

248994

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



248994

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากมันสำปะหลัง
ที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล

Utilization of Cassava Peels and Pulps
from Tapioca Processing for Ethanol Production

คณะผู้วิจัย:

ดร. เบญจพร สุรารักษ์

ดร. วรินทร์ สงคศิริ

รศ. ดร. ภาวิณี ชัยประเสริฐ

รายงานนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีงบประมาณ 2552



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากมันสำปะหลัง
ที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล

Utilization of Cassava Peels and Pulps
from Tapioca Processing for Ethanol Production

คณะผู้วิจัย:

ดร. เบญจพร สุรารักษ์

ดร. วรินทร์ สงคศิริ

รศ. ดร. ภาวิณี ชัยประเสริฐ

รายงานนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีงบประมาณ 2552



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2552

-
1. **ชื่อโครงการ** การใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากมันสำปะหลังที่เกิดจากกระบวนการผลิต
แป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล
Utilization of Cassava Peels and Pulps from Tapioca Processing for Ethanol
Production
2. **หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย** สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิทยาเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
3. **ผู้วิจัย**
- 3.1 **หัวหน้าโครงการ** ดร. เบญจพร สุวรักษ์
ตำแหน่ง นักวิจัย
สถานที่ทำงาน ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการและใช้ประโยชน์
จากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
ถนนชายทะเลบางขุนเทียน ท่าข้าม บางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ 02-4707526
โทรสาร 02-4523455
- 3.2 **ผู้ร่วมวิจัย** ดร. วรินทร์ สงคศิริ
ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการและใช้ประโยชน์จากของเสีย
อุตสาหกรรมเกษตร
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
ถนนชายทะเลบางขุนเทียน ท่าข้าม บางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ 02-4707469
โทรสาร 02-4523455

3.3 ผู้ร่วมวิจัย

รศ. ดร. ภาวิณี ชัยประเสริฐ
สายวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนชายทะเลบางขุนเทียน ท่าข้าม บางขุนเทียน
กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ 02-4707525
โทรสาร 02-4523455

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2551 ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2552

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากาการใช้ประโยชน์ของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่เป็นกากของเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เพื่อนำมาผลิตเอทานอลที่เป็นพลังงานทดแทน ในการศึกษานี้ได้ผลิตเอทานอลจากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังร้อยละ 10 (w/v) ที่อัตราส่วนผสมเปลือกต่อกากมันสำปะหลัง 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีทางชีวภาพในการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ และกระบวนการหมักด้วยยีสต์ อัตราส่วนผสมนี้มีปริมาณเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 16.56 ± 0.82 , 19.63 ± 1.10 , 22.65 ± 1.95 และ 25.75 ± 2.92 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณแป้งอยู่ร้อยละ 60.39 ± 6.44 , 54.78 ± 4.21 , 50.57 ± 4.21 และ 44.9 ± 2.43 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

สภาวะที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในเปลือกและกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ในการศึกษานี้ คือ ไฮโดรไลซิสเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 30 ยูนิต ที่ 50 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 5.0 เวลา 6 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้จากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 ในปริมาณ 0.226 ± 0.002 , 0.298 ± 0.004 , 0.325 ± 0.007 และ 0.393 ± 0.002 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อไฮโดรไลซิสแป้งต่อด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 9 ยูนิต ที่ 90 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดต่าง 6.0 เวลา 2 ชั่วโมงได้น้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณ 0.09 ± 0.009 , 0.08 ± 0.007 , 0.11 ± 0.008 และ 0.15 ± 0.002 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขั้นตอนสุดท้ายใช้เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 6 ยูนิต ที่ 60 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดต่าง 4.0 เวลา 24 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ในปริมาณ 2.81 ± 0.08 , 3.08 ± 0.03 , 2.89 ± 0.01 และ 3.16 ± 0.02 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายในรูปปริมาณเซลลูโลสที่ถูกใช้ไปมีค่าประมาณร้อยละ 91.01 ± 0.98 , 93.12 ± 1.25 , 92.57 ± 0.96 และ 93.24 ± 1.75 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนปริมาณแป้งที่ถูกใช้ไปมีค่าประมาณร้อยละ 95.18 ± 1.07 , 92.45 ± 0.72 , 92.37 ± 0.59 และ 91.25 ± 0.44 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดในอัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่ 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ทั้งหมดคือ 3.13 ± 0.08 , 3.46 ± 0.04 , 3.33 ± 0.01 และ 3.70 ± 0.02 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการทดสอบการผลิตเอทานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5343 ที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณเอทานอล 1.55 ± 0.03 , 1.72 ± 0.02 , 1.67 ± 0.02 และ 1.86 ± 0.03 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หรือที่ความเข้มข้นของเอทานอล 15.48 ± 0.29 , 17.29 ± 0.20 , 16.73 ± 0.25 และ 18.64 ± 0.38 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในการผลิตเอทานอลจากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก มีต้นทุนจากวัตถุดิบเอนไซม์ สารเคมี พลังงานและค่าแรงในการผลิตเอทานอล คือ 13.11, 12.95, 12.82 และ 12.70 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้น การนำเปลือกมันสำปะหลังผสมลงไปในการกากมันสำปะหลังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตเอทานอล และการนำเปลือกและกากมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเอทานอลที่เป็นพลังงานทดแทน จึงเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ : เปลือกมันสำปะหลัง / กากมันสำปะหลัง / เอนไซม์ / เอทานอล / ไฮโดรไลซิส / ยีสต์

This research was aimed to apply cassava peels and pulps from tapioca processing for ethanol production as alternative energy. The study was carried out to determine the potential of ethanol production from the mixture of peels and pulps at various ratios. The ratios of peels and pulps mixture were 0:1, 1:5, 1:2 and 1:1 containing cellulose of 16.56 ± 0.82 , 19.63 ± 1.10 , 22.65 ± 1.95 and 25.75 ± 2.92 % dry weight and starch of 60.39 ± 6.44 , 54.78 ± 4.21 , 50.57 ± 4.21 and 44.9 ± 2.43 % dry weight, respectively. At 10% (w/v) of various mixtures were enzymatic hydrolysis and then fermented by yeast for ethanol production.

Three steps of enzymatic hydrolysis of cellulose and starch in cassava peels and pulps were used in this study. Four ratios of peels and pulps mixture at 0:1, 1:5, 1:2 and 1:1 were carried out. Firstly 30 units of cellulase was used to hydrolyze cellulose in these mixtures at 50 °C and pH 5.0 for 6 hrs and obtained reducing sugars at concentration of 0.226 ± 0.002 , 0.298 ± 0.004 , 0.325 ± 0.007 and 0.393 ± 0.002 g/g dry weight, respectively. Secondary, 9 units of α -amylase was used to hydrolyze starch at 90 °C and pH 6.0 for 2 hrs, reducing sugar was found at concentration of 0.09 ± 0.009 , 0.08 ± 0.007 , 0.11 ± 0.008 and 0.15 ± 0.002 g/g dry weight, respectively. Finally, 6 units of amyloglucosidase was hydrolyzed the remain starch at 60 °C and pH 4 for 24 hrs, reducing sugar produced at this step were 2.81 ± 0.08 , 3.08 ± 0.03 , 2.89 ± 0.01 and 3.16 ± 0.02 g/g dry weight, respectively. In this study, it was found that cellulose was hydrolyzed at 91.01 ± 0.98 , 93.12 ± 1.25 , 92.57 ± 0.96 and 93.24 ± 1.75 % dry weight, respectively, while starch hydrolyzed were 95.18 ± 1.07 , 92.45 ± 0.72 , 92.37 ± 0.59 and 91.25 ± 0.44 % dry weight, respectively. The total amount of reducing sugar from 3 steps of hydrolysis were 3.13 ± 0.08 , 3.46 ± 0.04 , 3.33 ± 0.01 and 3.70 ± 0.02 g/g dry weight, respectively. Then, the obtained reducing sugar from 3 steps of cellulose and starch hydrolysis from mixture of peels and pulps at 0:1, 1:5, 1:2 and 1:1 were fermented for ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5343 at 30 °C for 48 hrs. The produced ethanol were 1.55 ± 0.03 , 1.72 ± 0.02 , 1.67 ± 0.02 and 1.86 ± 0.03 g/g dry weight, or ethanol production at 15.48 ± 0.29 , 17.29 ± 0.20 , 16.73 ± 0.25 and 18.64 ± 0.38 g/l, respectively. The operating cost for ethanol production from the mixture of peels and pulps at 0:1, 1:5, 1:2 and 1:1 were 13.11, 12.95, 12.82 and 12.70 baht per liter, respectively. Thus, the utilization and treatment of agricultural residues waste such as cassava peels and pulps for ethanol production as alternative energy is one choice for waste management in both terms of conservation and environment protection.

Keywords : Cassava Peels/ Cassava Pulps/ Enzyme/ Ethanol/ Hydrolysis/ Yeast

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อภาษาไทย	4
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	5
สารบัญ	6
รายการตาราง	7
รายการรูปประกอบ	9
1. บทนำ	10
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	10
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
1.3 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	11
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐานหรือกรอบแนวคิดของงานวิจัย	11
1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ	17
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	17
1.7 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	18
2. วิธีดำเนินงานวิจัย	18
2.1 วัตถุดิบและเอนไซม์	18
2.2 การศึกษาหาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสแป้งและเซลลูโลส	19
2.3 การศึกษาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน ต่างๆ ด้วยเอนไซม์	20
2.4 การไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในเปลือกและกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอะไมเลส และกลูโคอะไมเลส	21
2.5 การหมักเอทานอลจากน้ำตาลที่ได้จากเปลือกและกากมันสำปะหลัง	21
2.6 การศึกษาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอลจากเปลือกและกากมันสำปะหลัง	21
2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	22
3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	22
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและกากมันสำปะหลัง	22
3.2 ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในส่วนผสมของเปลือก และกากมันสำปะหลัง	23
3.3 การไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน ต่าง ๆ ด้วยเอนไซม์	30
3.4 ผลการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสส่วนผสมของเปลือกและกาก มันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ	40
3.5 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอลจากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	43
4. สรุป	46
5. เอกสารอ้างอิง	48

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและกากมันสำปะหลัง	12
2 ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุทางการเกษตร	13
3 อัตราส่วนของเปลือกมันสำปะหลังต่อกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา	18
4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและกากมันสำปะหลัง	22
5 องค์ประกอบทางเคมีของอัตราส่วนการผสมระหว่างเปลือกและกากมันสำปะหลัง	23
6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมัน สำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสในปริมาณต่าง ๆ	24
7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมัน สำปะหลังที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสในปริมาณต่าง ๆ	25
8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งในส่วนผสมของเปลือกและกากมัน สำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 ด้วยเอนไซม์แต่ละชนิดแอลฟาอะไมเลสและอะไมโลกลูโค ซิเดสที่ปริมาณต่าง ๆ	27
9 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งในส่วนผสมของเปลือกและ กากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสร่วมกับอะไมโลกลูโค ซิเดสที่ปริมาณต่าง ๆ	28
10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งในส่วนผสมของเปลือกและกากมัน สำปะหลังที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยเอนไซม์แต่ละชนิดแอลฟาอะไมเลสและอะไมโลกลูโค ซิเดสที่ปริมาณต่าง ๆ	29
11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งในส่วนผสมของเปลือกและ กากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสร่วมกับอะไมโลกลูโค ซิเดสที่ปริมาณต่าง ๆ	29
12 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสในส่วน ผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ภายในเวลา 6 ชั่วโมง	32
13 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและ อะไมโลกลูโคซิเดส ในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ	35
14 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสแบ่งในส่วนผสมของเปลือกและ กากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยแอลฟาอะไมเลสและอะไมโลกลูโคซิเดส	35
15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแบ่งในส่วนผสมของเปลือก และกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเอนไซม์แต่ละชนิด	39
16 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแบ่งในส่วนผสม ของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเอนไซม์	39
17 ผลการหมักเอทานอลในส่วนผสมเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ 48 ชั่วโมง	42

18	ปริมาณน้ำตาลรีเวิร์ชก่อนการหมักเอทานอลและเอทานอลที่ผลิตได้	42
19	ราคาของวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ	43
20	การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอลจากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่กำลังผลิตเอทานอล 1 ลิตร	44
21	ปริมาณเอทานอลร้อยละ 99.5 ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบต่างชนิดที่มีปริมาณน้ำหนั 1 ตัน	45
22	ต้นทุนการผลิตเอทานอลต่อลิตรในวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 99.5	46

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1 การเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลลูโลสเป็นเอทานอล	13
2 การผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรต่างๆ	15
3 กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้งและเซลลูโลส	16
4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 และ 1:1 ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อไฮโดรไลซิสที่ 6 และ 8 ชั่วโมง	26
5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 และ 1:1 ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและอะไมโลกลูโคซิเดสที่มีความเข้มข้นต่างกัน	30
6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในส่วนผสมระหว่างเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ	32
7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และตามด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ	34
8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดสที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ	37
9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณเอทานอล และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่แต่ละอัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ	41