobs and cassvastalks were hydrolyzed by commercial enzymes and crude cellulase from T. reesei QM 6a. One gram per dryweight of rice straws, corn cobs and bagasse produced the reducing sugars of 0.720, 0.693 and 0.525 gram containing glucose of 0.353 0.345 0.276 gram from commercial enzymes hydrolysis respectively. The rice straws, corn cobs and bagasse hydrolysate by crude cellulase from T. reesei QM 6a, showed that one gram per dryweight produced the reducing sugars of 0.328, 0.289 and 0.216 gram containing glucose of 0.170, 0.132 and 0.158 gram respectively. Cassava stalks could not be hydrolyzed under these condition.

The crop residues hydrolysate from commercial enzymes and T. reesei enzyme were fermented with Saccharomyces cerevisiae gave the maximum ethanol production of 0.156 and 0.133 gram per gram substrate (g/g) from rice straws, 0.251 and 0.156 g/g form corn cobs and 0.156 and 0.172 g/g from bagasse.

The result of this research may be applicable to various other crop residues for the ethanol production from cellulose in the future.

ภาควิชา.....พฤกษศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต..... *Ramp Nam*

สาขาวิชา.....พฤกษศาสตร์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *U.S.M. Punnapayak*

ปีการศึกษา..... 2537

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *M. - Guner*



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิและสถาบันดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.हरรรษา ปุณณะพยัคฆ์ อาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์มุกดา คูหิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านการวางแผนการทดลอง และค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง หัวหน้าภาควิชาพฤกษศาสตร์ และเป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดทั้งยังได้ช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เตื่อนใจ ไก่สกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยแนะนำตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี จันทรสนิท ผู้ให้ความช่วยเหลือสมทบทุนในการจัดซื้อเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และ อ.ทรงศักดิ์ สาราญสุข ให้ความช่วยเหลือการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์

ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานที่ใช้ในการศึกษา การทำวิจัยทดลอง ตลอดจนให้ความรู้ทางด้านวิชาการต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสังคมและประเทศชาติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้ทุนผู้ช่วยสอน ทำให้เพิ่มเติมความรู้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต และสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวทช.) ที่ให้ทุนการศึกษาและทุนวิจัย บริษัท อีสต์เอเซียติกประเทศไทย จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเอนไซม์สำหรับการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมวิไล และ อาจารย์ศรีประไพ ชื่นศรี ผู้ให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ตลอดทั้งขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา คุณสมเจตน์ แสงคำ ที่ให้กำลังใจที่ดีตลอดมา และขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชาพฤกษศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดที่ทำการวิจัย จนสำเร็จการศึกษา

นางสาวอานวย ชวีญเมือง



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฉ

บทที่

1. บทนำ.....	1
2. การตรวจเอกสาร.....	6
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	25
4. ผลการทดลอง.....	35
5. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง.....	83
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1	ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบางชนิด.....	10
2	การทดสอบ activity ของเอนไซม์จากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 9414 <u>T. reesei</u> QM 6a และ <u>Aspergillus</u> sp. No. 3335 ด้วย CMCase และ FPA method เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร production medium ที่อายุการเลี้ยง 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	39
3	activity ของเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a เมื่อวิเคราะห์ด้วย CMCase และ FPA method เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร production medium ที่อายุการเลี้ยง 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	44
4	การผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a โดยใช้ถังหมักที่อายุการเลี้ยง 3 6 9 และ 12 วัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย CMCase และ FPA method.....	47
5	น้ำหนักแห้งของฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย และต้นมันสำปะหลัง ก่อนและหลังการปรับสภาพ.....	50
6	การย่อยสลายฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย และต้นมันสำปะหลัง 20 กรัม/น้ำหนักแห้ง ด้วยเอนไซม์เพื่อการค้า.....	52
7	การย่อยสลายฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย และต้นมันสำปะหลัง 10 กรัม/น้ำหนักแห้ง ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a.....	56
8	การหมักเอทานอลจากฟางข้าวที่ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้าที่อายุหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....	60
9	การหมักเอทานอลจากชังข้าวโพดที่ผ่านการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้าที่อายุการหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....	63
10	การหมักเอทานอลจากชานอ้อยที่ผ่านการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้าที่อายุการหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- 11 การหมักเอทานอลจากฟางข้าวที่ผ่านการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์
เซลลูเลสจากเชื้อรา T. reesei QM 6a ที่อายุการหมัก
1 2 3 และ 4 วัน.....72
- 12 การหมักเอทานอลจากซึ่งข้าวโพดที่ผ่านการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์
เซลลูเลสจากเชื้อรา T. reesei QM 6a ที่อายุการหมัก 1
2 3 และ 4 วัน.....73
- 13 การหมักเอทานอลจากชานอ้อยที่ผ่านการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์
เซลลูเลสจากเชื้อรา T. reesei QM 6a ที่อายุการหมัก
1 2 3 และ 4 วัน.....75
- 14 การหมักเอทานอลจากน้ำตาลที่แยกได้จากฟางข้าว ซึ่งข้าวโพดและ
ชานอ้อย โดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้ำและเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา
T. reesei QM 6a ที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการ ที่อายุการหมัก
1 2 3 และ 4 วัน.....78
- 15 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงฟางข้าว ซึ่งข้าวโพดและชานอ้อย
ไปเป็นเอทานอล เมื่อย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้ำและใช้
เอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา T. reesei QM 6a.....80

สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

1	แผนภูมิการผลิตเอทานอลจากผลผลิตทางการเกษตร.....	8
2	โครงสร้างของเซลลูโลส.....	12
3	การใช้กลูโคสเพื่อการผลิตเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ	14
4	ลำดับการเข้าทำปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลสของระบบเอนไซม์ เซลลูเลส.....	18
5	วิธีการเกิดเอทานอลในกระบวนการทางชีวเคมี.....	23
6	ก. การผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a ในถังหมักเพื่อเพิ่มขนาดการผลิต.....	31
	ข. crude enzyme cellulase ที่ผลิตได้ และใช้ในการย่อยสลาย เซลลูโลสที่ปรับสภาพแล้ว.....	31
7	ก. ฟางข้าวที่เก็บจากท้องนาเพื่อนำมาใช้ศึกษา.....	32
	ข. ช้างข้าวโพดที่เก็บจากแปลงเกษตรกรเพื่อนำมาใช้ศึกษา.....	32
	ค. ชานอ้อยที่เก็บจากร้านคั้นน้ำอ้อยเพื่อนำมาใช้ศึกษา.....	32
	ง. ต้นมันสำปะหลังที่เก็บจากแปลงเกษตรกรเพื่อนำมาใช้ศึกษา.....	32
8	ก. ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยวิธีการตัด.....	33
	ข. ช้างข้าวโพดที่ปรับสภาพด้วยการบด.....	33
	ค. ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยการตัดและบด.....	33
	ง. ต้นมันสำปะหลังที่ปรับสภาพด้วยการบด.....	33
9	ก. ฟางข้าวที่ปรับสภาพแล้วและเตรียมเพื่อการย่อยสลาย.....	34
	ข. ช้างข้าวโพดที่ปรับสภาพแล้วและเตรียมเพื่อการย่อยสลาย.....	34
	ค. ชานอ้อยที่ปรับสภาพแล้วและเตรียมเพื่อการย่อยสลาย.....	34
	ง. ต้นมันสำปะหลังที่ปรับสภาพแล้วและเตรียมเพื่อการย่อยสลาย.....	34
10	ก. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <u>T. reesei</u> QM 9414.....	36
	ข. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <u>T. reesei</u> QM 6a.....	36
11	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา <u>Aspergillus</u> sp. No 3335.....	37

12	activity ของ endoglucanase จากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 9414 <u>T. reesei</u> QM 6a และ <u>Aspergillus</u> sp. No 3335 เมื่อวิเคราะห์ด้วย CMCCase method ที่อายุ 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	40
13	Cellulase activity จากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 9414 <u>T. reesei</u> QM 6a และ <u>Aspergillus</u> sp. No 3335 ที่อายุ 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	41
14	การเปลี่ยนแปลงของ pH ในระหว่างการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 9414, <u>T. reesei</u> QM 6a และ <u>Aspergillus</u> sp. No.3335 ที่อายุ 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	42
15	การทดสอบอายุการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a ในอาหารเหลวสูตร production medium ที่มี micro crystalline cellulose 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นสับสเตอร์กที่อายุ 3 6 9 12 และ 15 วัน.....	45
16	แผนภูมิการคัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส การทดสอบประสิทธิภาพ และการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อเพิ่มขนาดในถังหมัก.....	48
17	น้ำตาลที่แยกได้จากชานอ้อย.....	53
18	กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลกลูโคส และ pH ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อยโดยใช้เอนไซม์เพื่อการค้า.....	54
19	กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลกลูโคส และ pH ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา <u>T. reesei</u> QM 6a.....	57
20	molasses medium ใช้เป็นสับสเตอร์ก ในการหมักเอทานอล.....	59

- 21 ก. เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ที่เลี้ยงในอาหารแข็งสูตร YMA
 ข. เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ที่เลี้ยงในอาหารแข็งสูตร YMA
 และ YM medium เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักเอทานอล...59
- 22 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากฟางข้าวที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เพื่อการค้ำที่อายุการหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....61
- 23 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากซังข้าวโพดที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เพื่อการค้ำที่อายุการหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....64
- 24 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากชานอ้อยที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เพื่อการค้ำที่อายุการหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....66
- 25 แผนภูมิการหมักเอทานอลจากฟางข้าว ซังข้าวโพด และชานอ้อย
 ที่ปรับสภาพแล้ว 20 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อผ่านการย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เพื่อการค้ำ.....68
- 26 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากฟางข้าวที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เซลล์ูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ที่อายุการหมัก
 1 2 3 และ 4 วัน72
- 27 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากซังข้าวโพดที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เซลล์ูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ที่อายุ
 การหมัก 1 2 3 และ 4 วัน.....74
- 28 กราฟแสดงการหมักเอทานอลจากชานอ้อยที่ย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เซลล์ูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a ที่อายุการหมัก
 1 2 3 และ 4 วัน.....76
- 29 แผนภูมิการหมักเอทานอลจากฟางข้าว ซังข้าวโพดและชานอ้อยที่ปรับ
 สภาพแล้ว 10 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อผ่านขั้นตอนการย่อยสลายโดยใช้
 เอนไซม์เซลล์ูเลสจากเชื้อรา *T. reesei* QM 6a.....77
- 30 เปรียบเทียบปริมาณเอทานอลจากฟางข้าว ซังข้าวโพดและชานอ้อย
 ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพื่อการค้ำและเอนไซม์เซลล์ูเลสจาก
 เชื้อรา *T. reesei* QM 6a.....81

สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

31	แผนภูมิการคัดเลือกเชื้อราเพื่อผลิตเอนไซม์เซลลูเลส การผลิตเอนไซม์เซลลูเลส การย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการหมักเอทานอล.....	82
----	---	----