การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากการย่อยกากมันสำปะหลัง

นางสาวจิรวรรณ อภิรักษากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974 - 638 - 893 - 2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# PRODUCTION OF GLUCOSE SYRUP FROM HYDROLYSIS OF CASSAVA PULP

Miss Jirawan Apiraksakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Programme of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974 - 638 - 893 - 2

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากการย่อยกากมันสำปะหลัง |
| โดย | นางสาวจิรวรรณ อภิรักษากร |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีทางชีวภาพ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

จิรวรรณ อภิรักษากร : การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากการย่อยกากมันสำปะหลัง (PRODUCTION OF GLUCOSE SYRUP FROM HYDROLYSIS OF CASSAVA PULP) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์, 179 หน้า. ISBN 974 - 638 - 893 - 2,

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีราคาถูกและมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งที่เหลือตกค้างจากกระบวนการผลิตประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง จึงมีความเป็นไปได้สูงในการจะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสโดยเน้นถึงการย่อยแป้งที่มีอยู่ในกากมันไปเป็นกลูโคสด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งโดยการใช้กรดและใช้เอนไซม์ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด 3 ชนิด คือ กรดซัลฟิวรัส กรดออกซาลิก และกรดซัลฟิวริก พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดได้จากการย่อยกากมันสดที่มีมวลแห้ง 5 กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มล. ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หลังการปั่นแยกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตออกจากน้ำเชื่อมทำการล้างตะกอน 4 ครั้งด้วยน้ำขจัดไอออน ก็เพียงพอแก่การนำกลูโคสส่วนที่จะสูญเสียไปกับตะกอนนั้นกลับคืนมา เมื่อนำสภาวะดังกล่าวไปใช้ในการย่อยที่มีการแปรอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ตามจนลพลศาสตร์การย่อยอันดับที่ 1 พบว่า ค่าคงที่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 , 110 และ 115 องศาเซลเซียส มีค่า 0.0485 , 0.0581 และ 0.0599 (นาที)$^{-1}$ ตามลำดับ โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 22.55 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการผลิตด้วยกรดที่ดีที่สุด เกิดจากการย่อยภายใต้อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ร้อยละ 52.67 ของน้ำหนักกากมันเริ่มต้น และน้ำเชื่อมกลูโคสที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น 158.55 กรัมต่อลิตร ส่วนการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์มีสภาวะที่เหมาะสมของการย่อย เกิดจากการใช้กากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ทำให้เกิดลิเคอแฟคชั่นด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (เอนไซม์ BAN) 500 หน่วย เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นทำให้เกิดแซคคาริฟิเคชั่นต่อด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคสิเดส (เอนไซม์ SPEZYME) 300 หน่วย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และสามารถลดปริมาณการใช้เอนไซม์ลงได้โดยทำให้เกิดลิเคอแฟคชั่นด้วยเอนไซม์ BAN 500 หน่วย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเฉพาะส่วนสารละลายที่ได้โดยแยกส่วนกากทิ้งไป มาย่อยให้เกิดแซคคาริฟิเคชั่นต่อด้วยอัตราส่วนสารละลาย 50 มล.ต่อเอนไซม์ SPEZYME 75 หน่วย เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ร้อยละ 50.14 ของน้ำหนักกากมันเริ่มต้น และน้ำเชื่อมกลูโคสที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น 40.44 กรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า การย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการใช้เอนไซม์ เนื่องจากน้ำเชื่อมกลูโคสที่ได้มีความเข้มข้นที่สูงกว่า โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตได้จากการย่อยมีอัตราส่วนกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ต่อกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มล. ไปทำการย่อยภายใต้อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ภาควิชา ..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2540 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C726856 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD: GLUCOSE SYRUP / CASSAVA PULP / HYDROLYSIS

JIRAWAN APIRAKSAKORN : PRODUCTION OF GLUCLOSE SYRUP FROM HYDROLYSIS OF CASSAVA PULP. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPONG NAVANKASATTUSAS, Ph. D. 179 pp.

ISBN 974 - 638 - 893 - 2.

Cassava pulp is a by-product of the cassava starch processing. It is cheap with remaining starch content of about 50 percent dry weight which can not be separated from the process. It is therefore, highly probable to use cassava pulp as substrate for production of glucose syrup. The purpose of this study was to investigate the optimal condition for production of glucose syrup from cassava pulp. Hydrolysis of starch in the cassava pulp to obtain glucose were compared among acid hydrolyses and enzyme hydrolyses. Comparative efficiency of cassava pulp hydrolysis were conducted with 3 different acids namely sulfurous acid, oxalic acid and sulfuric acid per 5 g dry mass of fresh cassava pulp. It was found that the maximal hydrolysing efficiency was obtained by using 10 ml of 1 M sulfuric acid. After centrifugation to separate sediment from syrup, the sediment was washed for 4 times with deionized water to recover glucose. This condition was applied to various temperatures and times for hydrolysis of cassava pulp. Following first order kinetics it was found that the reaction rate constant at 100°C, 110°C and 115°C were 0.0485 , 0.0581 and 0.0599 $(min)^{-1}$, respectively resulted in calculated activation energy of 22.55 KJ/mol. Maximum efficiency of acid hydrolysis was established at 115°C for 30 min, with 52.67 percent conversion and glucose syrup concentration of 158.55 g/l of glucose. The optimal condition for hydrolysing cassava pulp with enzyme was obtained by using 5 g dry mass of fresh cassava pulp liquefied with α-amylase enzyme (BAN enzyme) 500 units for 40 min, and saccharified with amyloglucosidase enzyme (SPEZYME enzyme) 300 units for 24 hrs. Reduced enzyme condition was obtained by liquefying with BAN enzyme 500 units for 24 hrs. Liquor was separated and saccharified with SPEZYME enzyme with ratio of 50 ml liquor to 75 units enzyme for 12 hrs, resulted in 50.14 percent conversion and glucose syrup concentration of 40.44 g/l of glucose. The results from this comparative study revealed that the efficiency of hydrolysing cassava pulp with acid was more efficient than enzyme giving higher concentration of glucose syrup. The optimal condition for production of glucose syrup from cassava pulp was hence obtained by using 5 g dry mass of fresh cassava pulp per 10 ml of 1 M sulfuric acid and hydrolysed at 115°C for 30 min.

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ซึ่งสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของคณาจารย์ที่ต้องขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้คือ ผศ. ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.นลิน นิลอุบล และ รศ. ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.สุเมธ ตันตระเธียร ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และผศ. ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ อันมีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คณะผู้บริหารสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณณรงค์ หอมจันทร์ นักวิจัย ช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่และพี่ๆ น้องๆ ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือและแก้ไข ตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ และบริษัทไทยวา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อกากมันสำประหลัง และขอขอบคุณ คุณจิราภรณ์ พันธุ์ชัย ที่ช่วยจัดหาตัวอย่างเอนไซม์ที่นำมาใช้ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สุดสนอง ผาตินาวิน และอาจารย์สุนีย์ ศรีศักดา อาจารย์ผู้มีส่วนผลักดันในการศึกษาต่อ เป็นกำลังใจอันสำคัญและให้ความห่วงใยศิษย์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ (U.D.C.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนการศึกษาและทุนอุดหนุนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์วิเชฎฐ์ คนซื่อ คุณจงจิตต์ ฤทธิหาญ และคุณนพดล กิตนะ ที่ให้กำลังใจและความเข้าใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่ช่วยในการจัดทำสไลด์ประกอบการนำเสนอผลงาน คุณยุทธพงษ์ ประถมจินดา ที่คอยให้ความช่วยเหลือดูแลในทุกๆ ด้านระหว่างการทำวิจัย คุณอัมพรพรรณ อภิรักษากร ที่ช่วยจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสุดความสามารถคอยเป็นกำลังใจและเป็นห่วงเป็นใยตลอดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษากระทั่งสำเร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องและครอบครัวอันเป็นที่รัก ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญ คอยสนับสนุนผลักดัน ให้ความรักและเอื้ออาทรมาโดยตลอด

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ฐ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ ..... 1
2. วิธีการทดลอง ..... 32
3. ผลการทดลอง ..... 49
4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ..... 155

รายการอ้างอิง ..... 167

ภาคผนวก

ก. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ..... 172

ข. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในกากมันสำปะหลังสด ..... 173

ค. การวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ BAN ..... 174

ง. การวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ SPEZYME GA 300 N ..... 176

จ. สูตรการคำนวณ ..... 177

ฉ. กราฟมาตรฐาน ..... 178

ประวัติผู้เขียน ..... 179

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 - 1 | องค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง | 8 |
| 1 - 2 | เปรียบเทียบผลดีและผลเสียของการย่อยวัสดุการเกษตรด้วยกรด | 18 |
| 1 - 3 | เปรียบเทียบผลดีและผลเสียของการย่อยวัสดุการเกษตรด้วยเอนไซม์ | 19 |
| 1 - 4 | เอนไซม์ที่นิยมนำมาใช้ในการย่อยแป้ง | 22 |
| 2 - 1 | แสดงเครื่องมือ รุ่น และบริษัทผู้ผลิตที่ใช้ในการทดลอง | 47 |
| 2 - 2 | รายชื่อเคมีภัณฑ์และบริษัทผู้ผลิต | 48 |
| 3 - 1 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 51 |
| 3 - 2 | ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดออกซาลิกที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 54 |
| 3 - 3 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของน้ำล้างตะกอน กับจำนวนครั้งของการล้างตะกอนที่เกิดจากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 10 มล. เมื่อมีการแปรปริมาตรและความเข้มข้นของกรดออกซาลิก | 55 |
| 3 - 4 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดออกซาลิกที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 59 |
| 3 - 5 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยออกซาลิกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 40 มล. ที่อุณหภูมิ 121 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในการย่อย | 62 |
| 3 - 6 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้งด้วยออกซาลิกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 40 มล.ที่อุณหภูมิ 115 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในการย่อย | 63 |

สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 7 | ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 67 |
| 3 - 8 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสในน้ำล้างตะกอน กับจำนวนครั้งของการล้างตะกอนที่เกิดจากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 10 มล. เมื่อมีการแปรปริมาตร และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ | 68 |
| 3 - 9 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 72 |
| 3 - 10 | ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 75 |
| 3 - 11 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของน้ำล้างตะกอน กับจำนวนครั้งของการล้างตะกอนที่เกิดจากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 10 มล. เมื่อมีการแปรปริมาตร และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า | 76 |
| 3 - 12 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 79 |
| 3 - 13 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ กับ เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 82 |

สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 14 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในกากย่อย | 87 |
| 3 - 15 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 110 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในกากย่อย | 88 |
| 3 - 16 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 121 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในกากย่อย | 89 |
| 3 - 17 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 115 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในกากย่อย | 90 |
| 3 - 18 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และค่าร้อยละของกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในกากย่อย | 94 |
| 3 - 19 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณและความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 125 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ในขวดรูปกรวยขนาด 2 ลิตร ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, ปริมาตร 250 มล. ที่อุณหภูมิ 115 °C เป็นเวลา 30 นาที | 98 |
| 3 - 20 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในการย่อย | 100 |

สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 21 | ลอการิทึมของความเข้มข้นกลูโคส ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100°C..... | 101 |
| 3 - 22 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 110°C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในการย่อย..... | 105 |
| 3 - 23 | ลอการิทึมของความเข้มข้นกลูโคส ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 110°C..... | 106 |
| 3 - 24 | ร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 115°C เมื่อมีการแปรระยะเวลาในการย่อย..... | 107 |
| 3 - 25 | ลอการิทึมของความเข้มข้นกลูโคส ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 115°C..... | 108 |
| 3 - 26 | ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนัก แห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... | 110 |
| 3 - 27 | ส่วนกลับของอุณหภูมิเคลวิน กับค่าลอการิทึมของค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาของ การย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล..... | 110 |
| 3 - 28 | ปริมาณเอนไซม์ BAN กับเวลาที่ใช้ในย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนัก แห้งต่อสมมูลเดกซ์โทรส..... | 113 |
| 3 - 29 | สมมูลเดกซ์โทรส ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมัน สำปะหลังด้วยเอนไซม์ SPEZYME 300 หน่วย เมื่อมีการแปรค่าสมมูล เดกซ์โทรสของกากมันสำปะหลัง..... | 116 |
| 3 - 30 | สมมูลเดกซ์โทรส ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมัน สำปะหลังด้วยเอนไซม์ SPEZYME 1500 หน่วย เมื่อมีการแปรค่าสมมูล เดกซ์โทรสของกากมันสำปะหลัง..... | 119 |

สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 31 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่เวลาต่างๆ เมื่อมีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้เท่ากับ 300 , 450 และ 600 หน่วย | 124 |
| 3 - 32 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่เวลาต่างๆ เมื่อมีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้เท่ากับ 75 , 150 และ 300 หน่วย | 130 |
| 3 - 33 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อย liquor ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ BAN เป็นเวลา 40 นาที เมื่อมีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้เท่ากับ 150 , 240 และ 600 หน่วย | 136 |
| 3 - 34 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อย liquor ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ BAN เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อมีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้เท่ากับ 25 และ 75 หน่วย | 142 |
| 3 - 35 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล สมมูลเดกซ์โทรส ปริมาณ ความเข้มข้น และร้อยละของกลูโคส ของการย่อย liquor ที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ BAN เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อมีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้เท่ากับ 75 , 150 และ 300 หน่วย | 147 |
| 3 - 36 | ผลของปริมาตรน้ำต่อการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ | 153 |
| 4 - 1 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสของการย่อยด้วยกรด และการย่อยด้วยเอนไซม์ | 166 |
| ข - 1 | การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในกากมันสำปะหลังสด | 173 |
| ค - 1 | การวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ BAN | 175 |
| ง - 1 | การวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ SPEZYME | 176 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 - 1 | สูตรโครงสร้างของกลูโคส | 1 |
| 1 - 2 | แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในโรงงานขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ | 4 |
| 1 - 3 | กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรม | 6 |
| 1 - 4 | โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน | 10 |
| 1 - 5 | กลไกการเกิดเจลของแป้ง | 11 |
| 1 - 6 | กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสด้วยกรด | 15 |
| 1 - 7 | กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสด้วยเอนไซม์ | 17 |
| 1 - 8 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอนไซม์ SPEZYME ที่ใช้ในการทำให้เกิดแซคคาริฟิเคชั่นกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยสมบูรณ์ | 23 |
| 1 - 9 | ผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์ BAN | 24 |
| 1 - 10 | ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเอนไซม์ BAN | 24 |
| 1 - 11 | ผลของสภาพความเป็นกรดด่างต่อการทำงานของเอนไซม์ BAN | 25 |
| 1 - 12 | ผลของสภาพความเป็นกรดด่างต่อความคงตัวของเอนไซม์ BAN | 25 |
| 1 - 13 | ผลของความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ต่อความคงตัวของเอนไซม์ BAN | 26 |
| 2 - 1 | ลักษณะของกระบอกปั่น (centrifuge tube) ที่มีการดัดแปลงโดยใส่ถุงกรองไว้ข้างในเพื่อใช้ในการปั่นแยกส่วนกากมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยกับส่วนสารละลายที่ได้ออกจากกัน | 33 |
| 2 - 2 | แผนผังแสดงขั้นตอนการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด | 34 |
| 2 - 3 | แผนผังแสดงขั้นตอนการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ โดยเทียบเคียงจากสภาวะการย่อยแป้งในโรงงานอุตสาหกรรม | 36 |
| 2 - 4 | แผนผังแสดงขั้นตอนการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ BAN และแยกเอาเฉพาะส่วนสารละลายมาทำการย่อยต่อด้วยเอนไซม์ SPEZYME | 38 |
| 2 - 5 | แผนผังการทดลองทั้งหมดของงานวิจัย | 45 |
| 3 - 1 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาตรกรดซัลฟิวรัส | 52 |

สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 2 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาตรกรดซัลฟิวรัส | 52 |
| 3 - 3 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิกเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 56 |
| 3 - 4 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 56 |
| 3 - 5 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 57 |
| 3 - 6 | เปรียบเทียบปริมาณกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิกที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 60 |
| 3 - 7 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาลของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิกที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 60 |
| 3 - 8 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิก เข้มข้น 1.0 โมลาร์, ปริมาตร 40 มล. ที่อุณหภูมิ 115 และ 121 องศาเซลเซียส | 64 |
| 3 - 9 | เปรียบเทียบการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดออกซาลิก เข้มข้น 1.0 โมลาร์, 40 มล. ที่อุณหภูมิ 115 และ 121 องศาเซลเซียส | 65 |
| 3 - 10 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริกเกรดวิเคราะห์ เข้มข้น 2.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 69 |
| 3 - 11 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 69 |

สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 12 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ เข้มข้น 0.16 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 70 |
| 3 - 13 | เปรียบเทียบปริมาณกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 73 |
| 3 - 14 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาลของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 73 |
| 3 - 15 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 74 |
| 3 - 16 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้าเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 77 |
| 3 - 17 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้าเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 77 |
| 3 - 18 | เปรียบเทียบความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสของน้ำเชื่อม และน้ำล้างตะกอนของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า เข้มข้น 0.16 โมลาร์ ที่มีการแปรปริมาตร | 78 |
| 3 - 19 | เปรียบเทียบปริมาณกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 80 |
| 3 - 20 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 80 |
| 3 - 21 | เปรียบเทียบความเข้มข้นกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดทางการค้า ที่มีการแปรความเข้มข้นและปริมาตร | 81 |

สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 22 | เปรียบเทียบปริมาณกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ กับ เกรดทางการค้า เมื่อมีการแปรปริมาตรและความเข้มข้น..... | 83 |
| 3 - 23 | เปรียบเทียบความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ กับ เกรดทางการค้า เมื่อมีการแปรปริมาตรและความเข้มข้น..... | 84 |
| 3 - 24 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ กับ เกรดทางการค้า เมื่อมีการแปรปริมาตรและความเข้มข้น..... | 85 |
| 3 - 25 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 , 110 , 115 และ 121 องศาเซลเซียส..... | 91 |
| 3 - 26 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 , 110 , 115 และ 121 องศาเซลเซียส..... | 92 |
| 3 - 27 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 โมลาร์..... | 95 |
| 3 - 28 | เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 โมลาร์..... | 96 |
| 3 - 29 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln C กับเวลาของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... | 101 |
| 3 - 30 | เปรียบเทียบปริมาณกลูโคสของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 100 , 110 , 115 และ 121 องศาเซลเซียส..... | 104 |

สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 31 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln C′- C กับเวลาของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้งด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส | 106 |
| 3 - 32 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln C′- C กับเวลาของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้งด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์, 10 มล. ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส | 108 |
| 3 - 33 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln k กับส่วนกลับของอุณหภูมิเคลวิน ของการย่อยกากมันสำปะหลัง 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ , 10 มล | 111 |
| 3 - 34 | เปรียบเทียบค่าสมมูลเดกซ์โทรสที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ BAN 250, 500, 750 และ 1000 หน่วย ที่เวลาต่าง ๆ | 114 |
| 3 - 35 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของกลูโคสที่ได้ของการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ SPEZYME 300 และ 1500 หน่วย ที่มีการแปรค่าสมมูลเดกซ์โทรส | 122 |
| 3 - 36 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 300 450 และ 600 หน่วย | 127 |
| 3 - 37 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 300, 450 และ 600 หน่วย | 128 |
| 3-38 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 75, 150 และ 300 หน่วย | 133 |
| 3 - 39 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 75, 150 และ 300 หน่วย | 134 |

สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 - 40 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 150 , 240 และ 600 หน่วย | 139 |
| 3 - 41 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 150 , 240 และ 600 หน่วย | 140 |
| 3 - 42 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 25 และ 75 หน่วย | 144 |
| 3 - 43 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 25 และ 75 หน่วย | 145 |
| 3 - 44 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 75 , 150 และ 300 หน่วย | 150 |
| 3 - 45 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยสารละลายที่ได้จากการเกิดลิเคอแฟคชั่นของกากมันสำปะหลัง (liquor) ที่มีการแปรปริมาณเอนไซม์ SPEZYME เท่ากับ 75 , 150 และ 300 หน่วย | 151 |
| 3 - 46 | เปรียบเทียบปริมาณ และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณน้ำที่เติม | 154 |
| 3 - 47 | เปรียบเทียบค่าร้อยละของการเปลี่ยนกากมันเป็นน้ำตาล และร้อยละของกลูโคส ของการย่อยกากมันสำปะหลังที่มีการแปรปริมาณน้ำที่เติม | 154 |
| ฉ - 1 | กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 0.0 - 0.16 กรัมต่อลิตร | 178 |
| ฉ - 2 | กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงความเข้มข้น 0.0 - 1.0 กรัมต่อลิตร | 178 |

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มล. = มิลลิลิตร

มก. = มิลลิกรัม

v/v = ปริมาตรต่อปริมาตร

w/v = น้ำหนักต่อปริมาตร

w/w = น้ำหนักต่อน้ำหนัก

°C = องศาเซลเซียส

LCP = Liquefied Cassava Pulp