

การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ
ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM THE
HYDROCHLORIC ACID PRETREATED BANANA PEEL



จิราภรณ์ คงขวัญเมือง
สุธิดา สูดดี
ศุภรัตน์ คงกล้า
โสภิตา สารคุณ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ
ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM THE
HYDROCHLORIC ACID PRETREATED BANANA PEEL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

**PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM THE
HYDROCHLORIC ACID PRETREATED BANANA PEEL**



**JIRAPORN KONGKWANMAUNG
SUTHIDA SUDDEE
SUPARAT KONGKLAM
SOPIDA SARAKOON**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013


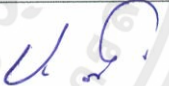

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้รับทราบโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัดแปลงเนื้อหาและทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ
ด้วยกรดไฮโดรคลอริก
PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM THE
HYDROCHLORIC ACID PRETREATED BANANA PEEL

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิราภรณ์ คงขวัญเมือง 53051168
นางสาวสุธิดา สุดดี 53051283
นางสาวสุภารัตน์ คงกล้า 53051287
นางสาวโสภิตา สารคุณ 53051293

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิราภรณ์ คงขวัญเมือง นางสาวสุธิดา สูดดี นางสาวสุภารัตน์ คงกล้า นางสาวโสภิตา สารคุณ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยสามชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่ ที่ระยะความสุกต่างกัน คือ ดิบ (ระยะที่ 1) ห้าม (ระยะที่ 2) และสุก (ระยะที่ 7) โดยใช้กระบวนการปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี ซึ่งใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% เป็นสารปรับสภาพเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพถูกนำไปไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก ผลจากการศึกษาพบว่า เปลือกกล้วยทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพ มีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสลดลงเมื่อเทียบกับก่อนปรับสภาพ แต่มีลิกนินสูงขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าเปลือกกล้วยทั้งสามชนิดก่อนปรับสภาพจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นตามระยะความสุก ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงขึ้นตามระยะความสุกเช่นกัน เมื่อนำมาทำการปรับสภาพและไฮโดรไลซ์ จะทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น โดยเปลือกกล้วยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดสูงสุดคือ เปลือกกล้วยหอมสุก (ระยะที่ 7) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 341.22 ± 82.30 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

คำสำคัญ : วัสดุลิกโนเซลลูโลส, ไฮโดรไลซิส, น้ำตาลรีดิวซ์, การปรับสภาพเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Production of reducing sugar from the hydrochloric acid pretreated banana peel
Students	Jiraporn Kongkwanmaung Suthida Suddee Suparat Kongklam Sopida Sarakoon
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2013
Advisor	Asst.Prof. Dr.Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

In this special project, the production of reducing sugar from three types of banana peel include banana peel of *Musa Sapientum* L. cv Kluai 'Namwa', banana peel of *Musa* (AAA group) cv Kluai 'Hom thong' and banana peel of *Musa* (AA group) cv Kluai 'Khai' at three different ripeness : raw (Phase 1), prohibition (Phase 2) and mature (Phase 7) were investigated. Banana peels were pretreated with 1% hydrochloric acid for six hours followed by boiling at 100° C for 30 min. The pretreated banana peels were then hydrolyzed by 1% hydrochloric acid. Results showed that the average percentages of cellulose and hemicellulose in the pretreated banana peels decreased but lignin contents increased. In addition, results showed that the reducing sugar of unpretreated banana peels with ripeness in relation with the increasing percentage of carbohydrates. When banana peels were pretreated and hydrolyze, reducing sugar was increased. It was found that highest total reducing sugar of 341.22±82.30 mg/g were obtained from the pretreated banana peels of *Musa* (AAA group) cv Kluai 'Hom thong' (Phase 7)

Keywords : Lignocellulosic material, Hydrolysate, Reducing sugar, Pretreatment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้หมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ที่สุด ท่านที่สองคือ อาจารย์จรรยา คงฤทธิ์ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและจัดการทรัพยากร หลักสูตรสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สละเวลาให้คำแนะนำและให้ความรู้ในเรื่องของการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเยื่อใย และวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณพี่น้องวิทยุประจำสาขาวิชาเคมีทุกท่าน ที่ช่วยจัดหา ให้คำแนะนำ การใช้อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกตลอดการทำวิจัย ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำโครงการพิเศษ ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนเสร็จสิ้นงานวิจัย

ท้ายที่สุด คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก รวมถึงญาติพี่น้อง ผู้ที่อยู่ในเบื้องหลังความสำเร็จ ผู้ที่ให้โอกาส ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาได้บ้างตามสมควร หากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงผลงานให้ดีขึ้น ทางคณะผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอแนะและคำติชม ด้วยความยินดีและขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส	4
2.1.1 เซลลูโลส	4
2.1.2 เฮมิเซลลูโลส	5
2.1.3 ลิกนิน	6
2.2 การผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส	7
2.2.1 การปรับสภาพเบื้องต้น	9
2.2.2 การไฮโดรไลซิส	13
2.2.3 การหมัก	16
2.2.4 การกลั่น	17
2.3 ก๊าซ	18
2.3.1 ก๊าซน้ำว้า	21
2.3.2 ก๊าซหอม	22
2.3.3 ก๊าซไข่	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	27
3.1.1 สารเคมี	27
3.1.2 อุปกรณ์	27
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	28
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วย	29
3.4 แผนการดำเนินงานวิจัย	30
3.4.1 การปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริก	31
3.4.2 การย่อยเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย	32
4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกกล้วย	32
4.2 ผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี	33
4.2.1 องค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วย	33
4.2.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของเหลวขั้นต้น	36
4.3 ผลของการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก	38
4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก ก	50
ภาคผนวก ข	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยด้วยกรด	14
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีเป็นเปอร์เซ็นต์ของกล้วยดิบและกล้วยสุกในสภาพแห้ง	21
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เปลือกกล้วย	28
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ระยะการสุกต่างกัน 3 ระยะ	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเซลล์โกลส	5
2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลล์โกลส	6
2.3 โครงสร้างของลิกนิน	6
2.4 กระบวนการผลิตเอทานอล	8
2.5 กระบวนการผลิตเซลล์โกลสจากพืชชีวมวลแบบครบวงจร	9
2.6 โครงสร้างวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสหลังการปรับสภาพ	10
2.7 กลไกการทำปฏิกิริยาคัดด้วยเอนไซม์ในการย่อยเซลล์โกลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส	15
2.8 สมการการผลิตเอทานอลของยีสต์	17
2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นลำดับส่วน	18
2.10 ดัชนีสีของเปลือกกล้วย	20
4.1 องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกัน	33
4.2 โครงสร้าง และพื้นผิวของเปลือกกล้วย	34
เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่า	
4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกัน	36
4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกัน	38
4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ระยะความสุกต่างกัน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ไบโอเอทานอลจัดเป็นพลังงานทดแทนที่มีการส่งเสริมอย่างจริงจังในประเทศไทย ส่งผลให้ยอดการใช้และปริมาณการผลิตเอทานอลสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ปริมาณการผลิตเอทานอลได้เพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 1.2 ล้านลิตรต่อวันในปี พ.ศ. 2553 และมีการวางแผนที่จะผลิตเอทานอลให้ได้ 9 ล้านลิตรต่อวันภายในปี พ.ศ. 2565 (ชชนันท์และเฉลิม, 2555) ปัจจุบันการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบหลัก 2 ประเภทคือ น้ำตาล ได้แก่ อ้อยและกากน้ำตาล และแป้ง ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าว และข้าวโพด (เสรีและเฉลิม, 2555) แต่เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวจัดเป็นพืชอาหาร ทำให้การใช้วัตถุดิบเหล่านี้มีข้อจำกัดด้านการจัดสรรพื้นที่ทำการเพาะปลูกระหว่างพืชอาหารและพืชพลังงาน กล่าวคือ การเปลี่ยนพื้นที่ปลูกพืชอาหารไปปลูกพืชพลังงานมีมากขึ้น จนก่อให้เกิดผลกระทบต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและปริมาณของผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเมื่อพื้นที่ในการปลูกพืชอาหารลดลงทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนอาหารและพืชอาหารมีราคาสูงขึ้น จึงส่งผลให้เศรษฐกิจในภาพรวมไม่มีการพัฒนาเท่าที่ควร นอกจากนี้ข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อมยังคงเป็นประเด็นที่สำคัญอีกเช่นกัน เพราะพืชเหล่านี้ต้องการแร่ธาตุต่างๆ ในการเจริญเติบโตและมีการใช้สารเคมีควบคุมดูแลในระหว่างทำการเพาะปลูก ทำให้ดินและพืชอื่นๆ ที่อยู่บริเวณข้างเคียงได้รับผลกระทบไปด้วย และถ้าหากอยู่ใกล้แหล่งน้ำก็อาจส่งผลให้แหล่งน้ำนั้นมีการปนเปื้อนของสารเคมีดังกล่าวได้ (สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น, 2551) ส่งผลให้การผลิตเอทานอลในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่วัสดุเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากพืช เอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลส หรือ Cellulosic Ethanol เป็นเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses) เช่น ฟางข้าว กากอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกไม้ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัตถุดิบดังกล่าวประกอบด้วยลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช และเกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวหรือโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส การนำวัตถุดิบเหล่านี้มาปรับสภาพและย่อยสลายหรือไฮโดรไลซิส เพื่อเปลี่ยนโพลีเมอร์ของน้ำตาลให้สั้นลงกลายเป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยยีสต์ จะได้เอทานอลที่มีคุณสมบัติและลักษณะทางเคมีเช่นเดียวกับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลและแป้ง (เฉลิม, 2555) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กัญชง ซึ่งมีอยู่หลักหลายสายพันธุ์และหลายชนิดในประเทศไทยชนิดที่นิยมปลูกคือ กัญชงหอม กัญชงไข่ และกัญชงน้ำว่า มีผลผลิตรวมกันมากถึงกว่า 1.5 ล้านตันต่อปี ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่

สำคัญที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไม่ต่ำกว่า 300 ล้านบาทต่อปี ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปอย่างง่าย และกล้วยแปรรูปกระป๋อง รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยรูปแบบอื่นๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น เช่น เสื้อผ้าจากเส้นใยกล้วย กระเป๋าสาน เป็นต้น (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย , บจก., 2553) ดังนั้นจากกระบวนการแปรรูปต่างๆ ส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ที่สำคัญคือเปลือกกล้วย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร งานวิจัยของวารสารและคณะ(2556) แสดงให้เห็นว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปสามารถนำมาผลิตน้ำตาลรีดิวซ์โดยกระบวนการปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก จึงทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกกล้วยชนิดอื่นๆ ที่เหลือทิ้ง มาผลิตน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลต่อไปได้

โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย 3 ชนิด ที่มีระยะความสุกต่างกัน โดยใช้กระบวนการปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยต่างชนิดที่ระยะการสุกแตกต่างกัน และศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยดังกล่าวด้วยกระบวนการปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการศึกษาคือ เปลือกกล้วย 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่
2. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยด้วยวิธี Detergent method ปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี Proximate analysis ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5-Dinitrosalicylic acid Method (DNS) และศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
3. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย ปัจจัยที่ใช้ศึกษาคือ ชนิดของเปลือกกล้วย และระยะเวลาความสุก 3 ระยะ ได้แก่ คีบ (ระยะ 1) ,ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) เปลือกกล้วยถูกนำมาปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสอ้างอิงสภาวะที่เหมาะสมจากงานวิจัยของวารสารและคณะ (2556) สภาวะที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์เป็นดังนี้คือ

3.1 การปรับสภาพ

- ทางกายภาพ คือ บดจนละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช
- ทางเคมี คือ แช่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปต้มต่อที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 30 นาที

3.2 การไฮโดรไลซิส

- การย่อยสลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1% เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกต่างกัน
2. เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

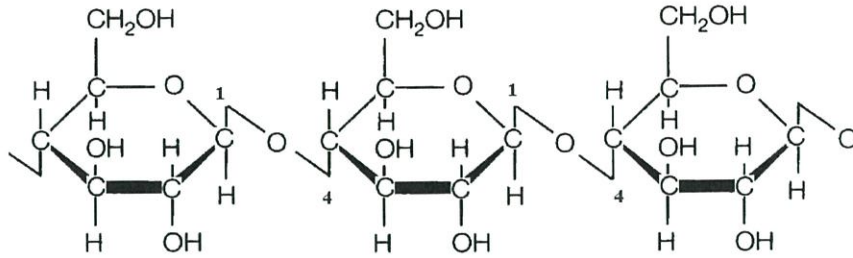
2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic material)

วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่พบเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชโดยพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณสัดส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและส่วนต่างๆของพืช

2.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตา (β -(1,4) glycosidic linkage) ประมาณ 10,000 หน่วย (รูปที่ 2.1) พบทั่วไปในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชและมีการเรียงตัวอยู่ในรูปของผลึก เซลลูโลสมีโครงสร้างเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่าไฟบริล (fibril) ซึ่งมีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล การจัดเรียงตัวของโมเลกุลไฟบริลทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างหลายรูปแบบ โครงสร้างทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสเกิดจากไฟบริลหรือโปรโตไฟบริลที่มีการเรียงตัวขนานและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง ซึ่งเมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นแผ่นบางๆ และเมื่อตัดขวางแผ่นบางๆ เหล่านี้ จะพบส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกที่มีการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียงตัวขนานกันไป โดยบางส่วนอาจเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งบริเวณนี้ทำให้เซลลูโลสสลายตัวและแยกออกจากกันได้โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของของเหลว เช่น กรดแก่ นอกจากนี้ยังอาจเกิดเป็นรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยแรงกล เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบและขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของไมโครไฟบริล เมื่อความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสที่มีลักษณะแข็งจะดูดความชื้น ทำให้เซลลูโลสสามารถพองตัวหรือหดตัวได้แต่ในบางภาวะ เช่น เมื่อเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ว เช่น เบนซีน เซลลูโลสจะไม่เกิดการพองตัวเหมือนอยู่ในตัวทำละลายที่มีขี้ว เช่น น้ำ ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสอยู่ในช่วง 9-21.1% ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยการดูดน้ำหรือความชื้นจะเกิดจากท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลสและพื้นที่ทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเซลลูโลสสามารถพองตัวได้ประมาณ 100 เท่าของวัสดุขณะแห้ง ซึ่งการพองตัวได้จะทำให้ตัวทำละลายต่างๆ เข้าทำลายโครงสร้างได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเซลลูโลส

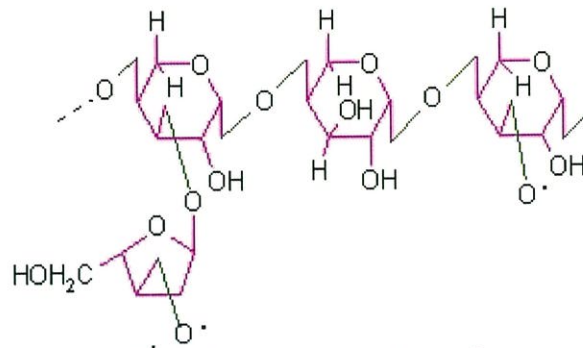
(ที่มา: <http://thebiochemsynapse.wordpress.com/tag/cellulose/>)

2.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำและมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ประมาณ 200 (นิธิยา, 2551) โดยมีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ กล่าวคือ มีไซโลสมากที่สุดถึง 85-90% เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา (รูปที่ 2.2) และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม กรดแมนนูโรนิก (Mannuronic acid) และกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจางหรือเอนไซม์ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสไม่มีรูปร่างแน่นอน ไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่ม จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้ง่าย พืชจะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง (Prosky and Devries, 1992) โดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์ จะทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์พืชที่แข็งแรง ส่วนใหญ่พบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากมีหมู่ 4-เมทิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส (4-methyl- α -D-glucose) จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกได้ง่ายด้วยสารละลายเบสและกรดเจือจางแต่ขั้นตอนของการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกนั้นอาจต้องมีการกำจัดลิกนิน (delignification) ร่วมด้วย

เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะพบในผนังเซลล์ชั้นนอกสุด และพบส่วนน้อยในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลายและสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมากคล้ายกับโครงสร้างของเพกติน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจลได้ ขณะที่เมื่อเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



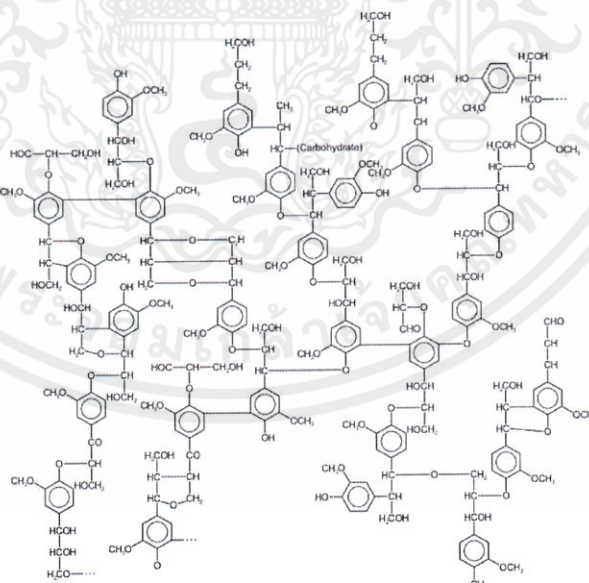
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

(ที่มา: <http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/an431/content/lesson02.htm>)

2.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบสุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเธอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล ทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ (Southgate et al., 1976) ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์

ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำๆ ประกอบเป็นโมเลกุลที่ใหญ่มีการเชื่อมต่อกันของหน่วยย่อยคือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoid) ที่มีหมู่เมธิลอยู่บนโมเลกุล (รูปที่ 2.3) ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน หนุ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน

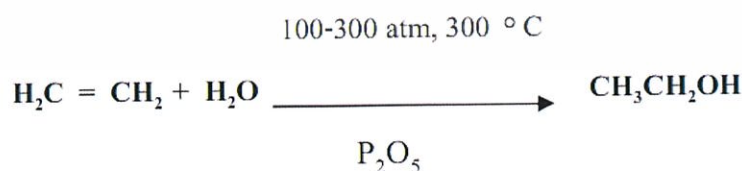
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (ที่มา: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/lignin.htm)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ขณะที่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (alkaline lignin)

สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้ เมื่อมีการเติมหมู่เมทิล (methylation) และหมู่อะซิetyl (acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถถูกกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้ การเติมไฮดรอกซีเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซีลให้แก่โครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถถูกกลืนแสงได้ ด้วยการที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลล์โลสในเนื้อไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งยังทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลล์โลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลล์โลส ดังนั้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากวัสดุกลุ่มลิกโนเซลลูโลสมีมากขึ้น จึงต้องใช้ในการปรับสภาพวัสดุเหล่านี้ก่อน และป้องกันผลเสียที่เกิดจากลิกนิน รวมทั้งให้เซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไป

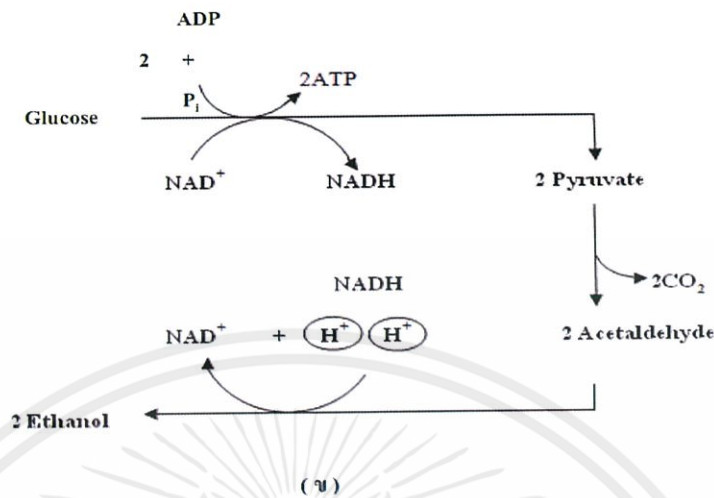
2.2 การผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ คือ แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งประกอบด้ว คาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรเคมี C_2H_5OH มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย ระเหยได้ มีความไวไฟ มีพีเอชเป็นกลาง มีจุดเดือดที่ 78.5 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -117.3 องศาเซลเซียส แต่สามารถระเหยได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม ให้พลังความร้อนประมาณ 12,800 บีทียูต่อปอนด์ (บีทียู ย่อมาจาก British Thermal Unit ซึ่งเป็นค่าวัดพลังงาน) มีน้ำหนักโมเลกุล 46.07 ความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย อาทิ ใช้ผลิตอาหาร และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิง ฯลฯ (วนิดา, 2553) การผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรม สามารถทำได้ 2 วิธีการด้วยกัน คือ การผลิตเอทานอลทางเคมีและการผลิตเอทานอลทางชีวภาพ ดังรูปที่ 2.4



(ก)

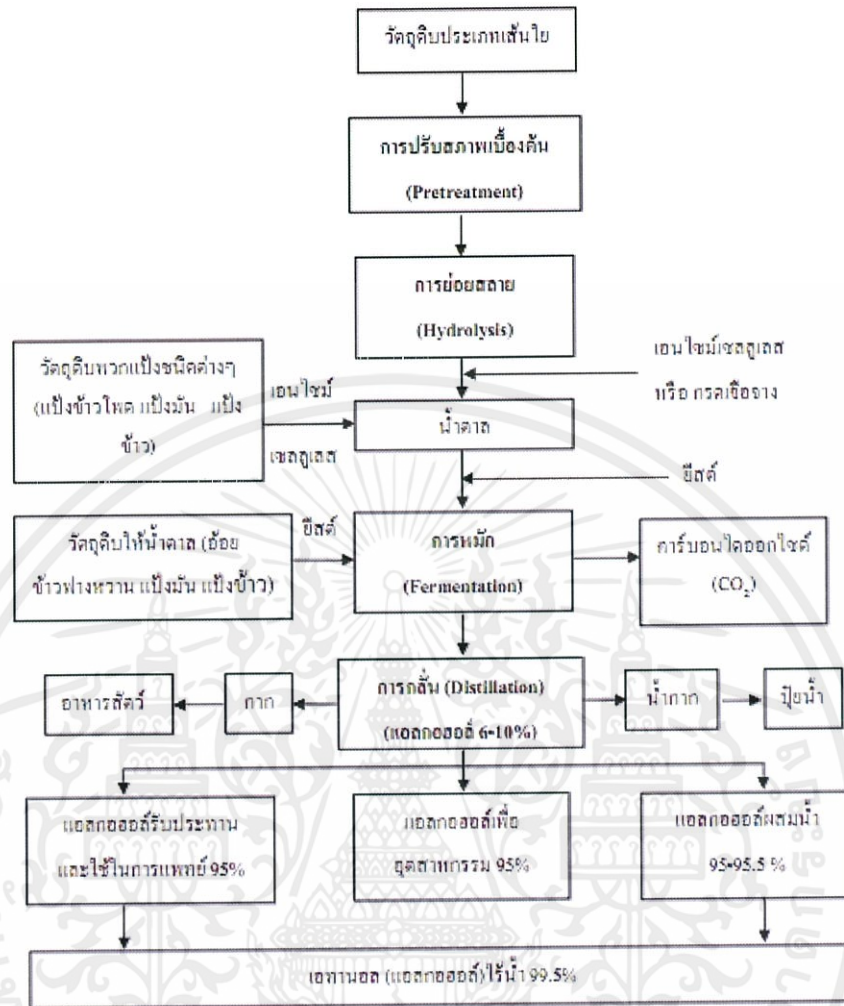
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเอทานอล(ก) กระบวนการผลิตทางเคมี
(ข) กระบวนการผลิตทางชีวภาพ**

เซลลูโลสเอทานอลหรือเอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลส เป็นเอทานอลที่ผลิตได้จากวัตถุดิบ เช่น ฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกไม้ ผักตบชวา หญ้าแฝก หรือเชื้อใยจากพืชชนิดต่างๆ (ธีรภัทร,2543; อำนวย, 2548) วัสดุเหลือทิ้งจากโรงเลื่อย โรงงานทำกระดาษ กระดาษหนังสือพิมพ์ (เทพปัญญา,2545) วัตถุดิบประเภทนี้มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบอื่นๆ คือ ลิกนิน โพรตีน เถ้า และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ (Murphy and McCaty,2005) เป็นต้น เรียกวัตถุดิบประเภทนี้ว่า “วัสดุลิกโนเซลลูโลส” ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช ซึ่งเกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวหรือพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลสจึงมีคุณสมบัติและลักษณะทางเคมีเช่นเดียวกับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลและแป้งที่ได้จากอ้อยและมันสำปะหลังซึ่งกระบวนการผลิตเซลลูโลสเอทานอลจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



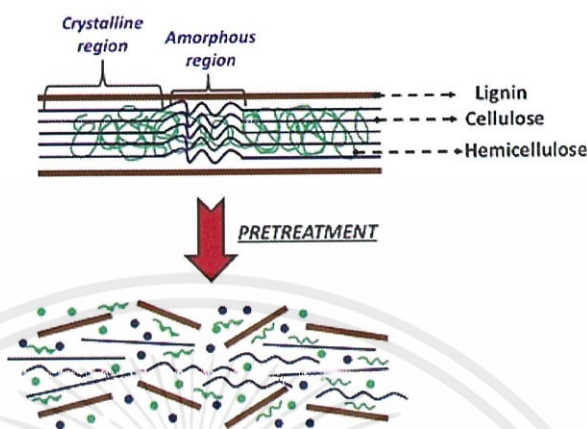
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเชลลูโลซิกเอทานอลจากพืชชีวมวลแบบครบวงจร(ดัดแปลงจาก
ชัชพันธ์และเฉลิม, 2555)

โดยการปรับสภาพนั้นเป็นขั้นตอนการเตรียมลิกโนเซลลูโลสให้อยู่ในรูปที่พร้อมต่อการย่อย
ขั้นตอนแรกนี้จัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่กำหนดอัตราการผลิตและผลได้ทั้งหมดของน้ำตาลโมเลกุล
เดี่ยว รวมทั้งต้นทุนการผลิตเอทานอล (วนิดา 2553; Sathisuksanoh et al., 2013) ลิกโนเซลลูโลสที่
ผ่านการปรับสภาพจากขั้นตอนแรกนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยใช้วิธีการย่อยสลาย
ทางเคมีด้วยกรดหรือการใช้เอนไซม์ น้ำตาลที่ได้จากการย่อยจะถูกนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อ
เปลี่ยนเป็นเอทานอลต่อไป

2.2.1 การปรับสภาพเบื้องต้น (Pretreatment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กระบวนการปรับสภาพ คือ การเปลี่ยนหรือกำจัดโครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆ ที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เป็นสิ่งกีดขวางต่อกระบวนการย่อยเซลลูโลส ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้นและผลได้ของ
น้ำตาลที่ใช้ในการหมักเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับสภาพจึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเปลี่ยน

เซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส วัตถุประสงค์ของกระบวนการปรับสภาพคือ กำจัดลิกนิน/เฮมิเซลลูโลสออก ลดโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มความเป็นรูพรุนของวัตถุดิบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสหลังการปรับสภาพ

(Mosier et al, 2005)

กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส สามารถแบ่งออกได้ 4 กระบวนการหลัก ดังนี้

1. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางกายภาพ (Physical pretreatment)

กระบวนการทางกายภาพเป็นการใช้แรงกล เช่น การบด ตัด หรือ โม่ เข้าไปลดขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งขนาดของวัสดุที่ได้จากการตัดจะมีขนาด 10-30 มิลลิเมตรและหลังจากการโม่หรือบดจะมีขนาด 0.2-2 มิลลิเมตร (วนิดา, 2553) นอกจากการลดขนาดของวัตถุดิบแล้ววิธีการนี้ยังทำให้โครงสร้างผลึก (Crystalline) ของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมากแตกออก เพิ่มพื้นที่ผิวและลดจำนวน โมโนเมอร์เฉลี่ยในโมเลกุลของโพลีเมอร์ หรือองศาของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยลิกโนเซลลูโลสเกิดได้ดีขึ้น 5-25% (วนิดา, 2553)

2. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมีกายภาพ (Physical-chemical pretreatment)

เป็นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมี แปลงโครงสร้างเซลลูโลส และกำจัดลิกนิน ซึ่งจะทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น วิธีการที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีหลัก ได้แก่

- การระเบิดด้วยไอน้ำ (Stream Explosion Process) หลักการคือทำให้วัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอิมด้วยไอน้ำภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงแล้วลดความดันลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน ความชื้นและอุณหภูมิสูงทำให้พืชปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสให้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ และน้ำตาลเพนโทสบางส่วนจะกลายเป็นเฟอฟูรัล (Furfural) รวมทั้งน้ำตาลเฮกโซส

บางส่วนก็เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟูรัล (Hydroxyl methyl furfural) ดังนั้นการย่อยสลายเซลลูโลสในขั้นต่อไปจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water, LHW)เป็นการใช้น้ำร้อนแทนไอน้ำ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสลายเฮมิเซลลูโลส ทำให้เข้าถึงเซลลูโลสได้ดีขึ้น และทำให้การย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น 2-5 เท่า (Hendriks and Zeeman, 2009 อ้างถึงใน วนิดา, 2553)

- การระเบิดด้วยสารละลายเบสเจือจาง ชนิดของสารละลายเบสเจือจางที่นิยมใช้กันมี 3 ชนิดคือ

(1) Ammonia fiber explosion (AFEX) เป็นวิธีการหนึ่งของการปรับสภาพทางด้านเคมีกายภาพซึ่งวัตถุประสงค์หลักโนเซลลูโลสจะถูกรวมด้วยแอมโมเนียเหลวที่ความดันและอุณหภูมิสูงตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นความดันจะลดลงทันที ซึ่งหลักการคล้ายกับวิธี steam explosion โดยในกระบวนการ AFEX ปริมาณของแอมโมเนียเหลวที่ใช้จะอยู่ในระดับ 1-2 กรัมแอมโมเนียต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

(2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถกำจัดลิกนินได้ดี เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่ ซึ่งในบางครั้ง NaOH ไม่ได้กำจัดลิกนินออกไปเพียงอย่างเดียว แต่อาจทำลายเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสบางส่วนออกไปด้วย ดังนั้นการใช้ NaOHจึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมกับพีชชนิดนั้นๆ ผลผลิตที่ได้จึงจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด (Wang et al., 2011)

(3) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)เป็นสารเคมีที่นิยมใช้น้อยที่สุด แต่เป็นสารที่กำจัดลิกนินได้ดีที่สุด โดยที่ Na_2S จะมีความจำเพาะเจาะจงกับลิกนินเท่านั้น โดยจะไม่มีผลต่อเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เหตุผลที่นิยมใช้ Na_2S ค่อนข้างน้อย ก็อาจเนื่องมาจากกลิ่นของแก๊สไข่เน่าที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายลิกนิน แต่อย่างไรก็ตาม Na_2S ยังคงใช้ในระดับอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องกำจัดลิกนินออกเท่านั้น เช่น อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในหลายบริษัท เป็นต้น

3. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมี (Chemical pretreatment)

เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารเคมี เช่น สารละลายกรด สารละลายด่าง ตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวออกซิแดนท์ (Oxidant reagent) วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อย เฮมิเซลลูโลสในกรณีของสารละลายกรดหรือเพิ่มปริมาณการละลายของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินกรณีการใช้สารละลายด่าง นอกจากนี้สารละลายด่างยังช่วยให้เกิดการบวม (swelling) ของโครงสร้าง ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยเพิ่มปริมาณการย่อย เนื่องจากเอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น

1. การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้กรด (acid hydrolysis)

การปรับสภาพโดยการใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากกรดสามารถเข้าไปทำลายพันธะของโครงสร้างวัตถุดิบได้ดีและนิยมกันอย่างแพร่หลายเพราะราคาไม่สูงมากนัก ซึ่งชนิดของกรดที่นิยมนำมาปรับสภาพวัตถุดิบได้แก่ กรด

ซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริกหรือกรดฟอสฟอริก แต่การปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงจะมีอันตรายเพราะมีความเป็นพิษสูง เกิด by product ที่ยับยั้งกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้กรดเจือจางจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนและสนใจที่จะศึกษากันแพร่หลายที่สุด(Ballesteros et al., 2004)

2. การทำปฏิกิริยาค้างด้วยการใช้ด่าง (alkaline hydrolysis)

การใช้ด่างเจือจางในวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสจะมีผลทำให้เกิดการบวมภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มความพรุนในการทำปฏิกิริยา โดยที่ความพรุนของวัตถุดิบจะสามารถเพิ่มขึ้นได้นั้นต้องกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อภายในโครงสร้าง ทำให้ลดความเป็นโครงสร้างฟลิกของเซลลูโลสและลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ สามารถแยกสายโครงสร้างของลิกนิน อย่างไรก็ตามการใช้ด่างเพื่อปรับสภาพมักจะไม่มีผลต่อวัสดุพวกไม้เนื้ออ่อนเท่าไม้เนื้อแข็ง

3. การใช้สารออกซิแดนท์(Oxidant)

สารเคมีที่ใช้ได้แก่ SO_2 และตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ ที่สามารถกำจัดลิกนินได้เช่น NaClO_2 , KB_2O_2 , KIO_3 , SO_3 โดยจะมีผลต่อการละลายของลิกนินวิธีการนี้จะมีปัญหาทางสิ่งแวดล้อมโดยจะเกิดสาร Lignosulphonate ซึ่งไม่สามารถใช้ในการหมักได้จึงถูกกำจัดออกจากระบบซึ่งเป็นปัญหาเดียวในอุตสาหกรรม Sulphite pulping

4. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological pretreatment)

เป็นการ pretreatment ที่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่เป็นแบคทีเรียและเชื้อรารวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์เหล่านี้ เชื้อราทั้งชนิดที่เป็น white-rot, brown-rod และชนิดที่เป็น soft-rot สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ โดย brown-rod มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลส ในขณะที่ white-rot และ soft-rot จะเข้าย่อยสลายพวกลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จากการทดลองนำลิกโนเซลลูโลสมาหมักกับเชื้อราเหล่านี้ที่อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 3-22 วัน พบว่าไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินถูกย่อยสลายไปได้มากถึง 45-75 % และ 65-80 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าชีวมวลที่ผ่านการ pretreatment ด้วยวิธีนี้ยังให้ก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเมื่อนำไป post-treat ต่อด้วยระบบ anaerobic digestion เชื้อราและแบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ *Aspergillus terreus*, *Trichoderma* spp., *Cyathusster coreus*, *Penicillium camemberti*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Streptomyces griseus* เป็นต้น

อย่างไรก็ตามกระบวนการปรับสภาพถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการย่อย กระบวนการปรับสภาพมีหลายกระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการนั้นก็ส่งผลต่อโครงสร้างของวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกกระบวนการปรับสภาพในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น จำเป็นต้องทราบถึงชนิดของวัตถุดิบ

โครงสร้างทางเคมี และองค์ประกอบอื่นๆ ของวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสแต่ละชนิดเสียก่อน แล้วจึงทำการเลือกกระบวนการปรับสภาพให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพในการย่อยเซลลูโลส นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการด้วย

2.2.2 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือ การย่อยสลายเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของน้ำตาลคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม จะได้น้ำตาลไซโลส แมนโนส อะราบิโนส และกลูโคส ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Bosch et al.,2010) ซึ่งการย่อยสลายจะทำให้สายพอลิเมอร์ทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสถูกทำให้สั้นลงกลายเป็นน้ำตาลอิสระก่อนที่จะนำไปหมักเป็นเอทานอล โดยการไฮโดรไลซิสนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือ การย่อยด้วยสารเคมี สามารถแบ่งได้เป็นวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid hydrolysis) และการย่อยด้วยด่าง (Alkaline hydrolysis) วิธีที่สองคือ การย่อยด้วยเอนไซม์ (คุยฎี, 2550)

1. การย่อยด้วยสารเคมี (Chemical Hydrolysis)

1.1 การย่อยสลายด้วยกรด (Acid hydrolysis)

เป็นการใช้กรดเจือจางภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง หรืออาจจะเพิ่มความเข้มข้นของกรดขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิและความดันให้ต่ำลง ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดเจือจางจะต้องนำไปทำปฏิกิริยาสะเทินก่อนกระบวนการหมัก การย่อยสลายด้วยกรดเจือจางมักนิยมใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นกรดที่นิยมใช้กันมาก และมีราคาถูก แต่ในขณะเดียวกัน ก็ทำให้ได้ผลึกภัณฑ์ข้างเคียงหลายชนิด เช่น เฟอร์ฟูรัลไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่เกิดจากการกำจัดน้ำของน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม ซึ่งในระยะยาวสารเหล่านี้จะมีความเป็นพิษสูง การย่อยสลายด้วยกรด อาจแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการคือ (รัตติยาพรและศิตาภา, 2553)

ก. กระบวนการแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous Process) เป็นกระบวนการที่ใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) หรือกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ผลึกภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือน้ำตาลกลูโคส แต่มีข้อเสียคือ ต้องมีการแยกกรดที่ใช้ออกจากน้ำตาลก่อนนำไปใช้ และเรื่องการผูกרוןของเครื่องมือ รวมทั้งปัญหาการสูญเสียกรดไปกับส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลาย

ข. กระบวนการย่อยแบบเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous Process) เป็นกระบวนการที่ใช้กรดอ่อนกว่า แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส ผลการย่อยคือ เซลลูโลสยังมีโครงสร้างของเส้นใยอยู่ (fibrous structure) วิธีการนี้จะไม่สามารถนำกรดกลับมาใช้ใหม่ แต่จะถูกทำให้เป็นกลางด้วยปูนขาว หรือแคลเซียมคาร์บอเนต วิธีการย่อยด้วยกรดมี ข้อดี -ข้อเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยด้วยกรด

ผลดี	ผลเสีย
1. ปฏิกริยาเกิดเร็ว ง่าย และสั้น 2. ตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ราคาถูกและหาง่าย 3. ปฏิกริยาสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ(กรณีใช้กรดแก่) 4. ให้ผลิตภัณฑ์สูง(กรณีใช้กรดแก่)	1. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นไม่เจาะจงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์ 2. ต้องใช้อุณหภูมิสูง (กรณีใช้กรดอ่อน) 3. น้ำตาลที่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นสารอื่น เช่นเฟอฟูรัล และสารเคมีอื่นๆ 4. ผลพลอยได้ของปฏิกริยาการย่อยด้วยกรด เช่น เฟอฟูรัล เป็นต้น

ที่มา : เกศมณี และคณะ,2545

1.2 การย่อยด้วยด่าง (Alkaline Hydrolysis)

สารละลายที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เอทิลีนไดอะมีน (ethylene diamine) และแอมโมเนีย (ammonia) เป็นต้น การใช้สารละลายด่างในการย่อยจะทำให้สายของโพลีแซคคาไรด์สั้นลง ปฏิกริยานี้จะเกิดในสภาพอุณหภูมิสูงประมาณ 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส และต้องการออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งใช้ในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลส ข้อจำกัดคือ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นไม่เจาะจง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่บริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น เช่นเฟอฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟูรัล (Hydroxyl methyl furfural) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการและมีความเป็นพิษต่อจุลชีพที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

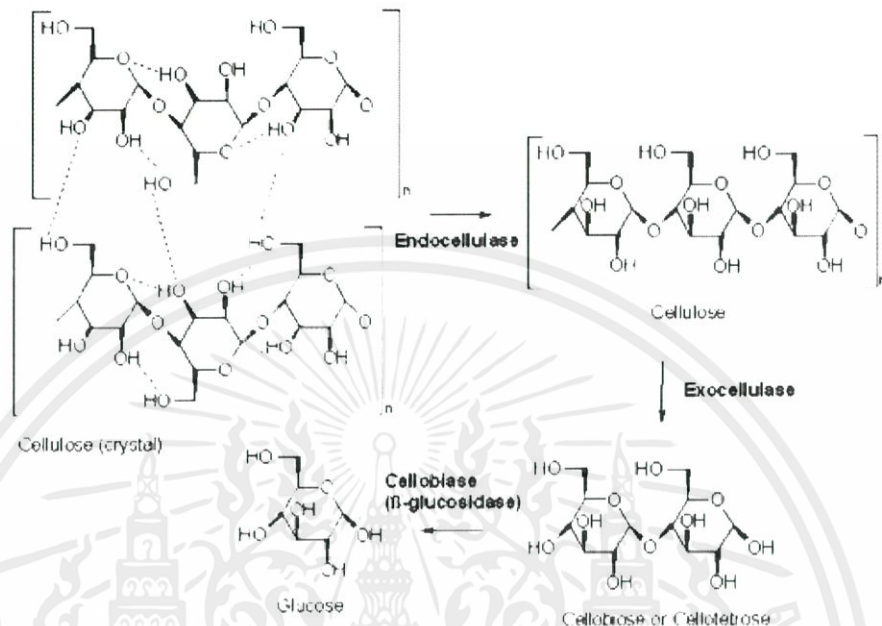
2. การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis)

เอนไซม์ที่ใช้ในการปรับสภาพหรือย่อยสลาย คือเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase)ซึ่งมีความจำเพาะสูง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสจะเป็นน้ำตาลรีดิวัล ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (รูปที่ 2.7) ซึ่งในด้านค่าใช้จ่ายโดยการใช้เอนไซม์จะต่ำกว่าการใช้กรดหรือเบสเนื่องจากไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาจากการกัดกร่อน โดยปกติในกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์เซลลูเลส ประกอบด้วยการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส 3 กลุ่ม คือ

- (1) endoglucanase (EG, endo-1,4-D-glucanohydrolase หรือ EC 3.2.1.4) เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นเอนไซม์ที่เข้าทำปฏิกริยาในบริเวณที่มีลักษณะเป็นผลึกค้ำของเซลลูโลส
- (2) exoglucanase หรือ cellobiohydrolase (CHB, 1,4-β-D-glucan cellobiohydrolase หรือ EC 3.2.1.91) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลสให้เป็นเซลโลไบโอส (cellobiose)
- (3) β-glucosidase (EC 3.2.1.21) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยเซลโลไบโอสเป็นกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูล โดยนิตยสารวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ (3) β-glucosidase (EC 3.2.1.21) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยเซลโลไบโอสเป็นกลูโคส

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดและการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ จะได้น้ำตาลที่มีคาร์บอนหกอะตอม หรือน้ำตาลเฮกโซส เช่น กลูโคส และน้ำตาลที่มีอะตอมของคาร์บอน 5 อะตอม หรือน้ำตาลเพนโตสเช่น ไซโลส แมนโนสอะราบิโนส เป็นต้น (Dwivedi et al., 2009)



รูปที่ 2.7 กลไกการทำปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส
(ที่มา <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulase>)

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

1. อุณหภูมิ

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สำคัญ คืออุณหภูมิ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดได้ต้องอาศัยความร้อนเพื่อทำให้น้ำเข้าทำลายพันธะของเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเอมิเซลลูโลสคือ 180 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ 250 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลทำให้น้ำตาลที่ไฮโดรไลซิสออกมาได้ถูกทำลายไป แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีปริมาณน้อยมาก (นันทิชา และคณะ, 2554)

2. ความดัน

ในการไฮโดรไลซิสความดันที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามอุณหภูมิที่ให้กับเครื่องปฏิกรณ์ ความดันมีผลคือถ้าความดันมีค่าสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดีขึ้น แต่สามารถเพิ่มความดันได้ถึงช่วง 35-40 บาร์ เท่านั้น ซึ่งความดันนี้เกิดขณะที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์มี

ค่าอยู่ในช่วง 242 ถึง 250 องศาเซลเซียส เพราะถ้าเพิ่มความดันมากกว่านี้จะมีผลทำให้น้ำตาลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสถูกทำลาย

3. ความเข้มข้นของสารละลายกรด

ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยสารละลายกรดเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้นและเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากถ้าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยและช้ากว่าการมีตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้สารละลายกรดเจือจางที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ควรใช้คือ 0.5 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเท่านั้น ถ้าใช้มากกว่านี้อาจจะกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ และมีผลทำลายน้ำตาลที่ได้อีกด้วย กรดที่นิยมใช้เช่น กรดอะซิติก กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

4. เวลา

ถ้าเพิ่มเวลาในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้มากขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ได้ออกมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากตามไปด้วย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกทำลายพันธะมากขึ้น

5. พื้นที่ผิว

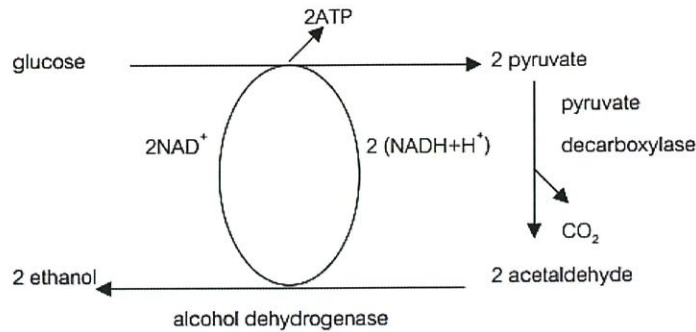
ขนาดของเปลือกกล้วยที่เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลที่ได้เนื่องจากขนาดของเปลือกกล้วยยิ่งเล็กก็ยิ่งมีผลทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้นและปริมาณน้ำตาลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

2.2.3 การหมัก

โดยปกติเอทานอลสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติโดยกระบวนการหมักของจุลินทรีย์พวกยีสต์และมีสารตั้งต้นเป็นสารประกอบพวกแป้งหรือน้ำตาล โดยน้ำตาล 1 โมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล และเอทานอล 2 โมเลกุล ภายใต้สภาพที่ปราศจากอากาศ (Phaff *et al.*, 1968)

การหมักเอทานอลของยีสต์นั้นเกิดจากการที่น้ำตาลกลูโคสถูกเปลี่ยนไปตามวิถีไกลโคไลซิสจนได้ไพรูเวต โดยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล จะให้ไพรูเวต 2 โมเลกุล จากนั้นไพรูเวตเกิด decarboxylation โดยเอนไซม์ pyruvate decarboxylase เป็นตัวเร่งการสร้าง acetaldehyde ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นเอทานอล โดยมีเอนไซม์ alcohol dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.8 (สาวิตรี, 2549; Panchal and Tavares, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประสิทธิภาพทางการผลิตเอทานอลของยีสต์



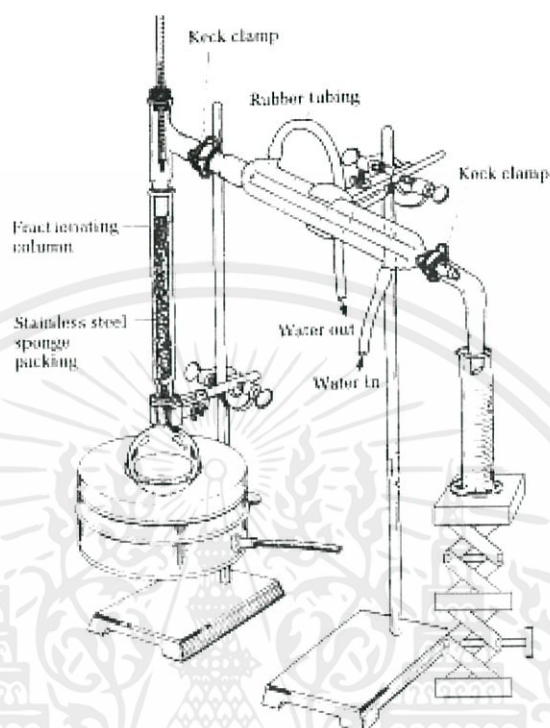
รูปที่ 2.8 สมการการผลิตเอทานอลของยีสต์
(สาวิตรี, 2549; Panchal and Tavares, 1990)

จากรูปที่ 2.8 ให้ผลสรุปทางทฤษฎีได้ว่า การผลิตเอทานอลจากกลูโคส 1 กรัม ให้เอทานอล 0.511 กรัม และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.498 กรัม นั่นคือ มีผลผลิตทางทฤษฎี สำหรับการผลิตเอทานอลเท่ากับ 51.1 % เนื่องจากน้ำตาลประมาณ 6-12 % จะถูกยีสต์ใช้เพื่อการเจริญ และบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นผลผลิตพลอยได้บางชนิด เช่น กลีเซอรอล ซัคซีเนต และ higher alcohol ทำให้ปริมาณเอทานอลที่ได้ต่ำกว่าผลผลิตทางทฤษฎีเสมอ ในทางปฏิบัติเอทานอลที่ได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 90-95 % ของผลผลิตทางทฤษฎี โดยผลผลิตพลอยได้ที่เกิดขึ้น เกิดจากสับสเตรท 4-5 % และถ้าสามารถป้องกันไม่ให้เกิดผลผลิตพลอยได้เหล่านั้น จะได้เอทานอลเพิ่มขึ้น 2.7 % ปัจจุบันการผลิตระดับอุตสาหกรรมเอทานอลที่ได้จะมีค่าเพียง 80-90 % ของผลผลิตทางทฤษฎี ซึ่งกระบวนการหมักเอทานอลของยีสต์นอกจากจะให้ผลผลิตที่ต้องการแล้วยังมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในรูปของ ATP ด้วย (สาวิตรี, 2549; Panchal and Tavares, 1990)

2.2.4 การกลั่น

การกลั่นแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์นั้น จะใช้วิธีการกลั่นแบบลำดับส่วน เป็นการแยกสารผสมออกจากกันให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบย่อยแต่ละตัว เช่น การแยกสารประกอบทางเคมี โดยใช้ความแตกต่างของจุดเดือด ด้วยการให้ความร้อนกับสารประกอบนั้น ซึ่งสารประกอบแต่ละตัวจะถูกแยกออกมาที่ความดัน ไอแตกต่างกัน การกลั่นลำดับส่วนนี้จัดเป็นการกลั่นชนิดพิเศษ โดยทั่วไป ส่วนประกอบของสารเคมีที่จะนำมากลั่นจะมีจุดเดือดต่างกัน ไม่มากนักประมาณ 25 องศาเซลเซียส อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นลำดับส่วน จะคล้ายกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นแบบธรรมดา แต่จะมี

อุปกรณ์พิเศษเพิ่มเข้ามาคือส่วนหัวกลั่น (distilling head) จะใช้คอลัมน์แฟรกชัน (fractionating column) ที่ต่อเข้ากับขวดก้นกลม (round bottom flask) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) และตัวควบแน่น (condensor) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นลำดับส่วน

(ที่มา: http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter6.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กล้วย(ที่มา: <http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/musa.html>)

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Musa sapientum</i> L., <i>Musa paradisiaca</i> L. varsapientum (L.) O. Kuntze
ชื่อวงศ์	Musaceae
ชื่ออังกฤษ	Banana, Cultivated banana
ชื่อท้องถิ่น	กล้วยกะลือ่อง กล้วยมะนิ่อง กล้วยไข่ กล้วยใต้ กล้วยนาก กล้วยน้ำว้า กล้วยเล็บมือ กล้วยส้ม กล้วยหอม กล้วยหอมจันทร์ กล้วยหักมุก มะลือ่อง ยาไข่ สะกุก

องค์ประกอบทั่วไป

กล้วยเป็นไม้ดอกล้มลุกขนาดใหญ่ทุกส่วนเหนือพื้นดินของกล้วยเจริญจากส่วนที่เรียกว่า "หัว" หรือ "เหง้า" ปกติแล้ว ต้นกล้วยจะสูงและแข็งแรงพอสมควร ทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นต้นไม้ ซึ่งแท้จริงแล้วส่วนที่คล้ายกับลำต้นคือ "ลำต้นเทียม" (pseudostem) ใบของกล้วยประกอบด้วย "ก้านใบ" (petiole) และแผ่นใบ (lamina) ฐานก้านใบแผ่ออกเป็นกาบ กาบที่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นทำให้เกิดลำต้นเทียม มีหน้าที่ชูก้านใบ พยุงให้พืชตั้งตรงคล้ายต้นไม้ เมื่อแรกเจริญของกาบจะจรดกันคล้ายท่อ เมื่อมีใบเจริญขึ้นใหม่ที่ใจกลางลำต้นเทียม ขอบกาบที่จรดกันนั้นก็แยกออกจากกัน พันธุ์กล้วยนั้นมีความผันแปรมากขึ้นอยู่กับพันธุ์ปลูกและสภาพแวดล้อม

ส่วนประกอบทางกายภาพของกล้วย

ผลกล้วยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนที่กินได้และ 2) ส่วนที่กินไม่ได้คือเปลือกกล้วย เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำเอามาใช้อย่างจริงจังสามารถนำเอามาประกอบเป็นอาหารสัตว์ได้

ลักษณะทั่วไป

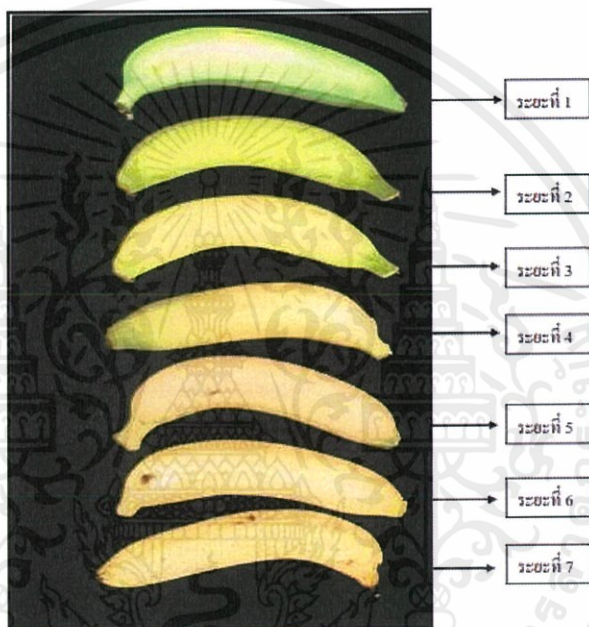
กล้วย เป็นพืชที่ปลูกง่าย มีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เร็ว ปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด นิยมปลูกแพร่หลายทุกภาคของประเทศไทย ขนาดความสูงของต้นกล้วยเมื่อโตเต็มที่อยู่ระหว่าง 3-5 เมตร ลำต้นกล้วยต้นโตๆอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 30 เซนติเมตร ใบกล้วยมีความยาวตลอดใบ 2-3 เมตร และกว้าง 30-60 เซนติเมตร ต้นกล้วยที่โตเต็มที่ จะมีใบขนาดต่างๆรวม 15-17 ใบ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกล้วย และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูกกล้วย สามารถ ขยายพันธุ์โดยใช้หน่อ หมายถึง ต้นกล้วยเล็กๆที่เจริญมาจากตาของต้นกล้วยที่โตเต็มที่แล้ว การขยายพันธุ์กล้วยทำได้ทุกฤดู แต่ในฤดูฝนต้นกล้วยจะตั้งตัว และเจริญเติบโตไฉไลเร็ว ในสภาพดินที่อุดมสมบูรณ์ และมีน้ำเพียงพอ ต้นกล้วยจะแตกใบ และให้ผลผลิตตลอดปี ต้นกล้วยที่สมบูรณ์เต็มที่ อาจจะให้ผลกล้วยมากถึง 200 ผล และมีน้ำหนักรวมถึง 20 กิโลกรัม เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ปลูกแพร่หลายตามบ้านเรือนของเกษตรกร มักจะปลูกต้นกล้วยเพื่อเป็นร่มเงา และเก็บใบกล้วยมาใช้สอยเป็นครั้งคราว ต้นกล้วยมีการแตกหน่อแตกใบให้ผลผลิตตลอดทั้งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้สอยเป็นครั้งคราว
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามมีให้ด้วยประการใดๆ และต้องเข้าถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกกล้วย

เปลือกกล้วยมีโปรตีนคิดจากน้ำหนักแห้งประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์มีไขมันคิดจากน้ำหนักแห้งประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (ที่มา: http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArtileF.htm) จากส่วนประกอบทางเคมีดังกล่าวเปลือกกล้วยน่าจะเหมาะสำหรับเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดทั้งสัตว์กระเพาะเดียวและสัตว์กระเพาะรวมแม้จะมีระดับโปรตีนค่อนข้างต่ำแต่มีไขมันมากทำให้สามารถให้พลังงานแก่สัตว์มาก

สำหรับสีของเปลือกกล้วยนั้น จะสามารถจำแนกออกได้เป็น 7 ระยะ ตามระยะการสุกของกล้วย หรือเรียกว่าดัชนีสีของเปลือกกล้วย (Peel Color Index, PCI) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ดัชนีสีของเปลือกกล้วย (เบญจมาศ, 2545)

ในปัจจุบันมีการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำให้มีเปลือกกล้วยเหลือทิ้งปริมาณมากๆ เกษตรกรที่อยู่ใกล้แหล่งดังกล่าว อาจจะใช้เปลือกกล้วยเป็นอาหารหลักเลี้ยงโค กระบือ และสุกร กรณีมีเปลือกกล้วยเหลือทิ้งในแต่ละวัน เกษตรกรอาจจะนำเปลือกกล้วยมาหมักร่วมกับหญ้าสด หรืออาหารหยาบอื่นๆ เก็บไว้เลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งจะได้อาหารหมักที่มีความน่ากินและมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสำหรับ เลี้ยงสัตว์

ส่วนประกอบทางกายภาพและทางโภชนาการของกล้วยและเปลือกกล้วย

กล้วยและผลิตภัณฑ์ของกล้วยนอกจากใช้เป็นอาหารมนุษย์แล้วผลผลิตและผลพลอยได้ยังสามารถนำมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ โดยเฉพาะส่วนลำต้นเทียมและก้านใบ จากการวิเคราะห์ส่วนใบและลำต้นเทียมของต้นกล้วย พบว่าส่วนของใบสดและลำต้นสดนั้นมีโปรตีนสูง Dividch et al.(1976) รายงานถึงส่วนประกอบทางเคมีของผลกล้วยแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีเป็นเปอร์เซ็นต์ของกล้วยดิบและกล้วยสุกในสภาพแห้ง

ส่วนประกอบ	กล้วยดิบ (%air-dry basis)	กล้วยสุก (%air-dry basis)
วัตถุแห้ง	88.8	91.3
โปรตีน	6.4	5.3
ไขมัน	-	-
เยื่อใย	3.7	3.8
เถ้า	4.6	5.2
แป้ง	72.3	3.4
น้ำตาล	1.8	73.6

ที่มา : Dividch et al. (1976)

2.3.1 กล้วยน้ำว้า (ที่มา: <http://group.wunjun.com/thatumhealthy/topic/243107-6291>)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa Sapientum* L.

ชื่อวงศ์ MUSACEAE

ชื่อสามัญ กล้วยน้ำว้า

ชื่อพันธุ์พื้นเมือง กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี), กล้วยใต้และกล้วยอ่อง (เชียงใหม่, พะเยา), กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ, พะเยา)

องค์ประกอบทั่วไป

กล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่คนส่วนใหญ่รู้จักดีมากที่สุดเพราะสามารถใช้ได้ทุกส่วนของต้น ผลสามารถรับประทานผลสุกและประกอบอาหารได้มากชนิด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ส่งขายภายในประเทศและต่างประเทศ กล้วยน้ำว้าสามารถผลิตออกสู่ตลาดได้ตลอดทั้งปี พื้นที่เพาะปลูกกล้วยน้ำว้าปี 2551/52 มีประมาณ 686,937 ไร่ ผลผลิต 1,115,101 ตัน ทั้งพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 และ 0.06 ตามลำดับเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา สำหรับแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญ ได้แก่ ชุมพร เลย ระนอง นครราชสีมา และหนองคาย ราคาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ยในช่วง 7 เดือนแรกของปี 2552 อยู่ที่ 5.4 บาท/กิโลกรัม สูงขึ้นกว่าปีที่แล้วที่มีราคาขายเฉลี่ยอยู่ที่ 5.0 บาท/กิโลกรัม (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2553) ถ้าหากมีการปรับปรุงคุณภาพให้ดีกว่าเดิมและมีการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจะสามารถทำรายได้ให้ประเทศได้มากขึ้น

ลักษณะทั่วไป

เป็นพืชล้มลุก มีลำต้นใต้ดิน (rhizome) อายุได้หลายปี ลำต้นบนดินรูปทรงกระบอก สูง 2-9 เมตร เป็นลำต้นปลอม เกิดจากกาบใบห่อหุ้มซ้อนกัน ใบ ออกเรียงเวียนสลับกัน รูปขอบขนาน ท้องใบ (lower epidermis) สีขาวนวล ขนาดใหญ่กว้าง 0.7-1.0 เมตร ปลายตัด ขอบเรียบ เส้นกลางใบ (midrib) แข็ง เส้นใบมีจำนวนมาก แยกออกจากเส้นกลางใบทั้งสองข้าง ขนานกันไปจดขอบใบ

ก้านใบ ยาว 1-2 เมตร ด้านกลางกลม ด้านบนเป็นร่อง ส่วนโคนแผ่ออกเป็นกาบ (sheath) ดอก ออกเป็นช่อห้อยลง เรียกหัวปลี ยาว 30-150 ซม. ก้านดอกช่อ (peduncle) แข็ง ดอกย่อยแยกเป็นดอก เพศผู้ (staminate flower) และเพศเมีย (pistillate flower) ดอกเพศเมียมักอยู่ตอนล่างของช่อ ดอกย่อย เป็นกลุ่มๆ เป็นช่อดอกย่อย แต่ละกลุ่มรองรับด้วยใบประดับ (bract) ขนาดใหญ่สีม่วงแดง ซึ่งติดบน แกนกลางช่อ ดอกแบบเรียงเวียนสลับกัน ดอกย่อยมีขนาดใหญ่ รูปทรงกระบอก กลีบดอกแยก ออกเป็น 3-5 แฉก เกสรตัวผู้ที่สมบูรณ์มี 5 อัน ก้านเกสรตัวผู้ (filament) แข็ง อับเรณูรูปขอบขนาน มี 2 พู รังไข่ติดอยู่ได้ กลีบดอกมี 3 ช่อ แต่ละช่อมีไข่อ่อนจำนวนมากติดรอยเชื่อมของแต่ละช่อ เกสรตัวเมียเป็นเส้นด้าย ยอดเกสรตัวเมียบ่อนข้างกลม มี 6 พู ผลสดยาวเกินกว่า 10 ซม. รูป ทรงกระบอก หรือเป็นสี่เหลี่ยมอยู่ติดกันคล้ายหวี เปลือกหนา ผล อ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกมีรสหวาน มี สีเหลือง เนื้อในสีขาวหรือขาวอมเหลือง รับประทานได้ เมล็ด ไม่มี หรือ มีแต่น้อย บ่อนข้างกลม ทั้ง ช่อดอกที่เจริญเป็นผลเรียกเครือ

ประโยชน์ของกล้วยน้ำว้า

การใช้ประโยชน์จากเปลือกกล้วยน้ำว้าในปัจจุบันคือเป็นอาหารสัตว์ การใช้ประโยชน์ด้าน เพื่อความงาม เช่น ใช้ขจัดบริเวณข้อศอกเงาเพื่อป้องกันความหยาบกระด้าง ใช้ทาบริเวณงูกัดหรือ มดกัด แก้คันคัน (เบญจมาศ, 2545) นอกจากนี้ เปลือกกล้วยยังมีแทนนินซึ่งเป็นสารประกอบ โพลีฟิ นอลที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและมีนักวิจัยให้ความสำคัญและศึกษาการสกัดแทน นินจากเปลือกกล้วย ซึ่งจากระบวนการศึกษาพบว่าหากนำมาผลิตในเชิงอุตสาหกรรมไม่คุ้มทุน (สุปรียา, 2537)

2.3.2 กล้วยหอม

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Musa</i> (AAA group) "Kluai Hom thong"
ชื่อวงศ์	MUSACEAE
ชื่อสามัญ	Gros Michel
ชื่อพื้นเมือง	กล้วยหอม

องค์ประกอบทั่วไป

กล้วยหอม เป็นไม้ล้มลุกชนิดหนึ่ง มีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมจันทร์ กล้วยหอม ทอง กล้วยหอมเขียว จัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารครบถ้วนตามหลักทางโภชนาการ อาทิเช่น มีวิตามิน ไฟเบอร์ ที่มีส่วนช่วยในเรื่องของการขับถ่าย มีสารแทนนิน ซึ่งมีส่วนช่วยในการ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า *Escherichia coli* ที่เชื่อว่าทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ เป็นต้น ซึ่งกล้วยหอมได้ถูกจัดว่าเป็นผลไม้ของเขตเมืองร้อน สามารถปลูกได้เกือบทุกประเทศที่มีภูมิอากาศ ร้อนชื้นหลายแห่ง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกกล้วยหอมได้ทั่วประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยมี พื้นที่สำหรับปลูกกล้วยหอมอยู่ประมาณ 140,000 ไร่ (ผลการสำรวจปี พ.ศ. 2529) โดยพบว่าภาคที่มี

การปลูกกล้วยหอมมากที่สุดได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ(อีสาน) ภาคใต้ แต่ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะเน้นปลูกกล้วยหอมเพื่อการค้า

ลักษณะทั่วไป

ลำต้นสูง 2.5 - 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำ ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นลายสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านเครือมีขน ปลีรูปทรงกระบอก ค่อนข้างยาวมรจนตรงโคน ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข่ ด้านในสีแดงซีด ติดผลเป็นเครือ เครือหนึ่งมี 4 - 6 หวี หวีหนึ่งมี 12 - 16 ผล กว้าง 3 - 4 เซนติเมตร ยาว 21 - 25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุดเห็นชัดเปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุดจะมีสีเขียว แล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน

ประโยชน์ของกล้วยหอม

กล้วยหอมมีสารน้ำตาลอยู่ 3 ชนิดคือ ซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส (sucrose, fructose and glucose) รวมทั้งเส้นใยอาหาร ซึ่งจะให้พลังงานแก่ร่างกายพร้อมนำไปใช้ได้ทันที กล้วยหอม 2 ใบ ให้พลังงานเพียงพอให้เราทำงานถึง 90 นาที (ที่มา: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=40320>)

2.3.3 กล้วยไข่

ชื่อสามัญ

Pisang Mas

ชื่อพ้อง

กล้วยกระ กล้วยเจ๊กบอง

ชื่อวิทยาศาสตร์

Musa (AA group) "Kluai Khai"

องค์ประกอบทั่วไป

กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่มีสารเบต้าแคโรทีนมาก ช่วยบำรุงสายตา ชะลอริ้วรอยและความเสื่อมของเซลล์ได้ดี แต่เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตสูง จึงควรรับประทานอย่างพอดี กล้วยไข่เป็นผลไม้ที่นิยมผู้บริโภคกันทั่วไป เนื่องจากมีรสชาติดี ลักษณะการเรียงตัวของผลและสีผลสวยสะดุดตา กล้วยไข่เป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศ ในพื้นที่ปลูกที่มีการจัดการการผลิตเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณ และผลผลิตตรงตามมาตรฐานคุณภาพ ตลาดต้องการ ปัญหาสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลผลิตคือ การปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค ตลอดจนการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงต้องมีการปฏิบัติอย่างถูกต้องและเหมาะสม

ลักษณะทั่วไป

ไม้ล้มลุก ขึ้นบนบกในที่กลางแจ้ง ความสูง 1.2 เมตร ความกว้าง 1 เมตร รูปร่างคล้ายรูปรี ลำต้นอยู่ใต้ดินมีลักษณะเป็นหัว ผิวของลำต้นเรียบ เห็นข้อปล้องชัดเจน ต้นอ่อนมีสีเขียว ต้นแก่สีน้ำตาล มียางใส ใบเป็นใบเดี่ยว ใบอ่อนมีสีเขียว ใบแก่มีสีน้ำตาล แผ่นใบกว้าง 30 - 45 เซนติเมตร

ยาว 100 - 200 เซนติเมตร ใบจะแผ่กว้างยาว การเรียงตัวของใบเรียงแบบสลับ แผ่นใบรูปแถบ ปลายใบมน โคนใบรูปลิ้น ขอบใบเรียบ

ประโยชน์ของกล้วยไข่

กล้วยไข่มีเบต้าแคโรทีนมากถึง 492 ไมโครกรัม นอกจากนี้กล้วยไข่ยังมีสารอาหารที่น่าสนใจอื่นๆ เช่น เกลือแร่ วิตามินเอ วิตามินบี2 วิตามินบี6 และวิตามินซี ซึ่งไม่เฉพาะแต่ผลกล้วยเท่านั้น ในหัวปลียังมีแคลเซียม ธาตุเหล็ก แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อกระดูกและเนื้อเยื่อ ทั้งยังช่วยแก้ปัญหาท้องผูกได้อย่างดี เพราะเนื้อกล้วยไข่มีไฟเบอร์ชนิดไม่ละลายน้ำสูง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดรอุวรรณและคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวส์ด้วยกรดเจือจาง ปัจจัยที่ศึกษาคือความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 2-10 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30-90 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการไฮโดรไลซิส 15-75 นาที จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่มีความเหมาะสมคือที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 4% อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ซึ่งให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 24.3 กรัมต่อลิตร

นันทิกา และคณะ (2554) ศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวส์จากข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดพบว่าองค์ประกอบสำคัญได้แก่เฮมิเซลลูโลส 25.42 เซลลูโลส 58.23 และลิกนิน 14.95 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เมื่อทำการปรับสภาพข้าวฟ่างหวานด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อกำจัดลิกนิน พบว่ามีปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 90.37 และมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงเป็น 5.97 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามลำดับ

เสรี และเฉลิม (2555) ศึกษาการผลิตลิกโนเซลลูโลสจากลำต้นมันสำปะหลัง ด้วยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของการปรับสภาพตัวอย่างโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการต่างๆ จากผลของการศึกษาปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการย่อยตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังและตัวอย่างไฮโดรเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟูริกเจือจางโดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เท่ากับ 0.24 ± 0.03 และ 0.26 ± 0.02 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง

พรรณวิไล (2545) ทำการศึกษาการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้วิธีการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า การแช่แป้งมันสำปะหลังในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้ตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่มีเซลลูโลส

ประกอบอยู่ 96.46% เสมิเซลลูโลส 1.85% และลิกนิน 1.69% จากเห้ง้ำมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพโดยการบด เทียบกับเห้ง้ำมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี ซึ่งมี ส่วนประกอบคือเซลลูโลส 82.14% เสมิเซลลูโลส 11.41% และลิกนิน 6.45%

วัชร และเจนจิรา (2556) ทำการศึกษาการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ด้วยของเหลวไอออนิก พบว่าการใช้ของเหลวไอออนิกชนิด EmimOAc ปรับสภาพที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ผลร้อยละคืนกลับน้ำตาลกลูโคสสูงสุดที่ 68.2 และ 62.8 ตามลำดับ

รัตติยาธร (2550) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลกลูโคสจากมันสำปะหลังโดยการฉายรังสีแกมมาตามด้วยการย่อยสลายด้วยกรด โดยใช้เห้ง้ำมันสำปะหลังเป็นตัวอย่างสำหรับงานวิจัยและแบ่งการย่อยสลายโมเลกุลแป้งดิบมี 2 วิธีคือการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกหรือกรดไฮโดรคลอริกและการย่อยสลายด้วยรังสีร่วมกับกรดไนตริกหรือกรดไฮโดรคลอริก ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายมันสำปะหลังคือการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกและไฮโดรคลอริก 0.7 M ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาทีเป็นสภาวะที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดร้อยละ 84.6 โดยน้ำหนัก

Zhu et al. (2011) ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากถั่วโดยการไฮโดรไลซิสในน้ำผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาสัมผัส และคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากการศึกษาพบว่าในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการไฮโดรไลซิสนอกจากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ได้สูงสุดคือ 65% ที่ 300 องศาเซลเซียสและเวลา 360 วินาที

Singh et al. (1984) ได้ทำการศึกษาผลผลิตของน้ำตาลรีดิวซ์จากชานอ้อยและแกลบโดยใช้กรดในการไฮโดรไลซิส พารามิเตอร์ที่ศึกษาในกระบวนการไฮโดรไลซิส คือ สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว, ขนาดอนุภาค, ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของกรด จากการศึกษาพบว่าการใช้กรดซัลฟิวริกดีกว่ากรดไฮโดรคลอริก ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้คือ 75% โดยน้ำหนัก แต่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:12 ขนาดอนุภาคจะใช้น้อยกว่า 417 ไมโครเมตร สำหรับการไฮโดรไลซิสระยะเวลาที่ใช้ให้ความร้อนเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หลังเจือจางด้วยน้ำ 3 เท่า ที่สภาวะดังกล่าว จะทำให้ได้การไฮโดรไลซิสมากถึง 78 % ในขณะที่การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้ผลผลิตเท่ากับ 78% ของชานอ้อยและ 74% ของแกลบ นอกจากนี้วัตถุดิบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะได้ผลผลิตเท่ากับ 58% และ 49.5% สำหรับชานอ้อยและแกลบ

Lloyd and Wyman (2005) ได้ศึกษาการปรับสภาพของเปลือกข้าวโพดด้วยการใช้ความร้อนร่วมกับกรดเจือจาง ใช้กรดในช่วงความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.22%, 0.49%, และ 0.98% w/w ที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าน้ำตาลกลูโคสเพิ่มสูงสุด

56% ของปริมาณน้ำตาลรวม ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมคือ 60% เมื่อ glucose ถูกปล่อยออกมา ระหว่างการปรับสภาพรวมกับปริมาณไซโลสจะได้น้ำตาลสูงสุด 34% ของปริมาณน้ำตาลรวม

Sun and Cheng (2005) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสพวกหญ้าแห้งและBemuda grass เนื่องจากพืชเหล่านี้ประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่สูง นำไปผลิตเอทานอลได้โดยปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้ากระบวนการโดยใช้กรดเจือจาง หาค่าสภาวะที่เหมาะสมตั้งแต่ 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5% ของซัลฟิวริก เข้มข้นที่เวลา 30, 60 และ 90 นาทีโดยอัตราของแข็งที่ได้มีค่า 10% และถูกปรับสภาพที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรดและเวลาที่ทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของน้ำตาลกลูโคส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องกรองสุญญากาศ ยี่ห้อ Eyela รุ่น Aspirator A-3S บริษัท Tokyo Rikakikai Co., Ltd
2. เครื่องระเหยสุญญากาศ ยี่ห้อ Eyela Rotary Vacuum Evaporator N-N Series
3. Water Bath ยี่ห้อ Eyela Digital WaterBath รุ่น SB-651
4. เครื่องทำความเย็น ยี่ห้อ EyelaCool รุ่น ACE CA-1111
5. เตาเผา Thermolyne รุ่น 6000 Furnace บริษัท Electric Service Derice Co., Ltd
6. ตู้อบ Memmert
7. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV) ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Genesys 10s UV-visc Spectrophotometer
8. เครื่องย่อยยี่ห้อ Buchi Switzerland รุ่น Speed Digister K-425 บริษัท Bchi Thailand Ltd.
9. เครื่องกลั่น Buchi Switzerland รุ่น Buchi Distillation Unit B-323
10. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED 2248 บริษัท SCIENTIFIC Promotion Co., Ltd
11. โถดูดความชื้น (Desiccators)
12. เตาให้ความร้อน (Hotplate)
13. ตู้ดูดควัน (Hood)
14. ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช
15. เทอร์โมมิเตอร์
16. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.1.2 สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก 37% (HCl), AR grade, Carlo Erba
2. กรดซัลฟิวริก 96% (H₂SO₄), AR grade, Carlo Erba
3. อะซีโตน (C₃H₆O), AR grade, Carlo Erba
4. แอนไฮไดรต โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂SO₃ anhydrous), AR grade, Rankem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โซเดียมลอร์ริลซัลเฟต, AR grade, Carlo Erba
6. ไคโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอะซิเตต (EDTA), AR grade, Carlo Erba
7. โซเดียมบอเรตเตคาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
8. แอนไฮไดรอสไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4 anhydrous), AR grade, Rankem
9. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), AR grade, Acros
10. ดี-กลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), AR grade, Carlo Erba
11. กรดไดไนโตรซาลิซิลิกแอซิด (3,5-dinitrosalicylic), AR grade, Carlo Erba
12. โพแทสเซียมโซเดียมทราเทรต ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$), AR grade, Carlo Erba
13. ไตรเอทิลีนไกลคอล ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$), AR grade, Acros
14. สารเร่งปฏิกิริยา [สารผสมระหว่าง copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) กับ potassium sulfate (K_2SO_4) ในอัตราส่วน 1 : 9]
15. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
16. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล
17. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$), AR grade
18. ฟีนอล์ฟธาเลอิน (Phenolphthalein)
19. สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Screened methyl red indicator)
20. กรดบอริกความเข้มข้น 4% (w/v)
21. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40% (w/v)
22. Petroleum ether จุดเดือด 35-60 องศาเซลเซียส
23. สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 1.25%
24. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1.25%

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะการสุก 3 ระยะ ได้แก่ ดิบ (ระยะ 1), ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) มาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด ตากแดดให้แห้ง จากนั้นปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด และร่อนตัวอย่างที่ปั่นแล้วผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาวางทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทแล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วย

เปลือกกล้วยในหัวข้อที่ 3.2 จะนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

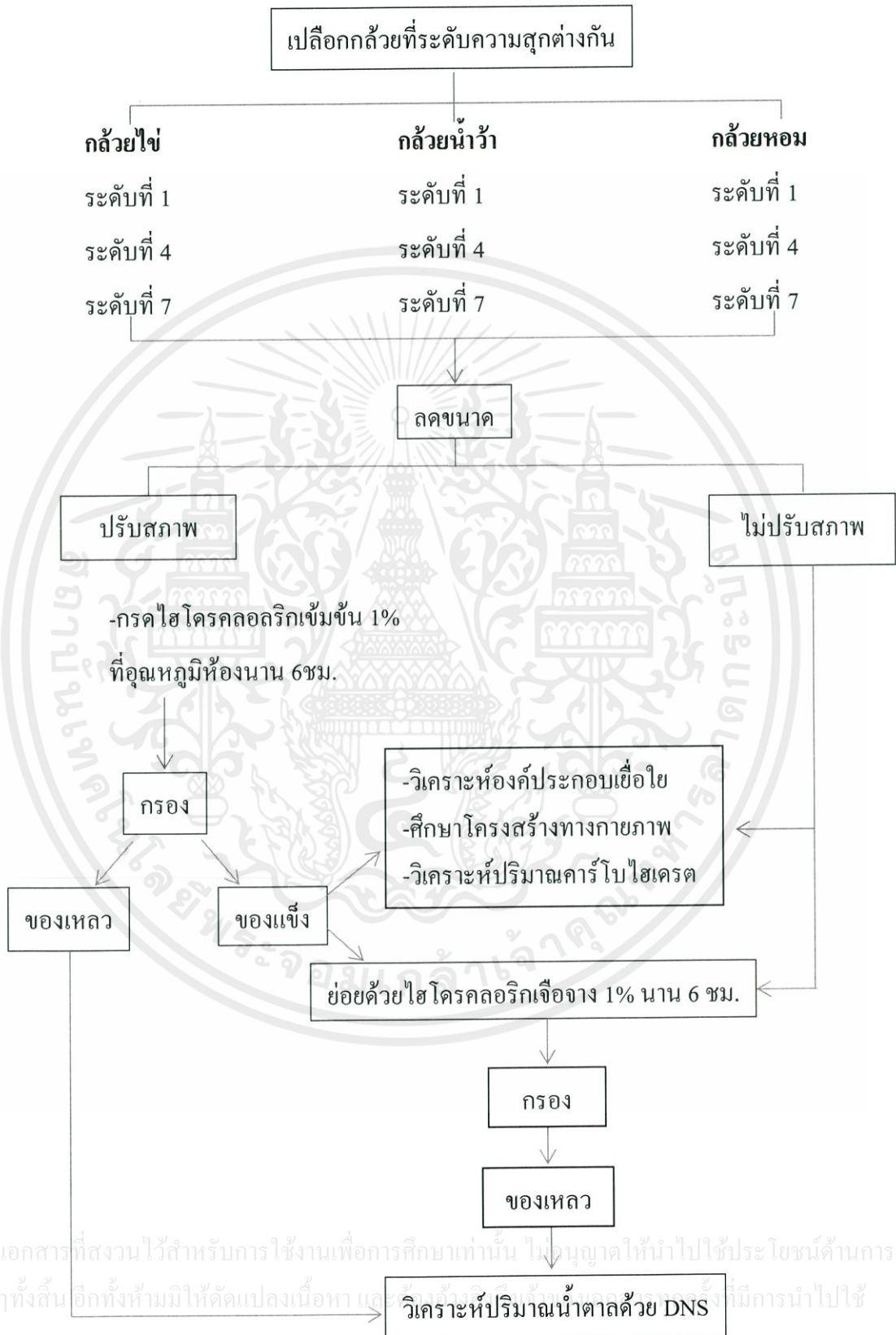
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เปลือกกล้วย

พารามิเตอร์	วิธีการ/เครื่องมือ
โครงสร้างทางกายภาพ	กล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง(Scanning electron microscope, SEM)
องค์ประกอบเชื้อใย*	Detergent method (Van Soest, 1967) (รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก)
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	3,5-Dinitrosalicylic acid Method (DNS) (Miller, 1959) (รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก)
คาร์โบไฮเดรต	Proximate analysis (Lloyd <i>et al.</i> ,1987)(รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก)

*องค์ประกอบเชื้อใยที่วิเคราะห์ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนการดำเนินงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอื่นในเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1. ชั่งตัวอย่างเปลือกกล้วยน้ำว้าในหัวข้อ 3.2 ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์
2. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ในอัตราส่วน 1:30 โดยน้ำหนักเปลือกกล้วยต่อ ปริมาตรสารปรับสภาพ
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองสารละลายแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษ กรอง Whatman เบอร์ 42
6. นำส่วนที่เป็นของเหลว ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี DNS และนำส่วนที่เป็นของแข็ง ไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) วิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูงและนำไปย่อย (Hydrolysis) เพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1% รายละเอียดวิธีดังแสดงในหัวข้อ 3.4.2

7. ทำซ้ำแต่เปลี่ยนชนิดของเปลือกกล้วยเป็น กล้วยหอม และกล้วยไข่ ตามลำดับ

3.4.2 การย่อยเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี

เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพในหัวข้อ 3.4.1 จะนำมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1% โดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

1. ชั่งเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการอบแห้งของขั้นตอนที่ 3.4.1 ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1% ในอัตราส่วน 1:30 โดยน้ำหนักของเปลือกกล้วยต่อปริมาตรสารปรับสภาพ
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. นำไปกรองแบบลดความดันโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
5. นำส่วนที่เป็นของเหลว ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี DNS
6. ทำซ้ำแต่เปลี่ยนชนิดของเปลือกกล้วยเป็น กล้วยหอม และกล้วยไข่ ตามลำดับ รวมถึงเปลือกกล้วยแต่ละชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย 3 ชนิด ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหอมและกล้วยไข่ ที่ระยะการสุก 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1(ดิบ), 4 (ห้าม) และ 7 (สุก) รวมไปถึงศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมีต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกกล้วย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่ ที่ระยะความสุก 3 ระยะ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ระยะการสุกต่างกัน 3 ระยะ

องค์ประกอบ	เปลือกกล้วยน้ำว้า			เปลือกกล้วยหอม			เปลือกกล้วยไข่		
	1	4	7	1	4	7	1	4	7
ความชื้น (%)	0.37	0.44	0.68	2.29	2.27	2.84	3.73	4.02	0.88
คาร์โบไฮเดรต (%)	59.47	60.11	64.31	59.08	62.19	64.53	43.01	45.11	60.31
ไขมัน (%)	10.67	9.56	6.54	8.74	7.90	6.25	13.39	7.32	7.18
โปรตีน (%)	6.64	7.23	8.35	3.32	6.54	7.80	9.33	11.21	7.43
เยื่อใยหยาบ (%)	17.68	17.17	11.66	16.11	14.89	13.51	21.46	21.09	17.78
เถ้า (%)	5.17	5.49	8.46	10.46	6.21	5.07	9.08	11.25	6.42
น้ำตาลรีดิวซ์(มก./ก)	3.76	24.88	189.73	11.22	47.12	203.07	39.37	98.70	102.16

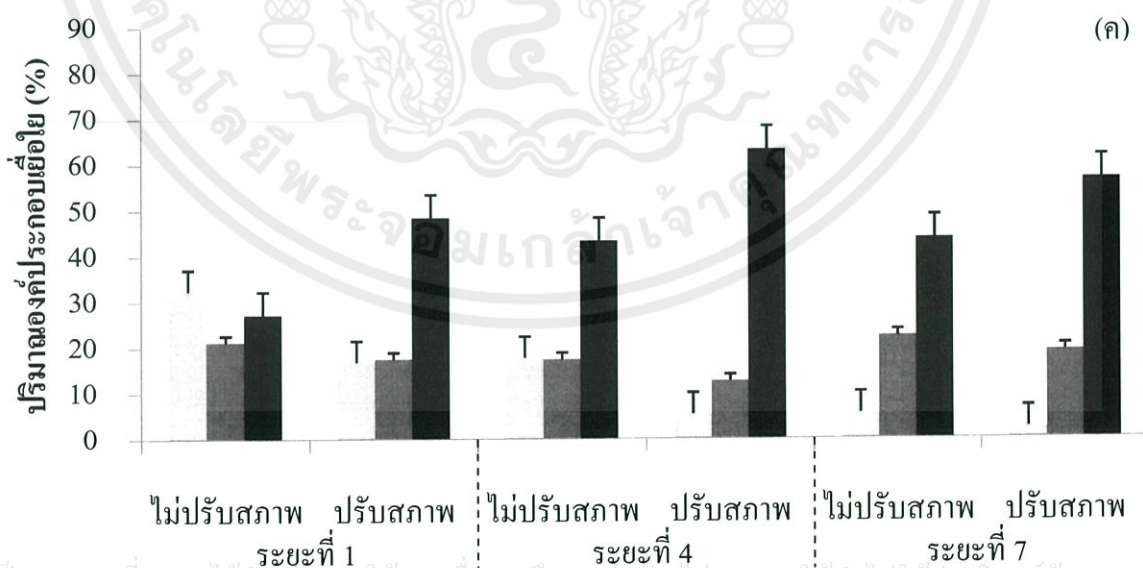
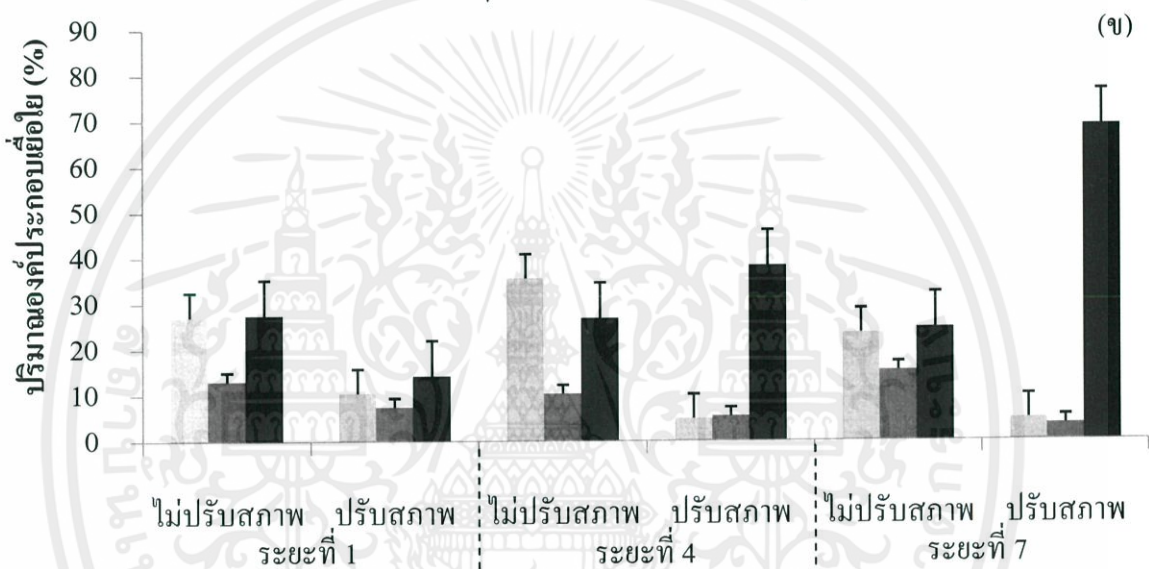
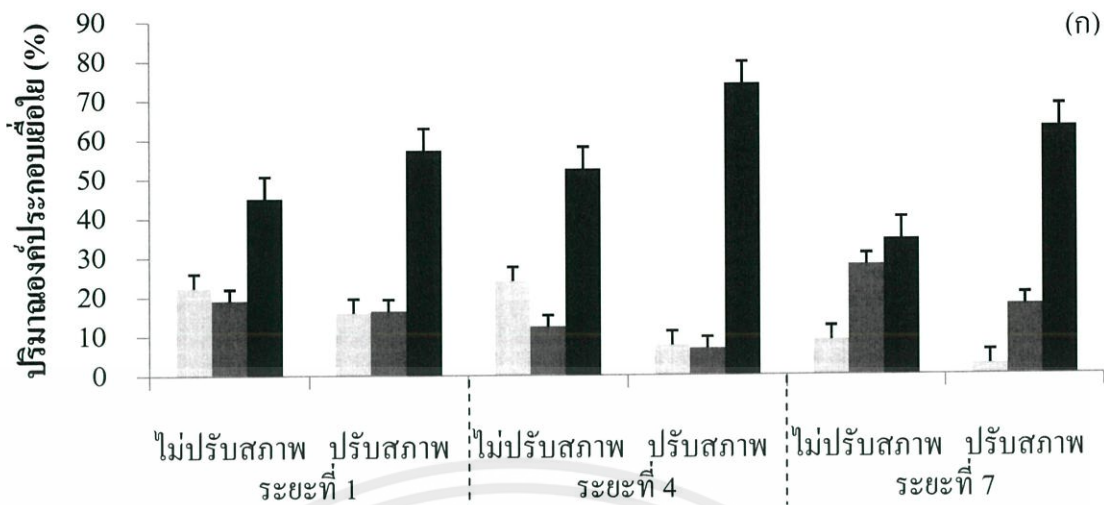
จากตารางที่ 4.1 พบว่าเปลือกกล้วยมีองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการสุก โดยเปลือกกล้วยมีปริมาณความชื้น, โปรตีน และเถ้าเพิ่มขึ้นตามการสุกของเปลือกกล้วย ยกเว้นในกรณีของเปลือกกล้วยไข่ แต่มีปริมาณไขมันและเยื่อใยหยาบลดลงตามความสุกของเปลือกกล้วย นอกจากนี้พบว่าเปลือกกล้วยสุกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าเปลือกกล้วยห้ามและเปลือกกล้วยดิบ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยพบว่าเปลือกกล้วยจัดเป็นวัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง โดยในเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหอมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่าง 59-65% ส่วนคาร์โบไฮเดรตในเปลือกกล้วยไข่มีปริมาณระหว่าง 43-60% ขึ้นกับระยะการสุก นอกจากนี้เปลือกกล้วยยังมีเยื่อใยหยาบในปริมาณสูง โดยในเปลือกกล้วยไข่พบเยื่อใยหยาบในปริมาณสูงกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหอม

4.2 ผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

เมื่อนำเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะการสุก 3 ระยะมาทำการปรับสภาพด้วยการอบคั่วให้มีขนาดเล็ก และนำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 % นาน 6 ชั่วโมงในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกกล้วยต่อปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:30 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำการกรองแยกส่วนของแข็ง (Insoluble Solids, IS) ออกจากของเหลวขั้นต้น (Prehydrolysate) พร้อมกับการนำส่วนของแข็งไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย และนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1 องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วย

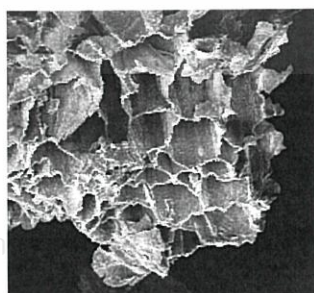
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในส่วนของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ ที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกเทียบกับเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าการแช่เปลือกกล้วยทั้งสามชนิดในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% นาน 6 ชั่วโมง ทำให้องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยเปลี่ยนแปลงไป (รูปที่ 4.1) เมื่อพิจารณาปริมาณเฮมิเซลลูโลสของเปลือกกล้วยทั้งสามชนิด พบว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสของเปลือกกล้วยที่ทุกระยะความสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพที่ระยะความสุกเท่ากัน (รูปที่ 4.1ก-4.1ค) โดยเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) ก่อนปรับสภาพ มีปริมาณเฮมิเซลลูโลส 22.51 ± 14.00 , 24.14 ± 3.05 , 8.99 ± 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริก จะได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลส 16.04 ± 0.79 , 7.71 ± 4.75 , 2.78 ± 1.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ก) ในกรณีของเปลือกกล้วยหอมดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) พบว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสจะมีค่าลดลงจาก 27.24 ± 7.88 , 35.64 ± 2.67 , 23.61 ± 3.54 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 10.55 ± 1.42 , 4.94 ± 1.48 , 4.85 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ข) เช่นเดียวกับในกรณีของเปลือกกล้วยไข่ ที่พบการลดลงของเฮมิเซลลูโลสจาก 32.46 ± 6.01 , 17.82 ± 4.59 , 5.62 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกกล้วยไข่ดิบ ห่าม และสุก เหลือ 16.90 ± 3.98 , 5.45 ± 4.94 , 2.42 ± 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ค) สำหรับปริมาณเซลลูโลสพบแนวโน้มการลดลงในลักษณะเดียวกันกับเฮมิเซลลูโลส โดยเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) ก่อนปรับสภาพ มีปริมาณเซลลูโลส 19.17 ± 7.11 , 12.46 ± 6.27 , 28.05 ± 3.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริก จะได้ปริมาณเซลลูโลส 16.49 ± 2.15 , 6.88 ± 1.58 , 17.86 ± 13.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ก) ในกรณีของเปลือกกล้วยหอมดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) พบว่าปริมาณเซลลูโลสของจะมีค่าลดลงจาก 13.20 ± 5.31 , 10.41 ± 1.77 , 15.39 ± 2.79 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 7.56 ± 1.77 , 5.47 ± 2.13 , 3.60 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ข) เช่นเดียวกับในกรณีของเปลือกกล้วยไข่ ที่พบการลดลงของเซลลูโลสจาก 21.25 ± 4.67 , 17.48 ± 13.84 , 22.43 ± 10.77 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกกล้วยไข่ดิบ ห่าม และสุก เหลือ 17.51 ± 10.66 , 12.67 ± 3.03 , 19.14 ± 3.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1ค)



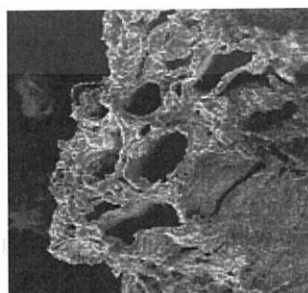
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 รูปที่ 4.1 องค์ประกอบย่อยของเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกันเมื่อ (ก) เปลือกกล้วยนำวัว, (ข) เปลือกกล้วยหอม, (ค) เปลือกกล้วยไข่ เมื่อ เสมิเซตดูโลส, เซตดูโลส, ลิกนิน

ซึ่งการลดลง ของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เกิดจากสารทั้งสองชนิดเป็นส่วนประกอบของผนัง เซลล์พืชที่สามารถถูกทำลายได้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด (วรพงษ์, 2535) โดยกรดไฮโดร คลอริกมีผลความสามารถในการกัดกร่อนเส้นใย และสามารถทำให้ micro fibril ของเปลือกกล้วยที่ ระยะการสุกทั้ง 3 ระยะแตกออก รวมทั้งทำลายพันธะ $\beta(1,4)$ -glycosidic ในเฮมิเซลลูโลสและ เซลลูโลส ลดความเป็นผลึกและทำลายโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส แล้วเกิดเป็น น้ำตาล (วรภรณ์และคณะ, 2556) และเมื่อพิจารณาปริมาณลิกนินของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะความ สุก พบว่าการแช่ในกรดไฮโดรคลอริก ทำให้เปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิดที่ทุกระยะความสุกมีปริมาณ ลิกนินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพยกเว้นในกรณีของเปลือก กล้วยหอมดิบ (ระยะที่ 1) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของลิกนินในวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยวิธีทางกายภาพ/วิธีทางเคมี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sannigrahi et al. (2011) ซึ่งพบการ เพิ่มขึ้นของ acid insoluble lignin (Klason lignin) ในไม้ Poplar ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Xiao et al. (2011) และงานวิจัยของ วรภรณ์และคณะ (2556) ได้รายงาน การเพิ่มขึ้นของลิกนินในวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100-200 องศา เซลเซียส และผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริก ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณลิกนินอาจเกิดจาก ปฏิกิริยาการเกิด โพลิเมอร์ (polymerization) ของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์พืช

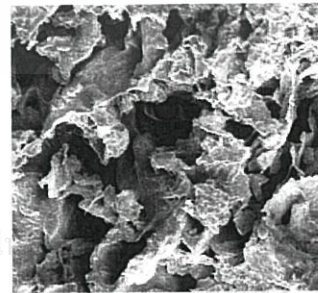
เมื่อพิจารณาลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพและไม่ ผ่านการปรับสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) พบว่าเปลือกกล้วยทั้งสามชนิดก่อนปรับ สภาพ จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ มีโครงสร้างที่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น และแข็งแรง (รูปที่ 4.2 ก-ค) แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 (ง-จ) พบว่าโครงสร้างของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ มีการ จัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกเข้าไปทำลายโครงสร้างของลิกนินที่ ปกคลุมอยู่ภายนอก ดังนั้นการปรับสภาพจึงช่วยให้เปลือกกล้วยอยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการไฮโดรไล ซิส



(ก)



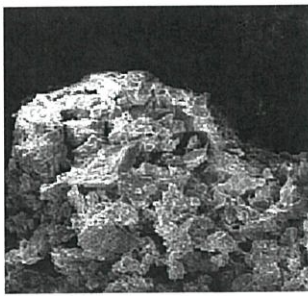
(ข)



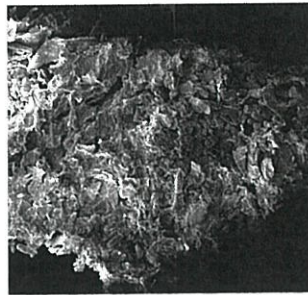
(ค)

เอกสารนี้เป็นเอก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารนี้ทุกประการหากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง



(ง)



(จ)

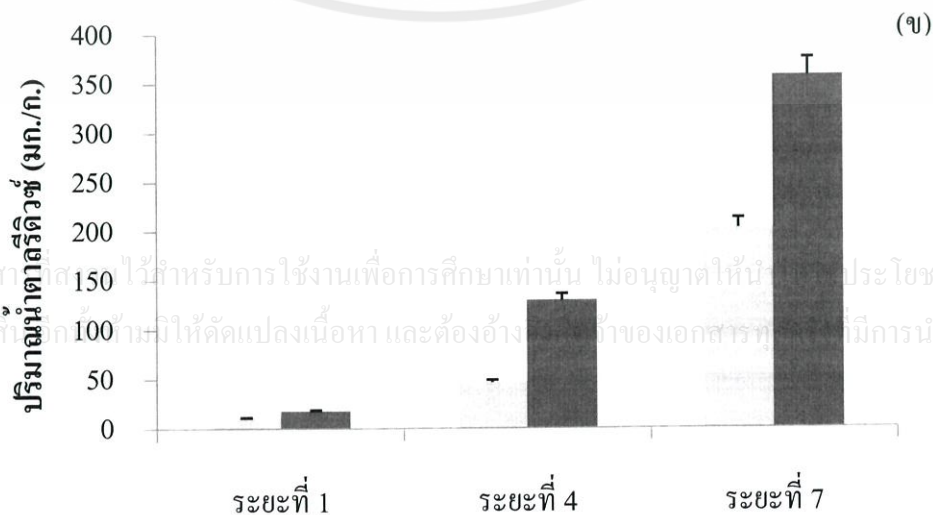
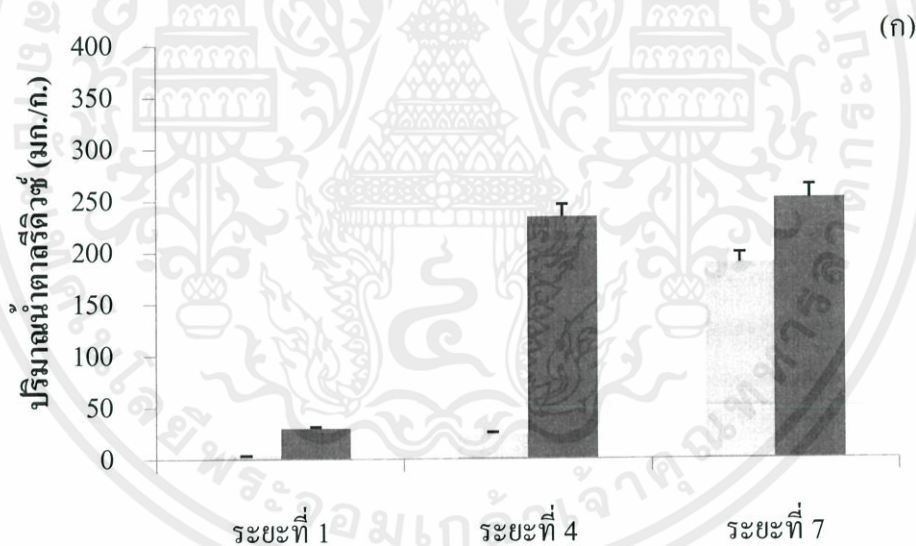


(ฉ)

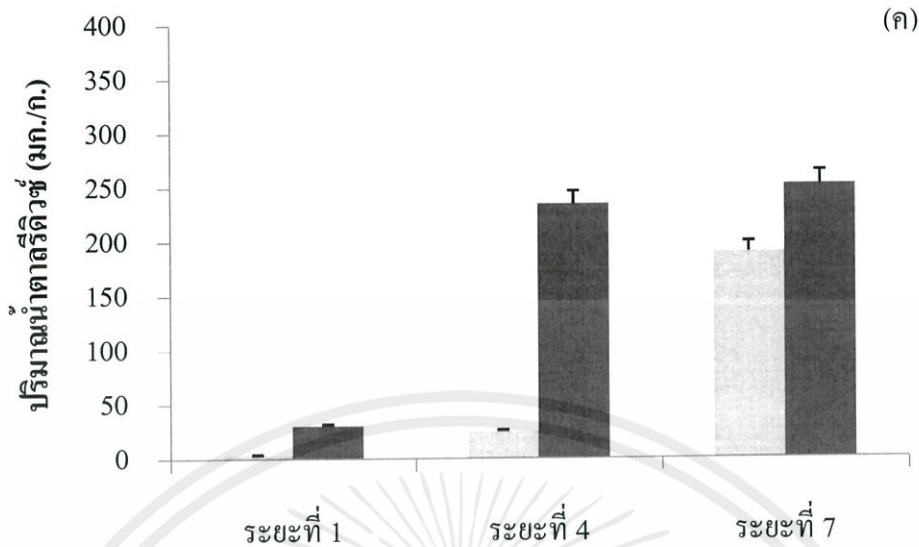
รูปที่ 4.2 โครงสร้าง และพื้นผิวของเปลือกกล้วย เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่า เมื่อ (ก) เปลือกกล้วยน้ำว้าไม่ปรับสภาพ, (ข) เปลือกกล้วยหอมไม่ปรับสภาพ, (ค) เปลือกกล้วยไข่ไม่ปรับสภาพ, (ง) เปลือกกล้วยน้ำว้าปรับสภาพ, (จ) เปลือกกล้วยหอมปรับสภาพ และ (ฉ) เปลือกกล้วยไข่ปรับสภาพ

4.2.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของเหลวขั้นต้น (Prehydrolysate)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ที่ได้จากการแช่เปลือกกล้วยในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% นาน 6 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในนามของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์



รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกันเมื่อ (ก) เปลือกกล้วยน้ำว้า, (ข) เปลือกกล้วยหอม, (ค) เปลือกกล้วยไข่ เมื่อ ■ ไม่ปรับสภาพ, ■ ปรับสภาพ

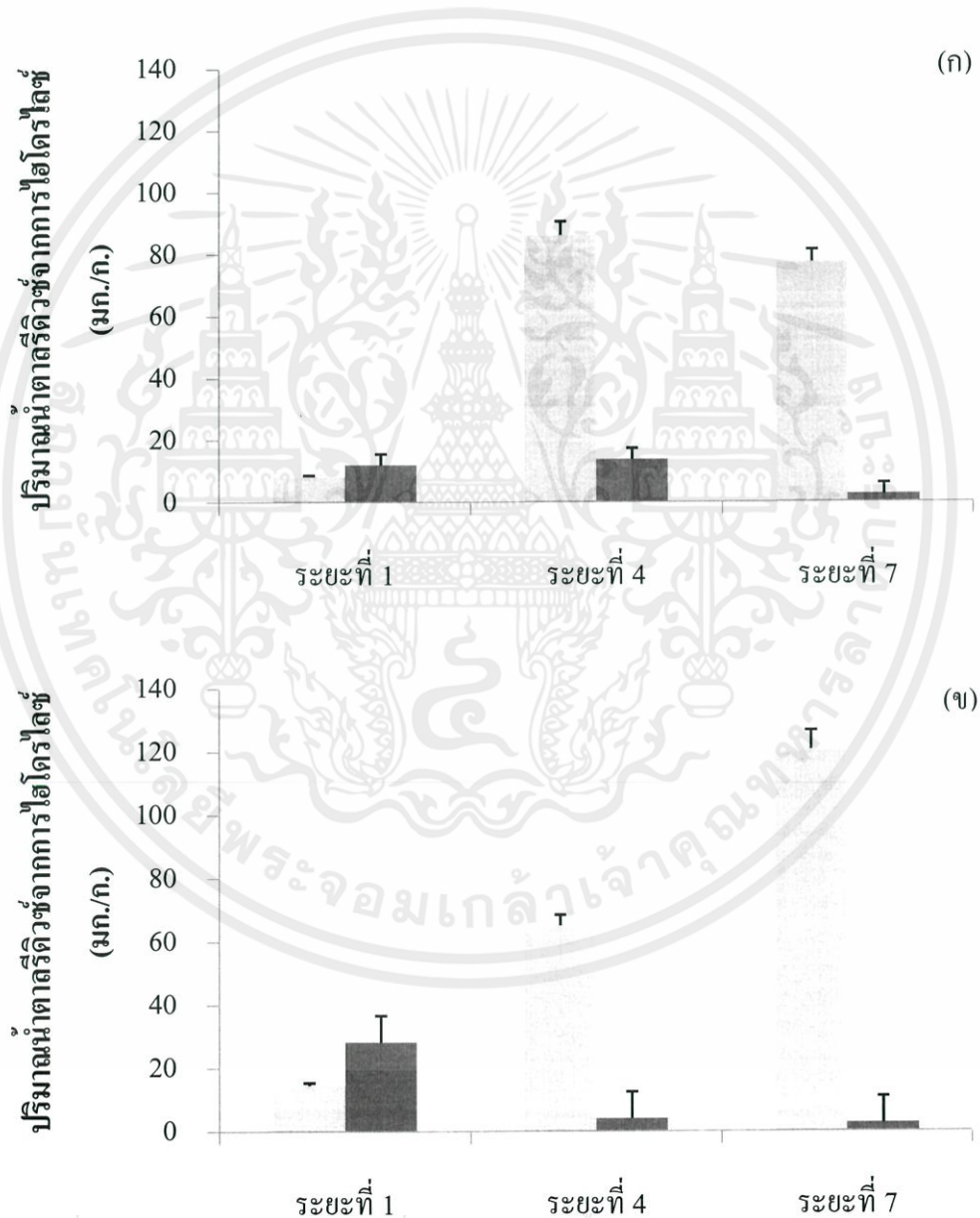
เมื่อพิจารณาเปลือกกล้วยทั้งสามชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปลือกกล้วยมีระยะการสุกเพิ่มขึ้น โดยในเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ (ระยะ 1) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 3.76 ± 0.70 มก./ก. เมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 7 เปลือกกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 24.88 ± 2.30 และ 189.73 ± 6.11 มก./ก. ตามลำดับ (รูปที่ 4.3ก) ในกรณีของเปลือกกล้วยหอมดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 11.22 ± 2.04 , 47.12 ± 4.75 และ 203.07 ± 68.29 มก./ก. ตามลำดับ (รูปที่ 4.3ข) ส่วนเปลือกกล้วยไข่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 39.37 ± 19.00 , 98.70 ± 13.39 และ 102.16 ± 14.80 มก./ก. สำหรับเปลือกกล้วยดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) ตามลำดับ (รูปที่ 4.3ค) ทั้งนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มตามความสุกของเปลือกกล้วย เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตรูปอื่น ๆ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

เมื่อนำเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกันมาแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเปลือกกล้วยที่ระยะความสุกเท่ากันแต่ไม่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริก ดังจะเห็นได้จากเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ (ระยะ 1) ห่าม (ระยะ 4) และสุก (ระยะ 7) ที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 30.29 ± 3.59 , 234.44 ± 21.39 และ 251.98 ± 7.05 มก./ก. ตามลำดับในเปลือกกล้วยหอมที่ระยะความสุก 1, 4 และ 7 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 18.21 ± 1.11 , 130.14 ± 11.95 และ 357.81 ± 31.62 มก./ก. ตามลำดับ และเปลือกกล้วยไข่ที่แช่กรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 80.32 ± 10.40 , 140.64 ± 11.37 และ 153.47 ± 1.14 มก./ก. ที่ระยะความสุก 1, 4 และ 7 การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกกล้วยที่แช่กรดเทียบกับที่ไม่ได้แช่กรด เกิดขึ้นเนื่องจากกรดจะเข้าไปช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (acid-catalyzed

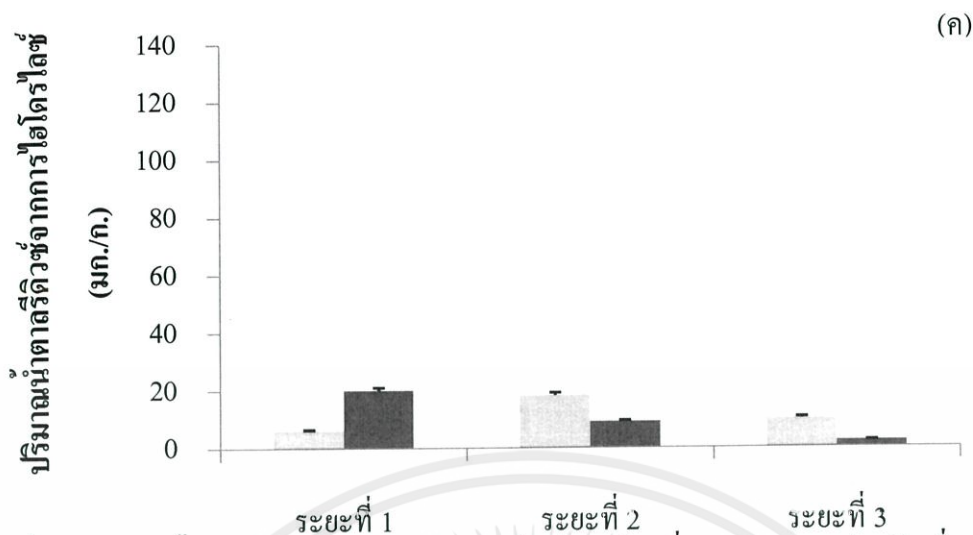
hydrolysis) ของโพลีแซคคาไรด์ไปเป็น โมโนแซคคาไรด์ (Xiao et al., 2011) ส่งผลให้เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น

4.3 ผลของการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก

เมื่อนำเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี ในข้อ 4.2 มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% นาน 6 ชั่วโมง และนำส่วนของเหลวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



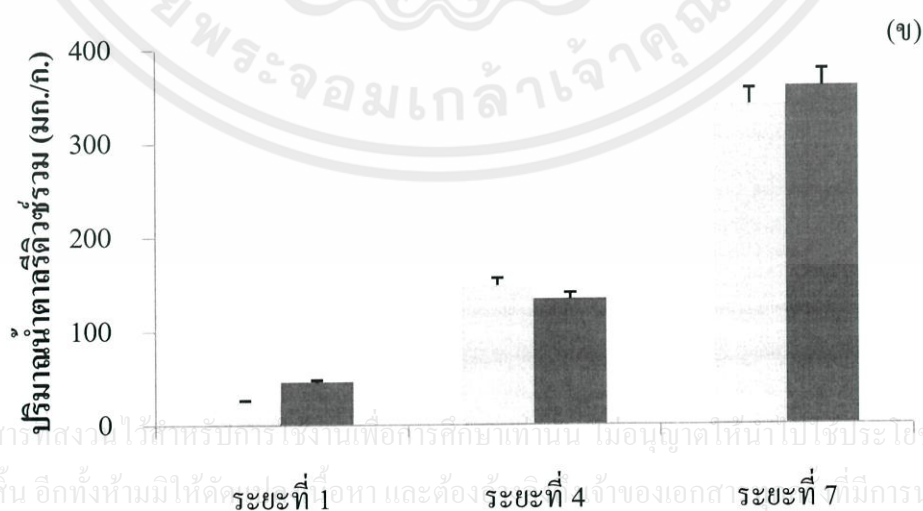
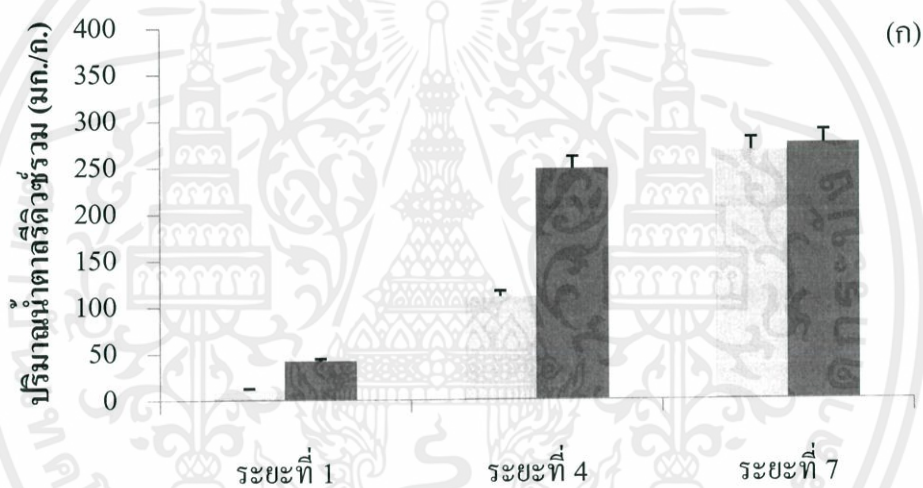
รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกันเมื่อ (ก) เปลือกกล้วยน้ำว้า, (ข) เปลือกกล้วยหอม, (ค) เปลือกกล้วยไข่ เมื่อ ■ ไม่ปรับสภาพ, ■ ปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับระยะการสุกและการปรับสภาพทางเคมีของเปลือกกล้วย โดยน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยดิบที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณสูงกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยดิบที่ไม่มีการปรับสภาพ (รูปที่ 4.4) ดังจะเห็นได้จากเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ เปลือกกล้วยหอมดิบ และเปลือกกล้วยไข่ดิบ (ระยะที่ 1) ก่อนปรับสภาพ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 8.41 ± 3.91 , 14.67 ± 2.63 , 6.25 ± 0.77 มก./ก. ตามลำดับ และเมื่อนำเปลือกกล้วยสามชนิดในระยะที่ 1 ที่ผ่านการปรับสภาพมาไฮโดรไลซ์จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 12.18 ± 2.29 , 28.33 ± 1.78 , 20.08 ± 8.72 มก./ก. ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ จะมีโครงสร้างเซลล์ลูลอสที่บวมฟู เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา (วารภรณ์ และคณะ, 2556) และเพิ่มความเปราะบางของเปลือกกล้วย (ภูมิหทัย, 2554) ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายได้ง่าย แต่ในกรณีของเปลือกกล้วยห่าม (ระยะที่ 4) และสุก (ระยะ 7) พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณน้อยกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ไม่มีการปรับสภาพ (รูปที่ 4.4) โดยน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยห่ามทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณ 13.96 ± 4.36 , 4.21 ± 0.84 , 9.08 ± 2.67 มก./ก. สำหรับเปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่ ในขณะที่น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เปลือกกล้วยชนิดเดียวกันแต่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณสูงถึง 86.39 ± 1.14 , 65.19 ± 10.97 , 18.31 ± 1.71 มก./ก. ตามลำดับ สำหรับเปลือกกล้วยสุก (ระยะที่ 7) ให้ผลในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณ 23.08 ± 8.96 , 2.71 ± 0.87 , 2.26 ± 2.13 มก./ก. สำหรับเปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่ ตามลำดับ ส่วนเปลือกกล้วยที่ไม่

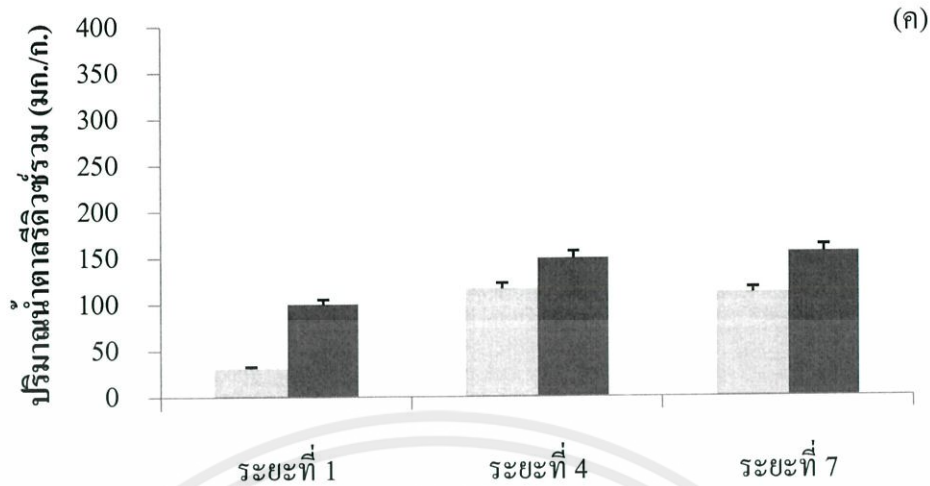
ผ่านการปรับสภาพ เมื่อนำมาไฮโดรไลซิส ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 77.64 ± 22.40 , 120.73 ± 17.06 , 10.01 ± 3.88 มก./ก.. ตามลำดับ ทั้งนี้ในขั้นตอนการปรับสภาพด้วยกรดนั้น กรดไฮโดรคลอริกไม่เพียงทำให้เส้นใยแตกออก แต่ได้ทำให้เกิดการย่อยสลายโพลีเมอร์ของน้ำตาลในส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสกลายเป็นน้ำตาลดังจะเห็นได้จากการลดลงของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.1) รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วน prehydrolysate (รูปที่ 4.4) ซึ่งทำให้เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณเส้นใยนั้นลดลง ส่งผลในน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าน้อยกว่าเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมในส่วนของเหลวขุ่นต้น (prehydrolysate) และในส่วนของเหลวที่ได้จากการไฮโดรไลซิส ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องระบุชื่อของเอกสารอ้างอิงที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ระยะความสุกต่างกันเมื่อ (ก) เปลือกกล้วยน้ำว้า, (ข) เปลือกกล้วยหอม, (ค) เปลือกกล้วยไข่ เมื่อ ไม่ปรับสภาพ, ■ ปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยทั้งที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกของกล้วย โดยที่น้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ได้จากเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ (ระยะที่ 1) มีปริมาณ 12.18 ± 4.59 มก./ก. เมื่อกกล้วยมีระยะความสุกเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 7 น้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ได้จากเปลือกกล้วยมีค่าสูงขึ้นเป็น 111.28 ± 3.15 และ 267.37 ± 23.83 มก./ก. ตามลำดับ (รูปที่ 4.5ก) ในกรณีของเปลือกกล้วยหอมพบแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยน้ำตาลรีดิวซ์รวมมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 25.89 ± 0.90 , 149.38 ± 52.52 และ 341.22 ± 82.30 มก./ก. สำหรับเปลือกกล้วยหอมดิบ (ระยะที่ 1) ห่าม (ระยะที่ 4) และสุก (ระยะที่ 7) ตามลำดับ (รูปที่ 4.5ข) ในกรณีของเปลือกกล้วยไข่พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์รวมจากการปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยห่ามและเปลือกกล้วยสุกนั้น จะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 117.01 ± 13.11 มก./ก. และ 112.17 ± 14.38 ตามลำดับ ในขณะที่การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยดิบ จะได้น้ำตาลในปริมาณต่ำสุดที่ 31.48 ± 26.65 มก./ก. (รูปที่ 4.5ค) ในกรณีของการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพพบแนวโน้มเช่นเดียวกันนั่นคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกของเปลือกกล้วย นอกจากนี้พบว่า การปรับสภาพเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิดก่อนไฮโดรไลซิส ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ได้ส่วนใหญ่มีค่ามากขึ้นเทียบกับน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพยกเว้นในกรณีของเปลือกกล้วยหอมห่าม (ระยะที่ 4) ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากเปลือกกล้วยน้ำว้าปรับสภาพมีปริมาณรวมเท่ากับ 42.47 ± 5.19 , 248.40 ± 17.93 และ 275.06 ± 11.68 มก./ก. ตามลำดับ (รูปที่ 4.5ก) ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากเปลือกกล้วยไข่ปรับสภาพ มีปริมาณรวมเท่ากับ 100.40 ± 13.99 , 149.71 ± 9.84 และ 155.73 ± 1.24 มก./ก. ตามลำดับ (รูปที่ 4.5ค) และในกรณีของเปลือกกล้วยหอมที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์รวมที่ได้มีค่าเท่ากับ 46.54 ± 2.83 , 134.35 ± 11.12 มก./ก. และ 360.52 ± 32.28 มก./ก. ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเปลือก

กล้วย และระยะความสุก พบว่าเปลือกกล้วยต่างชนิดกัน และระยะความสุกต่างกัน จะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ต่างกัน โดยที่เปลือกกล้วยหอมสุก (ระยะที่ 7) จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์รวมมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพ และไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วย 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยน้ำว้า เปลือกกล้วยหอม และเปลือกกล้วยไข่ ที่ระยะเวลาสุกต่างกัน 3 ระยะ คือ ดิบ(ระยะที่ 1), ห่าม (ระยะที่ 4) และ สุก (ระยะที่ 7) รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และคาร์โบไฮเดรต พร้อมศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยในเปลือกกล้วยทั้งสามชนิด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยทั้งสามชนิด พบว่าเปลือกกล้วยต่างชนิด และระยะความสุกต่างกัน จะมีปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าเพิ่มขึ้นตามความสุกของเปลือกกล้วย ยกเว้นในเปลือกกล้วยไข่ แต่มีปริมาณไขมันและเยื่อใยหยาบลดลงตามความสุกของเปลือกกล้วย

2. หลังการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 % ทำให้ปริมาณเส้นใย ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ลดลงในเปลือกกล้วยทั้งสามชนิด แต่ลิกนิน มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงทำให้โครงสร้างภายในของเปลือกกล้วยเปลี่ยนแปลงไป

3. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของเหลวขั้นต้นในเปลือกกล้วย (Prehydrolysate) พบว่าเปลือกกล้วยทั้งสามชนิดก่อนปรับสภาพ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นตามระยะการสุก และเมื่อนำมาแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นในทุกระยะความสุก

4. เมื่อนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการ Prehydrolysate มาไฮโดรไลซ์ต่อ ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มมากขึ้น ในเปลือกกล้วยทั้งสามชนิด โดยเปลือกกล้วยดิบ (ระยะที่ 1) ทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงกว่าก่อนการปรับสภาพ แต่ในระยะที่ 4 และ 7 เปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพจะมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับหลังปรับสภาพ

5. จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่ได้จากเปลือกกล้วยแต่ละชนิด และระยะความสุกที่ต่างกัน พบว่าในเปลือกกล้วยหอมสุก (ระยะที่ 7) มีปริมาณสูงสุดถึง 341.22 ± 82.30 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในก่อนการปรับสภาพ และเมื่อผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 360.52 ± 32.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปผลิตเอทานอลในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์
2. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการหมักน้ำตาลรีดิวซ์ที่เตรียมได้เป็นเอทานอล พร้อมทั้งเปรียบเทียบวิธีการ ปัจจัยที่เหมาะสมในการหมัก และวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมัก
3. ควรศึกษาคุณสมบัติของสารเคมีกรด-ด่างที่สามารถกำจัดลิกนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2009. การวิเคราะห์อาหารสัตว์แบบประมาณ Proximate Analysis of Feeds (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.dld.go.th/nckk_kkn/banner/Prox-Deter.pdf สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 23 มกราคม 2557.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547. กลุ่มงานส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตร. สำนักงานพัฒนาเกษตรกร(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://agrimedia.agritech.doae.go.th/book/book-praeroop.html> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2556.

เกษมณี ตาดทอง, ขนิษฐา สุกถวา, นฤมล เป้นอินทร์ และวีรยา คำภา. 2545. การผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรด. ปรินญาณีพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ พ.ศ. 2545.

ชัชพันธ์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555. การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 40(4): 1073-1088.

ครุณวรรณ ชื่นบุปผา, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และอนุสิทธิ์ ธนะพิมพ์เมธา. 2552. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง. การประชุมวิชาการครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Dussadee Uttapap. 2007. Carbohydrate Technology. Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology, KingMongkut's University of Technology.

เทพปัญญา เจริญรัตน์. 2545. การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังแบบครึ่งคราวโดยการเติมสับสเตรตขึ้นกับพีเอช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2545.

ธีรภัทร ศรีนรคุตร. 2543. เชื้อเพลิงเอทานอลจากวัสดุทางการเกษตร: แหล่งเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ของคนไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 15(3): 5-8

นิชิยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมืออาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้งเฮ้าส์.

เบญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้นั้น
นันทิชา สิงห์ชนะ, ยศวดี ว่องธนากร และยุวดี อินทร์วิไล. 2554. การผลิตเอทานอลจากแกลบด้วย

กระบวนการแซคคาริไฟเคชันพร้อมกับกระบวนการหมัก: การปรับสภาพแอลกอฮอล์ด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับการใช้เชื้อ *Trichoderma reesei*. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2554.

พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์. 2545. การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2545.

รัตติยาพร ตระจกต์. 2550. การผลิตน้ำตาลกลูโคสจากมันสำปะหลังโดยการฉายรังสีแกมมาตามด้วยการย่อยสลายด้วยกรด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2550.

รัตติยาพร รอดเจริญ และศิตาภา พรหมศิริ. 2553. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ.

วนิดา ปานอุทัย. 2553. การผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พ.ศ. 2553.

วราภรณ์ มงคลเคหา, วริศรา เผือกผาสุก และวริษฐา ศูนย์ปาน. 2556. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมี. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556.

วัชรวิ คตินนัทกุล และเจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร. 2556. การปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิกเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคส. *กรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 2(2) : 26-33.

ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2553. ผลไม้ไทยที่ควรเร่งพัฒนาให้เป็นอุตสาหกรรม. [Online] เข้าถึงได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์บนกรณีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้ 20 ธันวาคม 2556

สาวิตรี ลิ้มทอง. 2549. **ยีสต์:ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุปรียา ขี้นงสวัสดิ์ และศุภใจ คงทอง. 2537.การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซกคาไรด์จาก **เปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม**.รายงานการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสรี มหาวิทยาลัย และเฉลิม เรื่องวิริยะชัย. 2555. การผลิตลิกโนเซลลูโลสจากเอทานอลจากสารละลายที่ได้จากการย่อยลำต้นมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักแบบกะด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048. **Veridian E-Journal SU**. 5(3):429-445.

อำนาจ ขวัญเมือง. 2548. **การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์และ *Saccharomyces cerevisiae***.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2548.

Ballesteros, M., Oliva, J.M., Negro, M.J., Manzanares, P., 2004. Ethanol from Lignocellulosic Materials by a Simultaneous Saccharification and Fermentation Process (SFS) with *Kluveromyces marxianus* CECT 10875. **Process Biochemistry**. 39: 1843-1848.

Bosch, P., Wallberg, O., Joelsson, E., Galbe, M. and Zacchi, G. 2010. Impact of Dual Temperature Profile in Dilute Acid Hydrolysis of Spruce for Ethanol Production. **Biotechnology for Biofuels**. 3: 15.

Dividich, J.I., Ceoffory. F., Canope, I. and Chwnost, M., 1976. **Using Waste Banana as Animal** 20(20): 22-30.

Dwivedi, G.K. Dinesh Kumar and Tomer, P.S. 2009. Effect of cutting management and nitrogen Levels on growth, seed yield attributes and seed production of *Setariasphacelata* cv. Nandi. **Tropical Grasslands (1999)**. 33,146-149.

Lloyd, T.A., and Wyman, C.E., 2005. Combined Sugar Yield for Dilute Sulfuric Acid Pretreatment of Corn Stover Followed by Enzymatic Hydrolysis of the Remaining Soils. **Bioresource Technology**. 96(18): 1967-1977.

Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y. Holtzapple, M., and Ladisch, M., 2005.

Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bioresource Technology. 96(6), 673-686.

Murphy, J.D. and Mccarty, K. 2005. Ethanol Production From Energy Crops and Wastes for Use as a Transport Fuel in Ireland. **Applied Energy.** 82: 148-166.

Panchal, C.J. and Tavares F.C.A. 1990 Yeast strain selection for fuel ethanol production in **Yeast strain selection** C.J. Panchal (ed.). New York : Marcel Dekker Inc.

Phaff, H.J., Miller, M.W. and Mark, E.M. 1968. **Life of Yeasts.** Massachusetts: Harvard University Press.

Prosky, L. and DeVries, J.W. 1992. **Controlling Dietary Fiber in Food Products.** New York : Van Nostrand Reinhold.

Sannigrahi, P., Dong Ho, K., Jung, S., and Ragauskas, A. 2011. Pseudo-Lignin and Pretreatment Chemistry. **Energy & Environmental Science.** 4: 1306-1310.

Sathitsuksanoh, N., Gorge, A., Zhang, Y., and Percival, H., 2013. New Lignocelluloses Pretreatments Using cellulose Solvents : a Review. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology.** 88(2): 169-180.

Singh, A., Das, K., and Sharma, D.K. 1984. Production of Reducing Sugars From Bagasse and Rice Husk by acid Hydrolysis. **Agricultural Wastes.** 9(2): 131-145.

Southgate D., Trowell H., Wolever T., Leeds AR., Gassull M., Jenkins D. 1976. **Dietary fibre redefined.** 1(1):967.

Sun, Y. and Cheng, J.J. 2005. Dilute Acid Pretreatment of Rye Straw and Bermuda Grass for Ethanol Production. **Bioresource Technology.** 96: 1599-1606.

Wang, Z., Keshwani, D.R. Redding, A.P. and Cheng J.J. 2011. Sodium Hydroxide Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Coastal Bermuda rass. **Bioresource Technology.** 101: 3583-3585.

Xiao, L.-P., Sun, Z.-J., Shi, Z.-J., Xu, F., and Sun, Run-Cang. 2011. Hot

Water Pretreated Woody Biomass. **Bioresources Technology.** 6(2): 1576-1598.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhu, G., Qifan, X.Z., Wan, X., 2011. Production of reducing sugars from bean dregs waste by hydrolysis in subcritical water. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 90: 182-186.

[online].Available: <http://thebiochemsynapse.wordpress.com/tag/cellulose/>

[online].Available:<http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/section2/an431/content/lesson02.htm>

[online].Available:http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/lignin.htm

[online].Available:<http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulase>

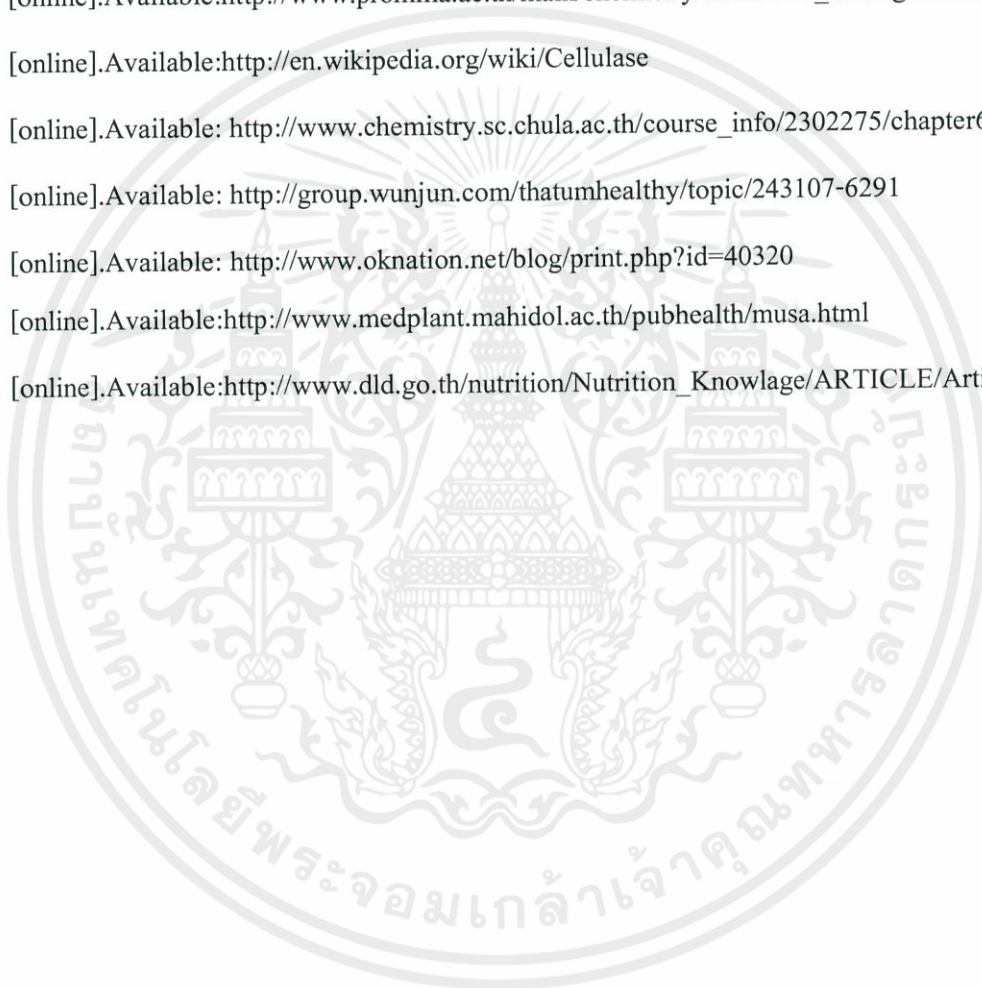
[online].Available: http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter6.pdf

[online].Available: <http://group.wunjun.com/thatumhealthy/topic/243107-6291>

[online].Available: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=40320>

[online].Available:<http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/musa.html>

[online].Available:http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowlage/ARTICLE/ArtileF.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารในการปรับสภาพ

สต็อกสารละลายไฮโดรคลอริก 1.0%

- ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 37% มา 54 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 2000 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว 1500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นถ่ายสารละลายที่ได้ลงขวดสีชา

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS

สารเคมี

1. น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) AR grade Carlo Erba
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade Carlo Erba
3. โพแทสเซียม โซเดียม ทราเทรต ($KNaC_4H_4O_6$) AR grade Carlo Erba
4. กรดไดไนโตรซาลิซิลิก (3,5-dinitrosalicylic) AR grade Carlo Erba

การเตรียมสาร

1. การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
 - ชั่งกลูโคส 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร
2. การเตรียมสาร 3,5-dinitrosalicylic acid 1%
 - ชั่ง DNS 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนจนได้สารละลายใส จากนั้นเติมโพแทสเซียมโพแทสเซียมทราเทรตลงไปทีละน้อยจนครบ 300 กรัมปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บรักษาไว้ในขวดสีชา

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. นำสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในหลอดทดลอง
2. เติม 3,5-dinitrosalicylic acid 1% ลงไป 1 มิลลิลิตร
3. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที
4. แช่หลอดทดลองในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
2. เติม 3,5dinitrosalicylic acid 1% ลงไป 1 มิลลิลิตร
3. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที
4. แขน่หลอดทดลองในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย(เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน)ด้วยวิธี

Detergent method

วิธีวิเคราะห์หา Neutral Detergent Fiber (NDF)

สารเคมี

1. โซเดียมลอริลซัลเฟต, AR grade, Carlo Erba
2. ไคโตโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิเตต (EDTA), ARgrade, Carlo Erba
3. โซเดียม บอเรต เดคาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
4. ไคโตโซเดียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Na_2HPO_4 anhydrous), AR grade, Rankem
5. โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 anhydrous), AR grade, Rankem
6. ไตรเอทิลีน ไกลคอล (C₆H₁₄O₄), AR grade, Acros
7. อะซีโตน (C₃H₆O), AR grade, Carlo Erba
8. น้ำกลั่น

การเตรียมสารNDF

1. ชั่ง Sodium lauryl sulphate 60 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วนำมาใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 2 ลิตร โดยใช้กรวยกรองและแท่งคนสารละลายช่วย เสร็จแล้วล้าง Sodium lauryl sulphate ที่ติดค้างอยู่ในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน แล้วเทรวมใส่ในขวดปรับปริมาตรเดิม เขย่าเบาๆ

2. เติม Triethylene glycol 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรในข้อ 1 เขย่าให้เข้ากัน

3. ละลาย Disodium hydrogen phosphate anhydrous (Na_2HPO_4) 9.12 กรัม, Sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 13.62 กรัมและ Disodium ethylenediaminetetraacetate (EDTA) dehydrate 37.22 กรัมด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนแล้วนำมาผสมกับสารละลาย ในข้อ 2 โดยเทใส่ขวดปรับปริมาตรขวดเดิม เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรพอดีขีดด้วยน้ำกลั่นและปรับ pH ให้ได้ 6.9 – 7.1

คำเตือนในความปลอดภัย

1. Acetone เป็นสารระเหยและติดไฟง่าย ไม่ให้ระเหยสะสมอยู่ในพื้นที่ทำงาน ใช้อุปกรณ์กำจัดกลิ่นไอและหลีกเลี่ยงการสูดดมหรือสัมผัสกับผิว ทำการระเหย Acetone ในตัวอย่างที่บรรจุใน Sinter glass ก่อนเข้าสู่อบแห้ง

2. Sodium lauryl sulphate เป็นสารละลายเคื่องที่เชื่อมผิว ควรสวมหน้ากากกันฝุ่นและสวมถุงมือในขณะที่ปฏิบัติการเตรียมสารละลาย

การวิเคราะห์หาปริมาณ Neutral Detergent Fiber

1. นำ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร (por.1) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ครบเวลาดำ Sinter glass ไปใส่โถดูดความชื้น รอให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนัก Sinter glass

2. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร (20-30 mesh) 0.5 กรัม เติมน้ำ NDF 50 มิลลิลิตร และ sodium sulfite 0.5 กรัม ลงในขวดก้นกลม

3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วจึงทำการ Reflux 1 hr.

4. กรองสารละลายผ่าน sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้วล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน โดยใช้น้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะใช้ได้

5. หยดเครื่องกรองสุญญากาศชั่วคราว ล้างกากใน sinter glass ด้วย acetone 2 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตร แล้วจึงเปิดเครื่องกรองสุญญากาศอีกครั้ง ดูจนหมดกลิ่น acetone

6. นำ sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งหาน้ำหนักที่คงที่

7. คำนวณหา % NDF ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{NDF} = [(W_1 - W_0) / W] \times 100$$

W_0 = น้ำหนัก Sinter glass ก่อนอบ

W_1 = น้ำหนัก Sinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์หา Acid Detergent Fiber (ADF)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 % (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba

2. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), reagent grade, Acros

3. อะซีโตน ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), AR grade, Carlo Erba

4. น้ำกลั่น

การเตรียมสาร ADF

1. ปิเปต conc.H₂SO₄ มา 27.8 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตรที่ได้เติมน้ำกลั่นไว้แล้วบางส่วน
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ H₂SO₄ 1 N
3. ผสม H₂SO₄ 1 N ปริมาตร 1 ลิตรกับ CTAB 20 กรัมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวน

การวิเคราะห์หาปริมาณ acid detergent fiber

1. นำ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร (por.1) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมงครบเวลานำ Sinter glass ไปใส่โถดูดความชื้นรอให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องจากนั้นชั่งน้ำหนัก Sinter glass
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและอบแห้งมา 0.5 g เติมน้ำ ADF 50 มิลลิลิตรลงในขวดก้นกลม
3. ต้มให้เดือด 5-10 นาทีและทำการ Reflux 1 hr.
4. กรองสารละลายผ่าน sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้วล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน โดยใช้น้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะใช้ได้
5. ล้างกากด้วย acetone จนสารละลายที่ล้างออกมาไม่มีสี
6. นำ sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสตลอดคืนออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักครั้งที่ (ตัวอย่างนี้เก็บไว้วิเคราะห์ Lignin ต่อไป)
7. คำนวณหา % ADF ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ADF} = [(W_1 - W_0) / W] \times 100$$

W_0 = น้ำหนัก Sinter glass ก่อนอบ

W_1 = น้ำหนัก Sinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์หา Acid Detergent Lignin (ADL)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 % (H₂SO₄), AR grade, Carlo Erba
2. น้ำกลั่น

การเตรียมสาร ADL

- เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรตวง conc H₂SO₄ มา 666.30 มิลลิลิตรใส่ลงไปและเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตรแล้วรอให้เย็นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตรอีกครั้งแล้วผสมให้เข้ากัน

การวิเคราะห์หาปริมาณ acid detergent fiber

1. นำ sinter glass ที่มีภาคตัวอย่างที่วิเคราะห์หา ADF แล้วมาทำการวิเคราะห์
2. เติม H_2SO_4 72% ที่แช่เย็นลงไปครึ่ง sinter glass โดย sinter glass วางอยู่บนถาดคนด้วยแท่งแก้วเป็นครั้งคราว (แท่งแก้วจะต้องแช่ค้างอยู่ใน sinter glass ห้ามนำออก)
3. เติม H_2SO_4 72% ลงไปครึ่งหนึ่งของการเติมครั้งแรกคนเป็นครั้งคราว 1 ชั่วโมง
4. จากนั้นทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปกรองโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน)
6. นำ sinter glass ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสตลอดคืนจากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเมื่อเย็นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
7. นำ sinter glass ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงแล้วนำไปใส่โถดูดความชื้นเมื่อเย็นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
8. คำนวณหา %ADL ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% ADL = [(W_f - W_a) / W] \times 100$$

W_f = น้ำหนัก Sinter glass หลังอบ

W_a = น้ำหนัก Sinter glass หลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่าง (จากขั้นตอน ADF)

ผลการคำนวณ %NDF, %ADF และ %ADL จะถูกนำมาคำนวณหาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Hemicellulose} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF}$$

$$\% \text{ Cellulose} = \% \text{ ADF} - \% \text{ ADL}$$

$$\% \text{ Lignin} = \% \text{ ADL}$$

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen Free Extract) ด้วยวิธี

Proximate Analysis

วิธี Proximate Analysis อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามกรมปศุสัตว์ (2009) โดยมีรายละเอียดวิธีการ

วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต่อการคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความชื้น (Moisture)

วิธีการ

1. นำบีกเกอร์อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 135 °C นาน 2 ชั่วโมง นำออกใส่ในโถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่ง บันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ บันทึกน้ำหนัก นำไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C นาน 2 ชั่วโมง
3. เมื่อครบกำหนดเวลานำบีกเกอร์ออกใส่ในโถดูดความชื้น แล้วปล่อยให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำมาชั่งบันทึกน้ำหนัก
4. คำนวณ % ความชื้นตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = [(W_1 - W_2) / W_3] \times 100$$

$$W_1 = \text{น้ำหนักบีกเกอร์} + \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักบีกเกอร์} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}$$

$$W_3 = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash)

วิธีการ

1. นำsinter glassอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง นำออกใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่sinter glass ที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 1 กรัม นำไปทำการเผาบนhot plate จนหมดควัน
3. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้ว ไปเผาต่อในเตาเผา อุณหภูมิ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วปิดสวิทช์เตาเผา เปิดฝาเตาออกรอจนอุณหภูมิภายในเตาดลเหลือประมาณ 100 °C เพื่อป้องกันมิให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นกะทันหัน ซึ่งอาจทำให้sinter glass แตกได้
4. นำsinter glass ออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณ % เถ้าตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ เถ้า} = [(W_2 - W_1) / W_3] \times 100$$

$$W_1 = \text{น้ำหนักsinter glass}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักsinter glass} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา}$$

$$W_3 = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาโปรตีน (Crude protein, CP)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95 – 98% (H_2SO_4 conc., AR grade)
2. copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
3. potassium sulfate (K_2SO_4)
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (NaOH)
5. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล
6. Potassium hydrogen phthalate ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$, AR grade)
7. ฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein)
8. สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Screened methyl red indicator)
9. กรดบอริกความเข้มข้น 4% (w/v)
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40% (w/v)

การเตรียมสารละลาย

1. ฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein)
 - ละลายฟีนอล์ฟธาเลิน (AR grade) 5 กรัม ใน 96% ethyl alcohol 400 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย น้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร
2. สารอินดิเคเตอร์เลือกใช้สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Screened methyl red indicator, MR)
 - โดยซังเมทิลเรด (AR grade) 0.2 กรัม และ โบโรโมครีซอลกรีน (BCG) (AR grade) 0.1 กรัม ละลายใน 96% ethyl alcohol 100 มิลลิลิตร เก็บในที่เย็นไม่ถูกแสง
3. กรดบอริกความเข้มข้น 4% (w/v)
 - ละลายกรดบอริก (AR grade) 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่นร้อน รองนสารละลายเย็น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 40% (w/v)
 - ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, commercial grade) 400 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
 - 5.1 ต้มน้ำกลั่นให้เดือดประมาณ 20 นาที เพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ง่ให้เย็น โดยเก็บในภาชนะที่มีฝาปิด
 - 5.2 ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade) ที่มีโซเดียมคาร์บอเนตน้อยกว่า 5% ละลายด้วยน้ำกลั่นในข้อ 5.1 ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ลงในขวดเออร์เลนเมเยอร์ เขย่าให้ละลาย ปิดปากขวดไม่ให้สัมผัสอากาศ ตั้งทิ้งให้โซเดียมคาร์บอเนตตกตะกอนจนได้สารละลายใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คงแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารละลายในข้อ 5.2 ปริมาตร 5.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในข้อ 6.1 จนได้ 1 ลิตร

5.4 ชั่ง Potassium hydrogen phthalate ที่อบแห้งแล้ว ณ อุณหภูมิ 103 °C ประมาณ 4 ชั่วโมง ปริมาณ 0.2042 กรัม ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟธาติน 2 – 3 หยดไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 5.3 จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน เช่นเดียวกับ blank ซึ่งใช้น้ำกลั่นในข้อ 5.1 หยดฟีนอล์ฟธาติน 2 - 3 หยดไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 5.3 จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน

5.5 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปนอร์มอล ตามสูตรดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

$$= [(น้ำหนัก\ Potassium\ hydrogen\ phthalate\ (g) \times 1000) / (ปริมาตร\ สาร\ ละ\ ละ\ ย\ มาตรฐาน\ NaOH\ ที่\ ใช้\ ไทเทรต\ (ml) \times 204.229)]$$

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล

6.1 ตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95-98% (AR grade) 5.5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 2 ลิตร

6.2 ทำการไตเตรทหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกโดยใช้ปเปตตูดสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ หยดฟีนอล์ฟธาติน 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบค่าความเข้มข้นแล้ว จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

6.3 คำนวณความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล โดยใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ต้องการทราบ (นอร์มอล)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (10 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิธีการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การข้อย

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ลงในหลอดสำหรับย่อย (digestion tube)

2. เติม copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม potassium sulfate (K_2SO_4) 6.5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 12 มิลลิลิตร

3. ตั้งหลอดย่อยใน stand ปิด heat shield สวม exhaust manifold ลงบนส่วนบนของหลอดย่อย

4. ตั้ง stand หลอดย่อยและ exhaust ลงบนเครื่องย่อยที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 420°C แล้วเพื่อความปลอดภัยควรทำการย่อยภายในตู้ดูดควันเปิดเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ช่วงเริ่มต้นจะเปิดแรงประมาณและย่อยเป็นเวลา 5 นาทีและลดวาล์วเพื่อลดอัตราการไหลไอกรดลงประมาณ 3 ทำการย่อยจนตัวอย่างใสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

5. ยก stand พร้อมหลอดย่อยตัวอย่างออกปล่อยให้เย็นเพื่อร่อนนำไปกลับการกลั่น

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น จนได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 15 องศาเซลเซียส
2. เปิดเครื่องกลั่นตั้งโปรแกรมเป็น Auto โดยกดปุ่มปรับปริมาณน้ำ 0 มล. , ค้าง 0 มล. และเวลาที่ใช้ในการกลั่น 5-7 นาทีหรือกลั่นให้ได้ปริมาตร 150 มล.

3. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วมาเติมน้ำกลั่น 50 มล. เติมน้ำ (40% NaOH) 40-50 มล. จากนั้นนำใส่เข้าเครื่องกลั่น ปิด Safety door กดปุ่มเริ่มทำงาน

4. นำ flask ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้น 4% ปริมาตร 25 -30 มิลลิลิตร และหยดสกรีนเมทริลเรดอินดิเคเตอร์ 4 หยด ซึ่งจะได้อาหารละลายสีส้มพู่-แดง ตั้งไว้บน platform ของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายสายยางจุ่มอยู่ในกรดบอริก

5. เมื่อกลั่นครบตามเวลาที่กำหนด เครื่องจะหยุดทำงาน นำ flask ซึ่งมีสารละลายสีสีเขียวอ่อนและหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น

6. นำ flask กรดบอริก ที่ดักจับแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออก ไปไทเทรตหาไนโตรเจนด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกจนได้สารละลายสีชมพูและบันทึกปริมาตรที่ใช้

7. คำนวณ% ไนโตรเจนตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ไนโตรเจน} = [(14.01 \times (V_1 - V_2) \times N) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}] \times 10$$

$$14.01 = \text{น้ำหนักมวลโมเลกุลของไนโตรเจน}$$

$$V_1 = \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (ml)}$$

$$V_2 = \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรต blank (ml)}$$

$$N = \text{ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (N)}$$

$$10 = \text{ค่าคงที่ที่แปลงจากหน่วยกรัมเป็น \%}$$

8. คำนวณ % โปรตีน โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ Crude Protein} = \% \text{ไนโตรเจน} \times F$$

$$F = \text{ค่าคงที่ในการเปลี่ยนค่าไนโตรเจนเป็น โปรตีน (6.25)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้าที่จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract, EE)

สารเคมี

Petroleum ether จุดเดือด 35-60 °C

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน Cellulose thimble
2. นำ Thimble ที่มีตัวอย่าง นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C 3 ชั่วโมง
3. นำขวดก้นกลมอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งบันทึกน้ำหนัก
4. ทำการ warm เต้าหูลุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 85-90 °C นานประมาณ 20 นาที ในขณะที่เดียวกันทำการ warm เครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 26 °C ต่อสายจากเครื่องทำความเย็นเข้ากับ condenser
5. นำ Cellulose thimble ที่มีตัวอย่าง ใส่เข้าไปใน soxhlet
6. ตวง Petroleum ether 150 มล. ใส่ลงในขวดก้นกลมที่ทราบน้ำหนักแล้วต่อเข้ากับ soxhlet และวางลงในเต้าหูลุมจากนั้นต่อ soxhlet เข้ากับ condenser และเปิดสวิทซ์ปั้มน้ำทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. เมื่อครบเวลาทำการปิดเต้าหูลุมและปิดสวิทซ์ปั้มน้ำ
8. นำขวดก้นกลมที่สกัดไขมันได้ไประเหยสารละลายออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ และนำขวดก้นกลมที่มีไขมันไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 30 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วจึงชั่งบันทึกน้ำหนัก
9. คำนวณ % ไขมัน โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ ไขมัน} = [(W_3 - W_2) / W_1] \times 100$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนักขวดก้นกลม

W_3 = น้ำหนักขวดก้นกลม + น้ำหนักไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สารละลาย

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ความเข้มข้น 1.25%

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1.25%

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25%

- ตวงน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 2 ลิตร

- ชั่งกรดซัลฟิวริก 12.5 กรัม แล้วค่อย ๆ เทใส่ในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วจึงเทใส่ขวดเก็บสารละลาย

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25%

- ต้มน้ำกลั่นให้เดือดนานประมาณ 20 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในภาชนะที่มีฝาปิด

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 2 ลิตร ตวงน้ำกลั่นที่ ต้มเดือดแล้ว (ในข้อ 1.) ประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนเป็นระยะ ๆ ให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายจนหมดแล้วเติมน้ำกลั่นอีก 500 มิลลิลิตรหรือเติมจนครบ 1 ลิตรคนให้เข้ากันปล่อยให้เย็นแล้วจึงเทใส่ขวดเก็บสารละลาย

* การตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายทำได้โดยวิธีการไทเทรต

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกถ่ายลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.25% ประมาณ 200 มิลลิลิตรนำไปต้มจนเดือดจับเวลา 30 นาที(ทำในตู้ดูดควัน)

3. เมื่อครบ กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 1 ลิตรแล้วถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ตามเดิม

4. ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ที่อุ่นไว้ประมาณ 200 มิลลิลิตรนำไปต้มจนเดือดเวลาจับเวลา 30 นาที(ทำในตู้ดูดควัน)

5. เมื่อครบเวลาถ่ายตัวอย่างลงใน sinter glass และล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดค้างจะใช้น้ำร้อนประมาณ 1,500 มิลลิลิตรนำ sinter glass มีเยื่อใยไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมงจากนั้นนำ sinter glass ออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจากนั้นชั่งน้ำหนักจดบันทึก

6. นำ sinter glass ที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 2 ชั่วโมงจากนั้นเปิดฝาเตาเผาออกให้ด้วยมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 150-200 °C แล้วนำใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก sinter glass จดบันทึก (โดยส่วนของเยื่อใยคือส่วนที่ถูกเผาหายไป)

7. คำนวณ % เยื่อใย โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ เยื่อใย} = [(W_2 - W_3) / W_1] \times 100$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนักsinter glass + น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ

W_3 = น้ำหนักsinter glass + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ง่าย (Nitrogen free extract, NFE)

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ง่าย โดยการคำนวณจาก

$$\% \text{NFE} = 100 - [\% \text{Moisture} + \% \text{Ash} + \% \text{CP} + \% \text{EE} + \% \text{CF}]$$

เมื่อ $\% \text{Moisture}$ = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

$\% \text{Ash}$ = เปอร์เซ็นต์เถ้า

$\% \text{CP}$ = เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบ

$\% \text{EE}$ = เปอร์เซ็นต์ไขมันหยาบ

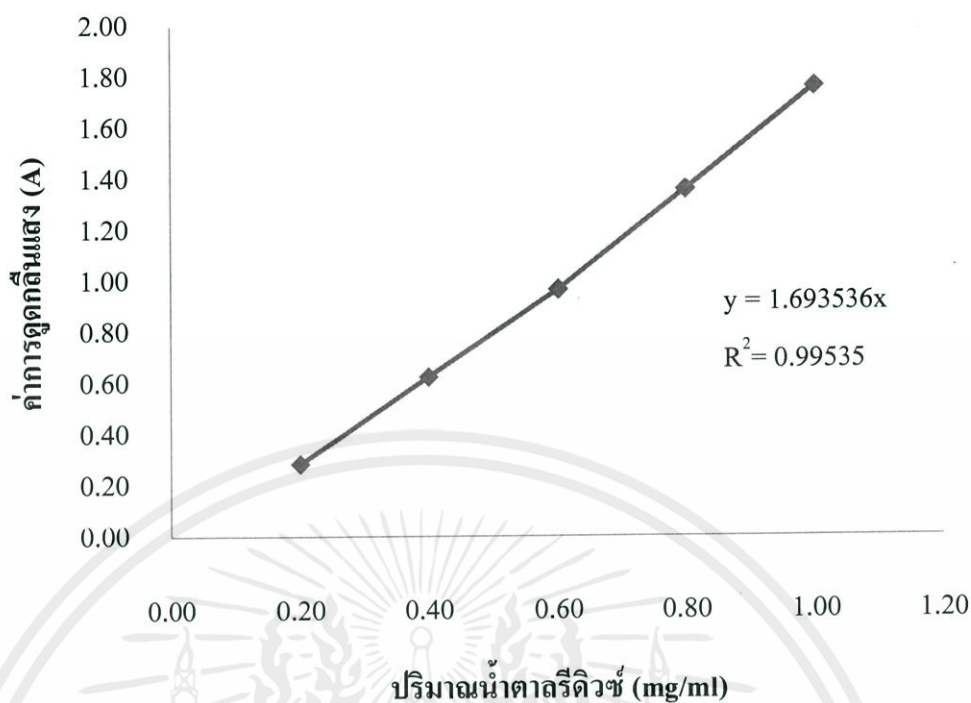
$\% \text{CF}$ = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนหน่วยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จาก mg/ml เป็น mg/g น้ำหนักแห้ง

จากการทดลองทำการการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้โดยนำสารละลายที่ต้องการวัดมา 1 มิลลิลิตร เติม DNS 1 มิลลิลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง UV ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย 600 มิลลิลิตร คิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ดังนี้

สารละลายน้ำตาล	1	มิลลิลิตรมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	2.00	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
ถ้าสารละลายน้ำตาล	600	มิลลิลิตรจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	$2.00 \times 600/1$ มิลลิกรัม	
				=1200 มิลลิกรัม

เปลือกกล้วย	20	กรัม	มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	1200	มิลลิกรัม
ถ้าเปลือกกล้วย	1	กรัม	จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	$1200 \times 1/20$	มิลลิกรัม
				=60	มิลลิกรัม

ดังนั้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากเปลือกกล้วย 1 กรัม มีค่า 60 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0070	536	0.264	-	0.1559	4.1763
	2	20.0098	530	0.189	-	0.1116	2.9560
	3	20.0034	538	0.262	-	0.1547	4.1609
	เฉลี่ย					0.1407	3.7644
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	20.0016	550	2.119	-	1.2512	34.4060
	2	20.0022	548	1.719	-	1.0150	27.8089
	3	20.0080	530	1.832	-	1.0818	28.6552
	เฉลี่ย					1.1160	30.2900
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0213	540	1.726	-	1.0192	27.4883
	2	20.0011	535	1.464	-	0.8645	23.1231
	3	20.0037	539	1.511	-	0.8922	24.0408
	เฉลี่ย					0.9253	24.8841

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยน้ำว้า (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	20.1200	550	1.592	10	9.4004	256.9705
	2	20.0300	540	1.457	10	8.6033	231.9412
	3	20.0104	525	1.384	10	8.1723	214.4101
	เฉลี่ย					8.7253	234.4406
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0184	570	1.17	10	6.9086	196.7147
	2	20.0074	580	1.093	10	6.4540	187.0954
	3	20.0068	570	1.102	10	6.5071	185.3892
	เฉลี่ย					6.6232	189.7331
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	20.0038	586	1.503	10	8.8749	259.9858
	2	20.0142	574	1.472	10	8.6919	249.2798
	3	20.0056	580	1.441	10	8.5088	246.6868
	เฉลี่ย					8.6919	251.9841

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยหอม

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาล รีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0009	510	0.610	-	0.3602	9.1845
	2	20.0003	532	0.844	-	0.4984	13.2563
	3	20.0008	545	0.698	-	0.4122	11.2308
	เฉลี่ย					0.4236	11.2239
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	20.0235	490	1.208	-	0.7133	17.4554
	2	20.0102	520	1.270	-	0.7499	19.4877
	3	20.0306	524	1.145	-	0.6761	17.6868
	เฉลี่ย					0.7131	18.2099
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0818	470	0.311	10	1.8364	42.9795
	2	20.0013	510	0.306	10	1.8069	46.0722
	3	20.0114	542	0.327	10	1.9309	52.2968
	เฉลี่ย					1.8580	47.1162

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยหอม(ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	20.0240	590	0.691	10	4.0802	120.2222
	2	20.0455	535	0.910	10	5.3734	143.4115
	3	20.0153	570	0.754	10	4.4522	126.7914
	เฉลี่ย					4.6353	130.1417
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0278	510	0.872	10	5.1490	131.1170
	2	20.0091	526	1.360	10	8.0305	211.1070
	3	20.0068	570	1.587	10	9.3709	266.9806
	เฉลี่ย					7.5168	203.0682
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	20.0554	490	1.115	20	13.1677	321.7179
	2	20.0321	512	1.261	20	14.8919	380.6222
	3	20.0215	530	1.187	20	14.0180	3.8578
	เฉลี่ย					14.0259	235.3993

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยไข่

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0128	570	0.274	10	1.6179	46.0811
	2	20.0002	580	1.047	-	0.6182	17.9286
	3	20.0087	536	0.342	10	2.0194	54.0975
	เฉลี่ย					1.4185	39.3691
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	20.0093	585	0.522	10	3.0823	90.1156
	2	20.0034	570	0.484	10	2.8579	81.4370
	3	20.0081	585	0.402	10	2.3737	69.4035
	เฉลี่ย					2.7713	80.3187
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0064	580	0.487	10	2.8756	83.3669
	2	20.0152	590	0.621	10	3.6669	108.0909
	3	20.0024	585	0.606	10	3.5783	104.6531
	เฉลี่ย					3.3736	98.7036

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยไข่(ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	20.0094	590	0.736	10	4.3459	128.1449
	2	20.0163	578	0.882	10	5.2080	150.3897
	3	20.0067	586	0.829	10	4.8951	143.3779
	เฉลี่ย					4.8164	140.6375
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.0112	588	0.672	10	3.9680	116.5948
	2	20.0063	592	0.498	10	2.9406	87.0141
	3	20.0071	580	0.601	10	3.5488	102.8783
	เฉลี่ย					3.4858	102.1624
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	20.0056	582	0.901	10	5.3202	154.7753
	2	20.4211	592	0.892	10	5.2671	152.6908
	3	20.6572	586	0.913	10	5.3911	152.9335
	เฉลี่ย					5.3261	153.4665

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0041	28	0.711	-	0.4198	11.7073
	2	1.0028	27	0.257	-	0.1518	4.0859
	3	1.0006	29	0.552	-	0.3259	9.4467
	เฉลี่ย					0.2992	8.4133
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	1.007	29	0.783	-	0.4623	13.3148
	2	1.0033	29	0.559	-	0.3301	9.5408
	3	1.0049	28	0.831	-	0.4907	13.6723
	เฉลี่ย					0.4277	12.1760
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0025	28	0.530	10	3.1295	87.4088
	2	1.0068	27	0.547	10	3.2299	86.6191
	3	1.0006	30	0.481	10	2.8402	85.1552
	เฉลี่ย					3.0666	86.3944

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยน้ำว้า (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	1.0037	30	0.510	-	0.3011	9.0010
	2	1.0011	30	0.097	-	0.5728	17.1641
	3	1.0024	29	0.092	-	0.5432	15.7163
	เฉลี่ย					0.4724	13.9605
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0083	29	0.452	-	2.6690	76.7631
	2	1.0072	28	0.612	-	3.6137	100.4614
	3	1.0035	28	0.338	-	1.9958	55.6882
	เฉลี่ย					2.7595	77.6375
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	1.0066	27	0.161	-	0.9507	25.4999
	2	1.0027	29	0.077	-	0.4547	13.1499
	3	1.0025	29	0.179	-	1.0570	30.5754
	เฉลี่ย					0.8208	23.0751

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยหอม

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0009	30	0.996	-	0.5881	17.6277
	2	1.0023	29	0.737	-	0.4352	12.5914
	3	1.0087	29	0.812	-	0.4795	13.7847
	เฉลี่ย					0.5009	14.6679
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	1.0008	27	1.753	-	1.0351	27.9257
	2	1.0010	30	1.711	-	1.0103	30.2791
	3	1.0032	28	1.626	-	0.9601	26.7976
	เฉลี่ย					1.0018	28.3341
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0145	28	0.446	10	2.6335	72.6853
	2	1.0405	28	0.331	10	1.9545	52.5956
	3	1.0031	30	0.398	10	2.3501	70.2855
	เฉลี่ย					2.3127	65.1888

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยหอม (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	1.0261	30	0.029	10	0.1712	5.0065
	2	1.0114	30	0.019	10	0.1122	3.3278
	3	1.0021	28	0.026	10	0.1535	4.2897
	เฉลี่ย					0.1457	4.2080
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0007	29	0.595	10	3.5134	101.8161
	2	1.0095	30	0.769	10	4.5408	134.9419
	3	1.0056	30	0.712	10	4.2042	125.4243
	เฉลี่ย					4.0861	120.7274
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	1.0102	30	0.117	-	0.0691	2.0517
	2	1.0056	29	0.217	-	0.1281	3.6952
	3	1.0012	30	0.135	-	0.0797	2.3886
	เฉลี่ย					0.0923	2.7118

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยไข่

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0065	28	0.327	-	0.1931	5.3715
	2	1.0051	27	0.412	-	0.2433	6.5352
	3	1.0055	27	0.431	-	0.2545	6.8338
	เฉลี่ย					0.2303	6.2468
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	1.0043	29	1.549	-	0.9147	26.4114
	2	1.0083	29	0.597	-	0.3525	10.1388
	3	1.0055	27	1.494	-	0.8822	23.6885
	เฉลี่ย					0.7164	20.0796
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0058	29	1.116	-	0.6590	19.0001
	2	1.0072	27	1.236	-	0.7298	19.5647
	3	1.0039	28	0.993	-	0.5863	16.3539
	เฉลี่ย					0.6584	18.3062

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตารางที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลสของเปลือกกล้วยไข่ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A ₅₂₀)	df	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./ก.)
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	1.0026	29	0.601	-	0.3549	10.2648
	2	1.0074	27	0.380	-	0.2244	6.0138
	3	1.0069	29	0.644	-	0.3803	10.9522
	เฉลี่ย					0.3198	9.0770
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	1.0086	29	0.399	-	0.2356	6.7742
	2	1.0047	30	0.507	-	0.2994	8.9392
	3	1.0044	30	0.811	-	0.4789	14.3035
	เฉลี่ย					0.3380	10.0056
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	1.0024	30	0.013	-	0.0077	0.2297
	2	1.0063	28	0.272	-	0.1606	4.4689
	3	1.0033	30	0.118	-	0.0697	2.0834
	เฉลี่ย					0.0793	2.2607

Calibration curve : $y = 1.693536x$

ตาราง ข.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาสรวมของเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (มก./ก.)
-ไม่ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1	12.1777
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4	111.2784
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7	267.3706
-ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1	42.4660
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4	248.4011
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7	275.0592

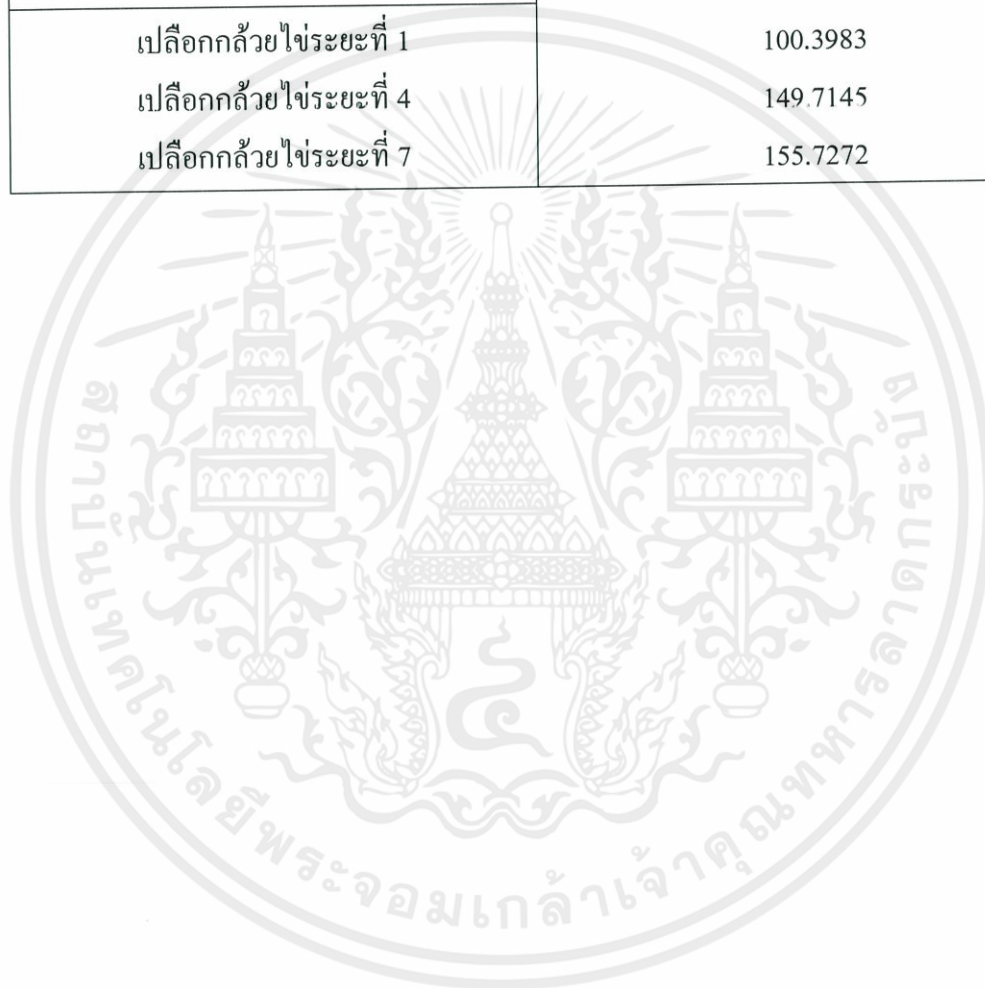
ตาราง ข.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาสรวมของเปลือกกล้วยหอม

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (มก./ก.)
-ไม่ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1	25.8918
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4	149.3814
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7	341.2208
-ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1	46.5441
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4	134.3497
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7	360.5179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวมของเปลือกกล้วยไข่

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (มก./ก.)
-ไม่ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1	31.4778
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4	117.0099
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7	112.1680
-ปรับสภาพ	
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1	100.3983
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4	149.7145
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7	155.7272



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		Sinter glass	Sinter glass	
			ก่อนอบ	หลังอบ			ก่อนอบ	หลังอบ				
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5027	31.5325	31.9521	83.4693	0.5043	27.8785	28.2239	68.4910	28.0613	27.8631	57.3827
	2	0.5015	31.7967	32.2561	91.6052	0.5004	27.5232	27.7881	52.9376	31.7084	31.6260	31.1061
	3	0.5008	31.2857	31.7112	84.9641	0.5011	27.4114	27.7676	71.0836	27.3512	27.1855	46.5188
	เฉลี่ย				86.6795				64.1707			45.0025
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	0.5028	27.2749	27.7250	89.5187	0.5079	29.8299	30.2026	73.3806	30.0426	29.8354	55.5943
	2	0.5076	31.2947	31.7493	89.5587	0.5003	31.2985	31.6705	74.3554	27.4603	27.2495	56.6667
	3	0.5009	32.0090	32.4611	90.2575	0.5024	29.9428	30.3120	73.4873	28.0721	27.8525	59.4800
	เฉลี่ย				89.7783				73.7411			57.2470
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5073	27.7744	28.2049	84.8610	0.5024	27.3013	27.6236	64.1521	27.9001	27.7522	45.8889
	2	0.5078	27.2911	27.7728	94.8602	0.5090	27.7889	28.1367	68.3301	27.4677	27.2763	55.0316
	3	0.5071	27.3014	27.7449	87.4581	0.5072	27.5617	27.8775	62.2634	27.9765	27.7982	56.4598
	เฉลี่ย				89.0598				64.9152			52.4601

ตารางที่ ข.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยน้ำว้า (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		Sinter glass	Sinter glass	
			ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ		หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ			
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	0.5085	27.8539	28.3044	88.5939	0.5062	29.7757	30.1793	79.7313	30.0341	29.7469	71.1596
	2	0.5024	27.4959	27.9288	86.1664	0.5048	30.0931	30.5155	83.6767	30.3951	30.0696	77.0597
	3	0.5017	27.7854	28.2431	91.2298	0.5041	30.1461	30.5466	79.4485	27.9381	27.6417	74.0075
	เฉลี่ย				88.6634				80.9522			74.0756
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5054	31.8271	32.1894	71.6858	0.5057	27.2674	27.5980	65.3747	27.4152	27.2791	41.1676
	2	0.5088	29.9754	30.3398	71.6195	0.5028	27.8729	28.1803	61.1376	27.4956	27.3982	31.6851
	3	0.5039	27.2689	27.6282	71.3038	0.5036	27.2908	27.5986	61.1199	27.5834	27.4891	30.6368
	เฉลี่ย				71.5364				62.5441			34.4965
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	0.5076	31.8370	32.2533	82.0134	0.5045	27.5159	27.9206	80.2180	27.9419	27.6308	76.8718
	2	0.5095	29.9685	30.3957	83.8469	0.5038	27.8725	28.2862	82.1159	28.3077	28.0908	52.4293
	3	0.5044	27.0809	27.5112	85.3093	0.5036	27.4957	27.9011	80.5004	27.5446	27.3016	59.9408
	เฉลี่ย				83.7232				80.9448			63.0806

ตารางที่ ข.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยน้ำว้า (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	%Hemicellulose	%Cellulose	%Lignin
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	14.9783	11.1082	60.2779
	2	38.6675	21.8316	42.4311
	3	13.8804	24.5648	54.9410
	เฉลี่ย	22.5088	19.1682	45.0025
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	16.1381	17.7863	55.5943
	2	15.2033	17.6887	56.6667
	3	16.7703	14.0073	59.4800
	เฉลี่ย	16.0372	16.4941	57.2470
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	20.7090	18.2631	45.8889
	2	26.5301	13.2984	55.0316
	3	25.1947	5.8036	56.4598
	เฉลี่ย	24.1446	12.4551	52.4601
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	8.8626	8.5718	71.1596
	2	2.4897	6.6170	77.0597
	3	11.7813	5.4410	74.0075
	เฉลี่ย	7.7112	6.8766	74.0756
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	6.3111	24.2072	41.1676
	2	10.4819	29.4525	31.6851
	3	10.1839	30.4832	30.6368
	เฉลี่ย	8.9923	28.0476	34.4965
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	1.7954	3.3463	60.0692
	2	1.7310	29.6866	50.0121
	3	4.8089	20.5596	55.0074
	เฉลี่ย	2.7784	17.8642	63.0868

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อไขของเปลือกกล้วยหอม

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		Sinter glass	Sinter glass	
			ก่อนอบ	หลังอบ			ก่อนอบ	หลังอบ				
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5002	31.8198	32.1445	64.9140	0.5007	31.8300	32.0020	34.3519	31.8935	31.8527	23.7209
	2	0.5004	29.7663	30.1328	73.2414	0.5046	29.9509	30.1544	40.3290	30.0413	29.9789	30.6634
	3	0.5011	31.2847	31.6135	65.6156	0.5003	30.0745	30.3115	47.3716	30.2363	30.1698	28.0591
	เฉลี่ย				67.9237				40.6842			27.4811
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	0.5009	30.0896	30.2547	32.9607	0.5024	27.4897	27.5943	20.8201	27.5823	27.5684	13.2887
	2	0.5001	29.9492	30.0843	27.0146	0.5039	27.8489	27.9377	17.6225	27.9117	27.9012	11.8243
	3	0.5003	27.7835	27.9694	37.1577	0.5021	29.8541	29.9898	27.0265	29.8737	29.8497	17.6861
	เฉลี่ย				32.3777				21.8230			14.2664
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5089	27.7691	28.1358	72.0574	0.5145	31.8300	32.0020	33.4305	27.8729	27.8345	22.3256
	2	0.5047	27.2609	27.6285	72.8353	0.5170	29.9509	30.1544	39.3617	27.3819	27.3189	30.9582
	3	0.5012	27.5112	27.8814	73.8627	0.5092	27.2853	27.4841	39.0416	29.8362	29.7819	27.3139
	เฉลี่ย				72.9185				37.2780			26.8659

ตารางที่ ข.11 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยหอม (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass		Sinter glass	Sinter glass	
			ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ		หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ			
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	0.5068	27.2944	27.5358	47.6322	0.5098	27.2938	27.5045	41.3299	27.4037	27.3257	37.0195
	2	0.5111	29.8487	30.1035	49.8533	0.5053	29.8476	30.0825	46.4872	29.9635	29.8641	42.3159
	3	0.5067	27.5155	27.7621	48.6679	0.5027	30.0798	30.2985	43.5051	27.3941	27.3163	35.5738
	เฉลี่ย				48.7178				43.7741			38.3031
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5015	29.9438	30.2658	64.2074	0.5035	29.9471	30.1524	40.7746	30.0367	29.9912	22.1627
	2	0.5028	30.0838	30.4030	63.4845	0.5085	27.5113	27.5956	36.2439	27.6011	27.5597	22.4634
	3	0.5043	27.7650	28.0846	63.3750	0.5027	27.8931	28.1103	43.2067	29.9381	29.8742	29.4199
	เฉลี่ย				63.6889				40.0750			24.6820
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	0.5064	27.8688	28.2678	78.7915	0.5092	27.8694	28.2463	74.0181	28.1316	27.8637	71.0799
	2	0.5106	27.5112	27.8988	75.9107	0.5125	30.0876	30.4534	71.3756	30.5416	30.2934	67.8513
	3	0.5031	27.7935	28.1825	77.3206	0.5051	29.8481	30.2121	72.0649	27.5135	27.2670	67.7198
	เฉลี่ย				77.3409				72.4862			68.8836

ตารางที่ ข.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงใยของเปลือกกล้วยหอม (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	%Hemicellulose	%Cellulose	%Lignin
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	30.5621	10.6310	23.7209
	2	32.9124	9.6656	30.6634
	3	18.2441	19.3125	28.0591
	เฉลี่ย	27.2395	13.2030	27.4811
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	12.1406	7.5313	13.2887
	2	9.3921	5.7982	11.8243
	3	10.1312	9.3404	17.6861
	เฉลี่ย	10.5546	7.5567	14.2664
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	38.6269	11.1049	22.3256
	2	33.4736	8.4035	30.9582
	3	34.8211	11.7278	27.3139
	เฉลี่ย	35.6405	10.4121	26.8659
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	6.3023	4.3105	37.0195
	2	3.3660	4.1714	42.3159
	3	5.1628	7.9312	35.5738
	เฉลี่ย	4.9437	5.4710	38.3031
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	23.4328	18.6119	22.1627
	2	27.2406	13.7805	22.4634
	3	20.1683	13.7868	29.4199
	เฉลี่ย	23.6139	15.3931	24.6820
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	4.7734	2.9382	71.0799
	2	4.5351	3.5243	67.8513
	3	5.2557	4.3452	67.7198
	เฉลี่ย	4.8547	3.6026	68.8836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยไข่

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter	Sinter		ตัวอย่าง	Sinter	Sinter		Sinter	Sinter	
			glass	glass			glass	glass				
ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ					
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.509	31.8200	32.1917	73.0255	0.5043	27.7507	27.9902	47.4916	27.8292	27.7782	21.2944
	2	0.5024	30.0884	30.5151	84.9323	0.5086	27.4926	27.7431	49.2529	27.5687	27.4877	32.3353
	3	0.5061	31.7962	32.2250	84.7263	0.5071	27.8870	28.1332	48.5506	27.6553	27.5866	27.9041
	เฉลี่ย				80.8947				48.4317			27.1779
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	0.5076	31.8370	32.2533	82.0134	0.5029	30.4028	30.7531	69.6560	30.5618	30.3861	50.1570
	2	0.5095	29.9685	30.3957	83.8469	0.5064	30.0823	30.4067	64.0600	30.3096	30.1895	37.0222
	3	0.5047	30.0894	30.5051	82.3658	0.5033	27.7644	28.0855	63.8188	27.7434	27.5577	57.8144
	เฉลี่ย				82.7420				65.8449			48.3312
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5046	29.9522	30.3291	74.6928	0.5077	29.9742	30.2794	60.1142	30.2275	30.1436	27.4902
	2	0.5022	29.8492	30.2361	77.0410	0.5085	31.8392	32.1506	61.2389	32.1067	31.9331	55.7482
	3	0.5082	27.7648	28.1911	83.8843	0.5053	29.7729	30.0802	60.8154	30.4497	30.3068	46.5018
	เฉลี่ย				78.5394				60.7228			43.2467

ตารางที่ ข.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อใยของเปลือกกล้วยไข่ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter	Sinter		ตัวอย่าง	Sinter	Sinter		Sinter	Sinter	
			glass	glass	glass		glass	glass	glass			
ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ					
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	0.508	27.2964	27.7301	85.3740	0.5069	29.8576	30.2405	75.5376	30.2019	29.9478	66.3620
	2	0.5059	27.7709	28.1881	82.4669	0.5055	30.0916	30.4760	76.0435	30.4378	30.2008	61.6545
	3	0.5037	27.7783	28.1614	76.0532	0.5041	31.7959	32.1788	75.9572	30.5112	30.2757	61.5043
	เฉลี่ย				81.2980				75.8461			63.1736
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5092	31.8241	32.1863	71.1312	0.5088	29.7731	30.1039	65.0157	29.9879	29.8139	52.5998
	2	0.5081	29.9526	30.3185	72.0134	0.5057	30.0945	30.4339	67.1149	30.2957	30.1827	33.2940
	3	0.5066	29.8485	30.2144	72.2266	0.5048	30.0868	30.4219	66.3827	30.7622	30.6103	45.3298
	เฉลี่ย				71.7904				66.1711			43.7412
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	0.5035	27.2970	27.7260	85.2036	0.5027	29.7667	30.1924	84.6827	30.2108	29.9202	68.2640
	2	0.5042	29.8497	30.2951	88.3380	0.5066	27.2651	27.6896	83.7939	27.6910	27.4307	61.3192
	3	0.5051	27.2607	27.6973	86.4383	0.5008	30.3882	30.8101	84.2452	27.7779	27.5006	65.7265
	เฉลี่ย				86.6600				84.2406			65.1032

ตารางที่ ข.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยไข่ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	%Hemicellulose	%Cellulose	%Lignin
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1	25.5340	26.1972	37.9958
	2	35.6795	16.9175	36.3273
	3	36.1758	20.6464	44.1511
	เฉลี่ย	32.4631	21.2537	27.1779
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ปรับสภาพ)	1	12.3574	19.4990	44.4476
	2	19.7869	27.0378	30.8570
	3	18.5470	6.0044	39.1345
	เฉลี่ย	16.8971	17.5137	48.3312
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1	14.5786	32.6241	47.1494
	2	15.8021	5.4907	58.9595
	3	23.0689	14.3136	49.7559
	เฉลี่ย	17.8165	17.4761	43.2467
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ปรับสภาพ)	1	9.8364	9.1756	61.1387
	2	6.4234	14.3890	56.4516
	3	0.0961	14.4528	56.2810
	เฉลี่ย	5.4520	12.6725	63.1736
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1	6.1155	12.4160	58.6457
	2	4.8985	33.8208	4.0796
	3	5.8439	21.0530	51.2981
	เฉลี่ย	5.6193	22.4299	43.7412
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ปรับสภาพ)	1	0.5209	16.4187	54.1696
	2	4.5440	22.4747	51.8963
	3	2.1931	18.5187	64.1621
	เฉลี่ย	2.4193	19.1374	65.1032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.10 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตัวอย่าง	ความชื้น			
	น้ำหนัก (g)			%ความชื้น
	ตัวอย่าง	บีกเกอร์ ก่อนอบ	บีกเกอร์ หลังอบ	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0034	20.4320	21.4317	0.3713
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0006	20.1939	21.1901	0.4424
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0046	19.9870	20.9847	0.6851
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0271	20.1619	21.1656	2.2919
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0014	20.5528	21.5314	2.2723
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0075	21.9413	22.9202	2.8447
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0090	19.9978	20.9691	3.7376
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0024	20.3604	21.3224	4.0290
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0029	20.4100	21.4041	0.8804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.11 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แก้ว

ตัวอย่าง	แก้ว			
	น้ำหนัก (g)			%แก้ว
	ตัวอย่าง	Sinter glass	Sinter glass หลังเผา	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0056	27.7605	27.8125	5.1712
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0034	27.7473	27.8024	5.4935
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0003	27.8492	27.9338	8.4618
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0049	27.7469	27.8520	10.4612
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0032	27.2761	27.3384	6.2081
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.001	27.4918	27.5426	5.0707
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0039	27.5105	27.6017	9.0881
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0023	30.7367	30.8495	11.2567
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0009	27.4401	27.5044	6.4241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.12 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไขมัน

ตัวอย่าง	ไขมัน			
	น้ำหนัก (g)			%ไขมัน
	ตัวอย่าง	ชวคกัณกกลม ก่อนอบ	ชวคกัณกกลม หลังอบ	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0024	100.9543	101.0613	10.6704
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0011	99.3021	99.3979	9.5661
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0023	99.9807	100.0463	6.5432
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0012	100.1256	100.2132	8.7446
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0005	100.3401	100.4192	7.9041
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0019	98.3045	98.3671	6.2515
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0038	102.0291	102.1636	13.3961
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0045	100.2099	100.2834	7.3204
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0051	98.2014	98.2736	7.1802

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.13 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

ตัวอย่าง	เยื่อใย			
	น้ำหนัก (g)			%เยื่อใย
	ตัวอย่าง	Sinter glass หลังอบ	Sinter glass หลังเผา	
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9919	28.2176	28.0422	17.6804
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9908	28.4980	28.3279	17.1709
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9911	28.2231	28.1075	11.6636
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9914	28.5101	28.3504	16.1121
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	0.992	28.0012	27.8535	14.8921
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9921	28.2314	28.0973	13.5151
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9911	28.5761	28.3634	21.4623
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9902	28.0211	27.8123	21.0901
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	0.9913	28.209	28.0327	17.7802

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.14 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โปรตีน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ตัวอย่าง(g)	ปริมาณของกรดที่ใช้ ในการไทเทรต(ml)		%ไนโตรเจน	%โปรตีน
		blank	ตัวอย่าง		
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0023	0.0	7.4	1.0624	6.64
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0002	0.0	8.1	1.1576	7.24
เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0045	0.0	9.3	1.3367	8.35
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0081	0.0	3.7	0.5317	3.32
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0030	0.0	7.3	1.0471	6.54
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0009	0.0	8.7	1.2486	7.80
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 1 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0048	0.0	10.4	1.4936	9.34
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 4 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0051	0.0	12.5	1.7938	11.21
เปลือกกล้วยไข่ระยะที่ 7 (ไม่ปรับสภาพ)	1.0032	0.0	8.3	1.1890	7.43

ความเข้มข้นกรดที่ใช้ 0.1026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้