

สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้ง  
ทางการเกษตรเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิตอลโดยเชื้อ

*Candida tropicalis* TISTR 5045

OPTIMAL CONDITIONS IN HEMICELLULOSE HYDROLYSIS FROM  
AGRICULTURAL WASTES FOR XYLITOL PRODUCTION BY

*Candida tropicalis* TISTR 5045



พงศธร กิมเฮง

PONGSATHORN KIMHENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

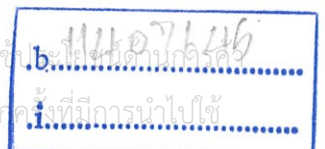
ISBN 974-9709-71-3

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 51659

วัน,เดือน,ปี 26 08 2547

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



**OPTIMAL CONDITIONS IN HEMICELLULOSE HYDROLYSIS FROM  
AGRICULTURAL WASTES FOR XYLITOL PRODUCTION BY**

*Candida tropicalis* TISTR 5045



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN BIOTECHNOLOGY  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2004**

ISBN 974-9709-71-3  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2004**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นของทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันฯ ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอล โดยเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045
นักศึกษา	นายพงศธร กิมเฮง
รหัสประจำตัว	43065218
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สุขใจ ชูจันทร์

### บทคัดย่อ

การศึกษาการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอลนั้นได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการย่อยสลายวัตถุดิบ 3 ชนิดคือ ช้างข้าวโพด และลูกสับปะรด โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางย่อยสลายวัตถุดิบภายใต้สภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง พบว่าช้างข้าวโพดให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.6 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างช้างข้าวโพดต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกคือ 1 ต่อ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำไฮโดรไลเสทที่ได้มาศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงและการใช้ผงถ่านกัมมันต์ พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษคือ 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทเท่ากับ 1 ต่อ 100 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และเมื่อนำไฮโดรไลเสทที่ได้มาเลี้ยงเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 เพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอลเปรียบเทียบกับอาหารสังเคราะห์ พบว่าอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอลในอาหารสังเคราะห์และไฮโดรไลเสทเท่ากับ 0.4339 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส และ 0.7157 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลสตามลำดับ

<b>Thesis Title</b>	Optimal Conditions in Hemicellulose Hydrolysis from Agricultural Wastes for Xylitol Production by <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045
<b>Student</b>	Mr. Pongsathorn Kimheng
<b>Student ID.</b>	43065218
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Biotechnology
<b>Year</b>	2004
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof. Sukjai Choojan

### ABSTRACT

The studies of hemicellulose hydrolysis from agricultural wastes for xylitol production by 3 raw materials (corn cob, cane bagasse and pineapple crown) were performed by using dilute sulfuric acid solution under the conditions of high pressure and temperature. The results were that corn cob gave highest xylose at 126<sup>o</sup>C by using 270 minutes when 0.6 M of sulfuric acid was used. The ratio of corn cob and sulfuric acid solution was 1:20 (w/v). The studies of detoxification by overliming method and using activated charcoal resulted that 1 hour was appropriate for toxic reducing by using the ratio of charcoal and hydrolysate as 1:100 (w/v). Comparisons of synthesis medium and hydrolysate for xylitol production by *Candida tropicalis* TISTR 5045 was 0.4339 g/g xylose and 0.7157 g/g xylose, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องด้วยความกรุณาตลอดทั้งคำแนะนำและความช่วยเหลือจาก รศ. สุขใจ ชูจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คำแนะนำต่าง ๆ รวมถึงประสบการณ์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จักเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าในภายหน้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่ได้รับจากอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. พรรณี วิฑูริชิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ. อารี ฤทธิบุรณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงคำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ และคุณวิภา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คุณมณฑนา และคุณนิภา พันธุ์ เจ้าหน้าที่ธุรการ ตลอดจนพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งความกรุณาที่มีให้ตลอดมา และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรี และโททุกท่านสำหรับความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่อง และมิตรภาพที่ดีตลอดมาซึ่งข้าพเจ้าจักเก็บไว้ในความทรงจำตลอดไป

ขอขอบคุณ คุณปิยะมาศ สระบัว ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งคำแนะนำ คำปรึกษา รวบรวมข้อมูล การคำนวณต่าง ๆ รวมทั้งงานด้านเอกสารและระเบียบการต่าง ๆ ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ นายชำนาญ นางบัวฉันทา กิมเฮง และนางสาวศรีสง่า ดิถีเพ็ง บิดา มารดา และป้า ของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ ตลอดทั้งให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พงศธร กิมเฮง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำตาลไซลิทอล.....	4
2.2 คุณสมบัติของน้ำตาลไซลิทอล.....	4
2.3 คุณสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจของน้ำตาลไซลิทอล.....	5
2.4 การใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	8
2.5 ตัวอย่างของการใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	8
2.6 ข้อจำกัดในการใช้น้ำตาลไซลิทอล.....	11
2.7 การผลิตน้ำตาลไซลิทอล.....	12
2.8 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล.....	13
2.9 การผลิตด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ.....	16
2.10 กระบวนการเมตาบอลิซึมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยจุลินทรีย์.....	16
2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ... 24	24
2.12 อาหารเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมัก.....	37
2.13 ความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อกับกระบวนการหมัก.....	37
2.14 เมตาบอลิซึมของน้ำตาลไซลิทอลในร่างกายมนุษย์.....	38
2.15 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16 แกนหลักของไซเลน.....	45
2.17 ธรรมชาติของไซกิ้งในไซเลน.....	45
2.18 การแยกและการสกัดไซเลน.....	46
2.19 คุณสมบัติของไซเลน.....	46
2.20 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ เกิดจากกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	47
2.21 วิธีการลดความเป็นพิษที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	48
2.22 การลดความเป็นพิษ โดยวิธีโอเวอร์ไลมิง.....	48
2.23 การลดความเป็นพิษ โดยวิธีโอเวอร์ไลมิง.....	49
2.24 ถ่านกัมมันต์ (Charcoal).....	49
2.25 สัมฐานวิทยาของยีสต์.....	54
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	57
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	57
3.2 เคมีภัณฑ์สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	57
3.3 เคมีภัณฑ์สำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลาย วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	58
3.4 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซโลส ตามวิธีของ Deschatelets และ Yu (1986).....	58
3.5 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล ตามวิธีของ Alder และ Gustafsson (1980).....	58
3.6 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ตามวิธีของ Somogyi Nelson's (1952).....	58
3.7 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง.....	59
3.8 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	59
3.9 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลส จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	60
3.10 การลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.11 การศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์.....	63
3.12 ศึกษาการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ (YM).....	64
3.13 ศึกษาการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโครไลเสท.....	65
3.14 การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตไซลิทอลระหว่าง อาหารสังเคราะห์และไฮโครไลเสท.....	65
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	67
4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ.....	67
4.2 ผลการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง.....	84
4.3 ผลการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์.....	86
4.4 ผลการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ (YM medium).....	99
4.5 ผลการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโครไลเสท.....	101
4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำตาลไซลิทอลระหว่าง อาหารสังเคราะห์และอาหารไฮโครไลเสท.....	104
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	109
บรรณานุกรม.....	111
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับจุลินทรีย์.....	119
ภาคผนวก ข สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์.....	120
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	126
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ.....	128
ประวัติผู้เขียน.....	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำตาลไซลิทอล.....	4
2.2 ค่าความร้อนจำเพาะของการละลายของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ.....	6
2.3 เปรียบเทียบความหวานของสารให้ความหวานชนิดต่าง ๆ.....	6
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพระหว่างของน้ำตาลไซลิทอลและน้ำตาลซูโครส.....	7
2.5 ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลในผักและผลไม้.....	13
2.6 องค์ประกอบของสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิส.....	15
2.7 องค์ประกอบของสารละลายน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรจีเนชัน.....	15
2.8 กิจกรรมของเอนไซม์ไซโลสรีดักเตสและไซลิทอลดีไฮโดรจีเนส ในยีสต์ที่สามารถใช้น้ำตาลไซโลสได้.....	18
2.9 การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ.....	26
2.10 ผลของความเข้มข้นน้ำตาลไซโลสที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอล.....	32
2.11 การใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารตั้งต้นร่วมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล.....	33
2.12 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้.....	36
2.13 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิด.....	44
3.1 การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ.....	60
3.2 การศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ.....	61
3.3 การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบและสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ใช้ในการย่อยสลายวัตถุดิบ.....	62
4.1 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายขานอ้อย (ช่วงกว้าง).....	67
4.2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายขานอ้อย.....	68
4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายขานอ้อย.....	69
4.4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายขังข้าวโพด (ช่วงกว้าง).....	70
4.5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายขังข้าวโพด.....	71
4.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายขังข้าวโพด.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายจุกสับประรด (ช่วงกว้าง).....	73
4.8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจุกสับประรด.....	74
4.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายจุกสับประรด.....	75
4.10 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายซังข้าวโพดและจุกสับประรด จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (ช่วงกว้าง).....	76
4.11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย ซังข้าวโพด จุกสับประรด) จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	78
4.12 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายชานอ้อยจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	79
4.13 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายซังข้าวโพดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	80
4.14 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายจุกสับประรดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	81
4.15 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษา การลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์โลมิง.....	85
4.16 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	88
4.17 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	89
4.18 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง.....	90
4.19 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.20 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	92
4.21 เปรียบเทียบเวลาที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	93
4.22 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25.....	95
4.23 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50.....	96
4.24 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100.....	97
4.25 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ อัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 200.....	98
4.26 เปรียบเทียบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	99
4.27 ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์.....	100
4.28 ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรเสท.....	102
4.29 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ ที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร.....	105
4.30 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท ที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร.....	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ผลของน้ำตาลไซลิทอลและน้ำตาลกลูโคสต่อระดับน้ำตาลในเลือด.....	8
2.2 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล.....	13
2.3 วิธีการเกิดน้ำตาลไซลิทอลจากเมตาบอลิซึมของไซโลส.....	17
2.4 เมตาบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสเพื่อสร้างไซลูลอส-5-ฟอสเฟต.....	19
2.5 เมตาบอลิซึมของไซลูลอส-5-ฟอสเฟตของยีสต์ <i>Pachysolen tannophilus</i> .....	20
2.6 การสร้างและใช้โคเอนไซม์ (coenzyme regeneration) ในยีสต์ที่หมักน้ำตาลไซโลสได้.....	22
2.7 เมตาบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสในยีสต์.....	23
2.8 โครงสร้างของ glucuronoxylan.....	40
2.9 โครงสร้างของ glucomannan.....	40
2.10 โครงสร้างของ galactoglucomannans.....	41
2.11 โครงสร้างของ arabinoglucuronoxylan.....	42
2.12 โครงสร้างของ arabinogalactan.....	42
2.13 โครงสร้างของ O-acetyl-arabino-4-O-methylglucuronoxylan ในพืชล้มลุกและพืชตระกูลหญ้า.....	43
2.14 โครงสร้างของไซแลน.....	45
4.1 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายชานอ้อย (ช่วงกว้าง).....	68
4.2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย.....	69
4.3 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายซังข้าวโพด (ช่วงกว้าง).....	70
4.4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพด.....	71
4.5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลา ในการย่อยสลายจุกสับประด (ช่วงกว้าง).....	73
4.6 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจุกสับประด.....	74
4.7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายซังข้าวโพดและจุกสับประด จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (ช่วงกว้าง).....	76
4.8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย ซังข้าวโพด จุกสับประด) จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายขานอ้อยจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	80
4.10 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายขังข้าวโพดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	81
4.11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ ในการย่อยสลายจุกสับประดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง วัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	82
4.12 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ อัตราการเจริญจากการศึกษา การลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง.....	86
4.13 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ อัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	88
4.14 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	89
4.15 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง.....	90
4.16 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง.....	91
4.17 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	92
4.18 เปรียบเทียบอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษ โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่ 0, 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง.....	93
4.19 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25.....	95
4.20 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.21 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีควิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100.....	97
4.22 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีควิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 200.....	98
4.23 เปรียบเทียบอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25, 1 ต่อ 50, 1 ต่อ 100 และ 1 ต่อ 200.....	99
4.24 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์.....	101
4.25 ค่าน้ำตาลรีควิซ์จากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์.....	101
4.26 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท.....	103
4.27 ค่าน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลรีควิซ์จากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท.....	103
4.28 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีควิซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร.....	106
4.29 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีควิซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ <i>Candida tropicalis</i> TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสทที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของงานวิจัย

น้ำตาลไซลิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ได้จากน้ำตาลไซโลส มีความหวานใกล้เคียงน้ำตาลซูโครส และมีคุณสมบัติที่ดีอีกหลายประการเช่น มีรสชาติที่เย็นสดชื่นคล้ายเมนทอล ไม่ทำให้เกิดฟันผุ ให้พลังงานต่ำกว่าคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ และยังใช้ในผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ จึงมีการพิจารณาถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ด้านเภสัชกรรม และทางด้านทางการแพทย์ น้ำตาลไซลิทอลสามารถพบได้ในผักและผลไม้หลายชนิดแต่มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับกากที่เหลือทิ้งจึงไม่คุ้มค่ากับการสกัดในระดับอุตสาหกรรม การผลิตน้ำตาลไซลิทอลทางการค้าจะใช้กระบวนการทางเคมีโดยมีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอนได้แก่ กระบวนการไฮโดรไลซิส กระบวนการทำน้ำตาลไซโลสให้บริสุทธิ์ กระบวนการไฮโดรจีเนชัน และกระบวนการทำให้น้ำตาลไซลิทอลบริสุทธิ์ ซึ่งกระบวนการทางเคมีนั้นมีต้นทุนในการผลิตสูงจึงได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการทางชีวภาพมาใช้ในการผลิตเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลและลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยกระบวนการทางชีวภาพสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น เชื้อแบคทีเรียได้แก่ *Enterobacter liquefacien*, *Corynebacterium sp.* เชื้อราได้แก่ *Petromyces albertensis* และเชื้อยีสต์ได้แก่ *Candida spp.*, *Pachysolen tannophilus*, *Debaryomyces hansenii*, *Hansenula polymorpha* เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าเชื้อยีสต์สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุด ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้นจะมีการใช้กระบวนการทางเคมีเข้ามามีส่วนช่วยในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสโดยใช้สารละลายกรดหรือด่าง เพื่อให้ได้น้ำตาลไซโลสออกมาและใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยจุลินทรีย์ต่อไป เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในเนื้อไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันตามแต่ชนิดของพืช และประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมากจึงได้มีการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าอย่างกว้างขวางเช่น การผลิตแอลกอฮอล์จากฟางข้าว การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกสับปะรด การวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 เพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลในอุตสาหกรรมและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลายกรด ระยะเวลา และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรด เพื่อใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบและคัดเลือกวัตถุดิบ (ชานอ้อย จุกสับประรด ชังข้าวโพค) ที่เหมาะสมเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

1.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษในไฮโครไลสเสทด้วยผงถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์และไฮโครไลสเสท และระยะเวลาที่ใช้ในการลดปริมาณสารพิษก่อนนำไฮโครไลสเสทไปผลิตน้ำตาลไซลิทอล

1.2.4 ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยใช้อาหารสังเคราะห์กับอาหารไฮโครไลสเสท

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเพื่อให้ได้น้ำตาลไซโลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล พร้อมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการลดปริมาณสารพิษในไฮโครไลสเสทด้วยผงถ่านกัมมันต์ หลังจากนั้นจะนำไฮโครไลสเสทที่สกัดได้มาเลี้ยงเชื้อเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลกับอาหารสังเคราะห์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดน้ำตาลไซโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

1.4.2 ทราบถึงกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

1.4.3 ทราบถึงประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยใช้อาหารไฮโครไลสเสทเปรียบเทียบกับอาหารสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 เป็นการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำตาลไซลิทอล (Xylitol)

น้ำตาลไซลิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลไซโลส (xylose) โดยปกติแล้วน้ำตาลไซลิทอลเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) หรือสารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Hollmann and Touster, 1957) และสามารถพบได้ตามธรรมชาติในผักและผลไม้หลายชนิด (Washuttl *et. al.* 1973) ส่วนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นสามารถผลิตได้จากน้ำตาลไซโลสโดยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) หรือการผลิตด้วยกระบวนการหมักจากวัสดุที่มีไซโลสเป็นองค์ประกอบโดยเชื้อจุลินทรีย์ (สารโรจน์. 2537)

#### 2.2 คุณสมบัติของน้ำตาลไซลิทอล

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่สำคัญของน้ำตาลไซลิทอลรวมถึงคุณสมบัติที่สำคัญทางอาหารแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำตาลไซลิทอล

คุณสมบัติ	รายละเอียด
สูตร โมเลกุล	$C_5H_{12}O_5$
สูตร โครงสร้าง	$\begin{array}{ccccccc} & & H & OH & H & & \\ & &   &   &   & & \\ HOCH_2 & - & C & - & C & - & C & - & CH_2OH \\ & &   & &   & &   & & \\ & & HO & & H & & OH & & \end{array}$
น้ำหนักโมเลกุล	152.1
ลักษณะ	ผงผลึกคริสตัล
สี	ขาว
รสชาติ	หวาน
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความหวานสัมพัทธ์	มีความหวานโดยประมาณเท่ากับน้ำตาลซูโครส แต่หวานมากกว่าน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลซอร์บิทอล และน้ำตาลแมนนิทอล แต่มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลฟรุกโตส

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณสมบัติ	รายละเอียด
จุดเดือด	216 องศาเซลเซียส
การละลายน้ำ	64.2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
การละลายในเอทานอล	102 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
การละลายในเมทานอล	6.0 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
การดูดความชื้น สารปนเปื้อน	ดูดความชื้นได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส แต่น้อยกว่าซอร์บิทอล น้ำตาลแมนนิทอล น้ำตาลซอร์บิทอล น้ำตาลกาแลคทิทอล และน้ำตาลอาราบิทอล

ที่มา : Emodi. (1982)

### 2.3 คุณสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจของน้ำตาลไซลิทอล

2.3.1 น้ำตาลไซลิทอลละลายน้ำได้ง่ายและมีความคงตัวสูงแม้จะถูกความร้อนหรือเก็บไว้นาน ๆ ก็ไม่เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (maillard browning) และการเกิดคาราเมล (caramelization) เหมือนน้ำตาลฟรุกโตสหรือเดกซ์โทรสเมื่อให้ความร้อนสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลไม่มีหมู่อัลโดสหรือคีโตส

2.3.2 น้ำตาลไซลิทอลให้รสหวานและเย็นสดชื่น (cooling effect) คล้ายเมนทอล เนื่องจากการละลายของน้ำตาลไซลิทอลต้องการความร้อน (endothermic dissolution) เพราะน้ำตาลไซลิทอลมีค่าความร้อนจำเพาะของการละลายเป็นลบ (negative heat of solution) เท่ากับ -34.8 แคลลอรี่ต่อกรัม ดังตารางที่ 2.2 โดยคุณสมบัติจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลไซลิทอลอยู่ในรูปผลึกเท่านั้น แต่เมื่อน้ำตาลไซลิทอลอยู่ในรูปของสารละลายหรืออยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) จะไม่มีคุณสมบัติข้อนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าความร้อนจำเพาะของการละลายของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

Polyalcohol	Cooling effect (cal/g at 25°C)
Isomalt	-9.4
Lactitol	
-Monohydrate	-12.7
-Dihydrate	-13.9
Mannitol	-28.9
Sorbitol	-26.5
Xylitol	-34.8

ที่มา : Arron. (1993)

2.3.3 น้ำตาลไซลิทอลมีความหวานเช่นเดียวกับน้ำตาลทั่วไปแต่มีความหวานมากกว่าน้ำตาลแมนนิทอลและซอร์บิทอล 2.5 และ 2.0 เท่าตามลำดับ ความหวานของน้ำตาลไซลิทอลเมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครสจะมีค่าตั้งแต่ 0.85-1.25 เท่า ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (พีเอช ; pH) ความเข้มข้นและอุณหภูมิ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายน้ำตาลไซลิทอลจะมีความหวานเท่ากับสารละลายน้ำตาลซูโครส เมื่อความเข้มข้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายน้ำตาลไซลิทอลจะหวานมากกว่า แต่ถ้าความเข้มข้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายน้ำตาลซูโครสจะหวานมากกว่า หรือที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ความหวานของสารละลายน้ำตาลไซลิทอลเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะลดลงจาก 103 เป็น 78 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 5 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส เป็นต้น ซึ่งค่าความหวานสัมพัทธ์แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความหวานของสารให้ความหวานชนิดต่าง ๆ

สารให้ความหวาน	ความหวานสัมพัทธ์
ฟรุกโตส	1.2
ไซลิทอล	1.0
ซูโครส	1.0
เด็กซ์โทรส	0.7
ซอร์บิทอล	0.5
แมนนิทอล	0.5
มอลโตส	0.4
แลคโตส	0.3

ที่มา : สาโรจน์. (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 น้ำตาลไซลิทอลให้พลังงานต่ำกว่าแต่คงรสชาติเดิมเมื่อผสมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น แม้ว่าน้ำตาลไซลิทอลจะให้พลังงานเท่ากับคาร์โบไฮเดรตทั่วไป แต่เมื่อใช้น้ำตาลไซลิทอลร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น ความหวานและรสชาติจะคงเดิมขณะที่ลดแคลอรีลง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้ในเครื่องดื่มได้หลายชนิดเหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก (dietary purpose) โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ระหว่างน้ำตาลไซลิทอลและน้ำตาลซูโครสแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพระหว่างน้ำตาลไซลิทอลและน้ำตาลซูโครส

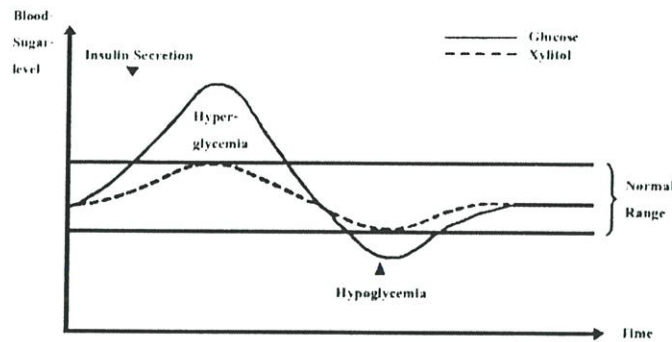
คุณสมบัติ	น้ำตาลไซลิทอล	น้ำตาลซูโครส
จุดหลอมเหลว (°C)	93.5-94.5	179-186
จุดเดือด (°C/760 มิลลิเมตรปรอท)	216	สลายตัว
ความหนาแน่น (15°C)	1.5	1.59
พลังงาน (แคลอรีต่อกรัม)	4.06	4.06
การหมักด้วยจุลินทรีย์	ไม่ได้	ได้
การเกิดคาราเมล	ไม่เกิด	เกิด
การดูดความชื้น (%)		
ความชื้น 60 %	0.05	0.02
ความชื้น 92 %	90	4
ความหนืด (cP)(20°C)		
ความเข้มข้น 10 %	1.23	1.31
ความเข้มข้น 60 %	20.63	58.50

ที่มา : สารโรจน์. (2537)

2.3.5 น้ำตาลไซลิทอลไม่ทำให้ฟันผุเนื่องจากจุลินทรีย์ในช่องปากโดยเฉพาะ *Streptococcus mutans* ไม่สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอลเป็นแหล่งคาร์บอนได้ ทำให้ค่าพีเอชบนเคลือบฟันไม่ต่ำกว่า 5.7 จึงไม่ทำให้เกิดฟันผุ

2.3.6 น้ำตาลไซลิทอลสามารถใช้ในผู้ป่วยเบาหวานได้เนื่องจากการเผาผลาญน้ำตาลไซลิทอลไม่ขึ้นกับอินซูลิน ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) และน้ำตาลในเลือดต่ำ (hypoglycemia) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ผลของน้ำตาลไซลิทอลและน้ำตาลกลูโคสต่อระดับน้ำตาลในเลือด  
ที่มา : Emodi. (1982)

2.3.7 น้ำตาลไซลิทอลสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอลได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลไซลิทอลเป็นองค์ประกอบจึงเกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ได้ยาก ทำให้มีอายุการเก็บที่นานขึ้น (long shelf-life)

## 2.4 การใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหาร

มีแนวโน้มการใช้น้ำตาลไซลิทอลในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหารพวกขนมอบ แยม มาร์มาเลดและผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เป็นต้น เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลมีคุณสมบัติที่สามารถใช้ทดแทนน้ำตาลธรรมชาติได้ และยังมีข้อดีในแง่ที่ไม่ทำให้เกิดฟันผุ แต่การใช้น้ำตาลไซลิทอลยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง โดยเฉพาะในเครื่องดื่มน้ำอัดลม ผู้บริโภคมีโอกาสจะได้รับน้ำตาลไซลิทอลปริมาณสูงเกินไปอาจทำให้เกิดท้องเสีย (gastrointestinal distress and osmotic diarrhea) ได้ หรือลักษณะรูปร่างอันหลากหลายของผลึกน้ำตาลไซลิทอล (น้ำตาลซูโครสมีผลึกแบบ monoclinic แต่น้ำตาลไซลิทอลมีผลึกแบบ rhombic) อาจทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้าง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดเหล่านี้กล่าวได้ว่าเป็นปัญหาหยาบเมื่อเทียบกับประโยชน์ที่ได้ โดยปกติมักจะให้คุณภาพที่ทัดเทียมกันหรือดีกว่าเช่น รสหวานเย็นสดชื่น ซึ่งช่วยเพิ่มรสชาติของเปปเปอร์มินท์ (peppermint) รสมะนาวและรสผลไม้ต่าง ๆ

## 2.5 ตัวอย่างของการใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหารมีดังนี้

### 2.5.1 หมากฝรั่ง (Chewing gum)

โดยปกติแล้วหมากฝรั่งประกอบด้วยน้ำตาล 50-75 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 3-5 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนผสมของกลูโคสไซรัปเป็นตัวทำให้เนื้อสัมผัสนุ่ม (softener) น้ำตาลไซลิทอลสามารถใช้แทนน้ำตาลซูโครสได้ในอัตราส่วน 1:1 ยกเว้นน้ำตาลซอร์บิทอลและน้ำตาลแมนนิทอล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความหวานน้อยกว่า จะต้องเติมสารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงาน (non-caloric sweetener) ชนิดอื่นแทนเพื่อให้ได้ความหวานเท่าเดิม แต่เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลมีความหนืด (viscosity) น้อยกว่าน้ำตาลซูโครสจึงต้องใช้กัมอาราบิก (gum arabic) เป็นส่วนผสมด้วย ความแตกต่างของหมากฝรั่งชนิดใช้น้ำตาลไซลิทอลกับชนิดใช้น้ำตาลซูโครสคือ ชนิดที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลจะให้ความรู้สึกเย็นเมื่อเริ่มเคี้ยว เนื่องจากอิทธิพลของ cooling effect ซึ่งเป็นคุณสมบัติของน้ำตาลไซลิทอล และจากการศึกษาของ Makinen and Scheinin. (1975) พบว่าหมากฝรั่งชนิดที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลไม่ทำให้เกิดฟันผุซึ่งมักพบในผู้ที่เคี้ยวหมากฝรั่งชนิดที่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวาน

### 2.5.2 ช็อกโกแลต (Chocolate)

สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอลในการผลิตช็อกโกแลตแทนน้ำตาลซูโครสได้ในอัตราส่วน 1:1 แต่จำเป็นต้องใส่สารเติมแต่ง (additives) เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลให้ความหนืดต่ำกว่า ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลที่ใช้ในช็อกโกแลตมีตั้งแต่ 17-42 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบปัญหาเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์แต่อย่างใด

### 2.5.3 ท็อฟฟี่และคาราเมล (Toffees and caramels)

เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลไม่มีคุณสมบัติทาง maillard browning และ caramelization จึงจำเป็นต้องเติมน้ำตาลฟรุกโตสเพื่อคงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เอาไว้ หรืออาจเติมสีและกลิ่นดังกล่าวแทนก็ได้ และเพื่อป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลไซลิทอลซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง ควรหลีกเลี่ยงการใช้มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) และไลเคซีน (lycasin) เป็นส่วนผสม ซึ่งพบว่าอนุพันธ์ของแป้งดังกล่าวมีผลต่อการตกผลึกของน้ำตาลไซลิทอล

### 2.5.4 เจลาติน (Gelatin desserts)

การใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์เจลาตินมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับการใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวาน

### 2.5.5 พุดดิ้ง ( pudding)

การผลิตพุดดิ้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงสูตรแต่อย่างใดเมื่อใช้น้ำตาลไซลิทอลแทนน้ำตาลซูโครสและไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์

### 2.5.6 แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด (Jams jellies and marmalades)

กรณีนี้สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอลแทนน้ำตาลซูโครสได้เช่นกันในอัตราส่วน 1:1 แต่ควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำตาลไซลิทอลมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลไซลิทอลได้ในระหว่างการเก็บรักษา และไม่มี ความจำเป็นต้องเติมสารกันบูดแต่อย่างใด

เนื่องจาก จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอล

เป็นแหล่งคาร์บอนได้ แต่ควรเติมเพคตินในปริมาณที่มากขึ้นเพราะน้ำตาลไซลิทอลให้ความหนืดต่ำกว่าน้ำตาลซูโครสและมีความจำเป็นต้องเติมเกลือแคลเซียมเพื่อช่วยในการเกิดเจล (gelatinization) ของแยม นอกจากนี้ยังพบว่าแยมและมาร์มาเลดที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลจะให้รสชาติที่ดีกว่าใช้น้ำตาลซูโครสรวมทั้งความคงตัวของสีอีกด้วย (Manz *et. al.* 1973)

### 2.5.7 ลูกกวาด (Hard candy of boiled sweets)

ในการผลิตลูกกวาดโดยใช้น้ำตาลไซลิทอลอาจมีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากการตกผลึกของน้ำตาลไซลิทอลเกิดขึ้นในขณะที่ทำให้เย็นและความหนืดต่ำ จึงต้องผลิตลูกกวาดโดยการอัดลูกกวาดร้อนเข้าแม่พิมพ์ (Depositing) แทน

### 2.5.8 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery goods)

พบว่าการใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้น ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงสูตรขนมแต่อย่างใด แต่อาจต้องเติมน้ำตาลฟรุกโตสเพื่อรักษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการ maillard browning และ caramelization นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ยังต้องการปริมาณจากการหมักของยีสต์กับน้ำตาลนั้นอาจไม่เหมาะสมนักสำหรับการใช้น้ำตาลไซลิทอลเพราะผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลนั้นจะมีปริมาณน้อยกว่าและมีเนื้อสัมผัสที่แน่นกว่า อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลเหมาะสำหรับคนที่เป็นโรคเบาหวานมากกว่า

### 2.5.9 ไอศกรีม (Ice cream)

การใช้น้ำตาลไซลิทอลแทนน้ำตาลซูโครส กลูโคสไซรัป หรือน้ำตาลอินเวอร์ต (Invert sugar) ในผลิตภัณฑ์แช่แข็งจะทำให้คุณสมบัติการหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปคือ ที่อุณหภูมิเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลจะมีคุณสมบัติอ่อนกว่าจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยทำให้แข็ง (thickeners) สำหรับไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลไซลิทอลนั้นไม่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส นานถึง 6 เดือน และไม่พบการตกผลึกอีกด้วย

### 2.5.10 ซอสมะเขือเทศและนมข้นหวาน (Ketchup and condensed milk)

การใช้น้ำตาลไซลิทอลสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้คือ ป้องกันการเกิด browning และการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี

### 2.5.11 ซอสและอื่น ๆ (Marinade sauces and pastes)

เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลต่ำ ฉะนั้นการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยน้ำตาลไซลิทอลจึงไม่ประสบปัญหาแต่อย่างใด

### 2.5.12 โยเกิร์ต (Yoghurt)

จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล 8 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตโยเกิร์ต โดยที่การเติมน้ำตาลไซลิทอลหลังการบ่มจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าเติมน้ำตาลไซลิทอลก่อนการบ่ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าพีเอช (4.4) สูงกว่ากรณีที่ใช้ น้ำตาลซูโครส (4.0) และผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างเกี่ยวกับการยอมรับของผู้บริโภค (Sensory evaluation)

### 2.5.13 เครื่องดื่ม (Drinks)

เนื่องจากการได้รับน้ำตาลไซลิทอลในขณะเดียวกันมากเกินไปอาจทำให้เกิดอาการท้องเสียได้ (laxative effect) จึงต้องใช้น้ำตาลไซลิทอลผสมกับสารให้ความหวานตัวอื่น ๆ เช่น เมื่อใช้น้ำตาลไซลิทอล 3.9 เปอร์เซ็นต์ และไซคลาเมต (cyclamate) 0.133 เปอร์เซ็นต์ แทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะสามารถลดพลังงานที่ร่างกายจะได้รับถึง 60 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะต่อคนที่เป็นโรคเบาหวานและคนที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ส่วนนมสเตอริไรซ์ยูเอชทีชนิดช็อกโกแลตเหมาะที่จะใช้น้ำตาลไซลิทอล 4 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้คุณภาพทางฟิสิกส์ เช่น ความหนืด และสีเปลี่ยนแปลงไปและยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับการเก็บรักษามากกว่าหนึ่งเดือนที่อุณหภูมิห้องก็ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพแต่อย่างใด

### 2.5.14 ผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม (Pharmaceutical preparations)

น้ำตาลไซลิทอลมีข้อได้เปรียบคือไม่ทำให้เกิดฟันผุ (non-cariogenicity) และไม่เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ (non-fermentability) จึงได้ใช้เป็นสารให้ความหวานในการเตรียมผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวทางเภสัชกรรม เพราะฉะนั้นการใช้ยาดังกล่าวของคนไข้ที่ไม่ได้ทำความสะอาดช่องปากเป็นเวลานานจึงไม่ทำให้เกิดฟันผุ

## 2.6 ข้อจำกัดในการใช้น้ำตาลไซลิทอล

2.6.1 การบริโภคน้ำตาลไซลิทอลเป็นจำนวนมากในคราวเดียวจะทำให้เกิดอาการท้องเสียได้ เนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลมีคุณสมบัติเป็นยาระบาย เพราะน้ำตาลไซลิทอลมีคุณสมบัติเหมือนคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ คือดูดซับน้ำไว้อย่างช้า ๆ ดังนั้นเมื่อเริ่มบริโภคเป็นครั้งแรกควรบริโภคในปริมาณต่ำก่อน (ราว 30 กรัมต่อวัน) และค่อย ๆ เพิ่มปริมาณขึ้นแต่จะบริโภคได้สูงสุดราว 200-300 กรัมต่อวัน

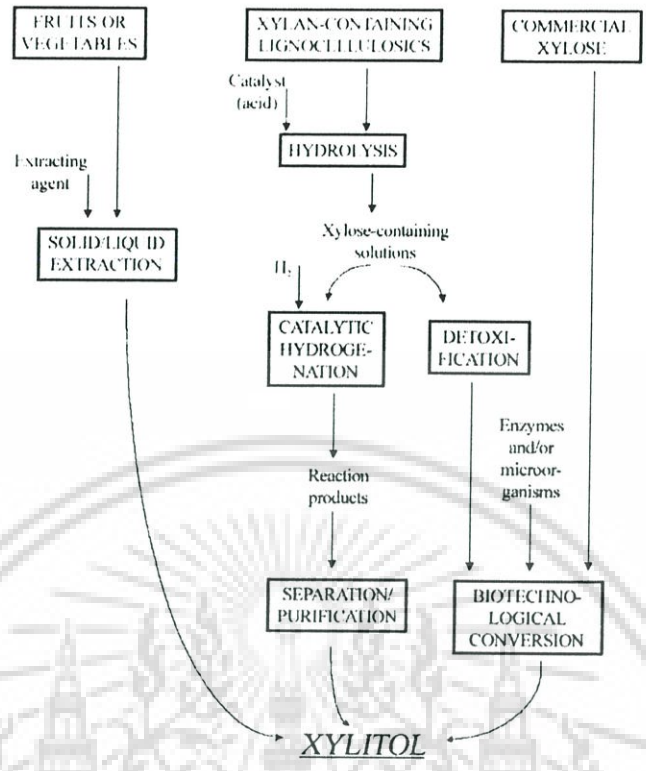
2.6.2 การใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้มีรสชาติเย็นสดชื่นนั้น จะต้องใช้ น้ำตาลไซลิทอลที่อยู่ในรูปผลึกเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้เกิดลักษณะผิวสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

2.6.3 น้ำตาลไซลิทอลมีราคาแพงเมื่อเทียบกับสารให้ความหวานชนิดอื่น เนื่องจากต้นทุน ที่ใช้ในการผลิตสูงทำให้การใช้น้ำตาลไซลิทอลไม่แพร่หลายเท่าที่ควร แม้ว่าน้ำตาลไซลิทอลจะ สามารถใช้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ แต่ในอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวานกลับใช้ฟรุกโตสแทน เพราะมีราคาถูกกว่าและไม่เกิดผลข้างเคียงเช่นเดียวกับการใช้น้ำตาลไซลิทอล

## 2.7 การผลิตน้ำตาลไซลิทอล

น้ำตาลไซลิทอลเริ่มมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์เมื่อ ปี พ.ศ. 2519 โดยบริษัทฟินนิชซูการ์ มีกำลังการผลิตมากกว่า 3,000 ตันต่อปี ต่อมาในปี พ.ศ. 2520 ได้มีการร่วมมือกันระหว่างบริษัทฟินนิชซูการ์และบริษัทฮอฟมันน์ลาโรซแห่งประเทศ สวิสเซอร์แลนด์ ก่อตั้งบริษัทร่วมกันชื่อว่า ไซโรฟิน (Xylofin Co., Ltd.) ขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2522 มี การผลิตน้ำตาลแอลกอฮอล์ทั่วโลกปริมาณถึง 345,000 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้เป็นน้ำตาลไซลิทอลและ แมนนิทอลประมาณ 6,000 ตัน (สารโรจน์. 2537)

ปัจจุบันมีการใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างกว้างขวางทั้งในทวีปยุโรปและ อเมริกาโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ประเภทหมากฝรั่ง และพบว่ามีความนิยมที่จะใช้น้ำตาลไซลิทอลมากขึ้น ในอุตสาหกรรมประเภทขนมหวาน (confectionary) และขนมขบเคี้ยว (snack products) แต่การ ใช้น้ำตาลไซลิทอลในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่ที่การผลิตน้ำตาลไซลิทอลที่มีต้นทุนการ ผลิตสูง จึงทำให้ราคาของน้ำตาลไซลิทอลแพงกว่าน้ำตาลทั่วไป อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการ วิจัยค้นคว้าเพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยกระบวนการหมัก (fermentation) ด้วย เชื้อจุลินทรีย์ โดยการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลไซโลสเป็น วัตถุดิบ ซึ่งคาดว่าจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่ากระบวนการทางเคมี การผลิตน้ำตาลไซลิทอลมี หลายวิธีและสามารถใช้วัตถุดิบได้หลายชนิด เช่น ผักและผลไม้ ของเสียที่มีไซเลนเป็น องค์ประกอบ เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ฟางข้าว ชังข้าว โปด ชานอ้อย) เป็นต้น เศษเหลือ จากอุตสาหกรรมไม้และกระดาษ หรืออาจใช้น้ำตาลไซโลสเป็นวัตถุดิบโดยตรงก็ได้ ซึ่งแต่ละวิธีจะ มีกระบวนการแตกต่างกันไปดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิตอล  
ที่มา : Parajo *et. al.* (1998)

## 2.8 วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิตอล

### 2.8.1 การสกัดจากผักและผลไม้

การผลิตน้ำตาลไซลิตอลสามารถผลิตได้จากแหล่งธรรมชาติโดยการสกัดจากผักและผลไม้ เช่นกะหล่ำปลี มะเขือยาว ผักโขม สตรอเบอร์รี่ และราสเบอร์รี่ โดยปริมาณน้ำตาลไซลิตอลในผักและผลไม้ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งสามารถสกัดได้น้ำตาลไซลิตอลในปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ จึงไม่คุ้มค่าที่จะผลิตในเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 2.5 ปริมาณน้ำตาลไซลิตอลในผักและผลไม้

ผักและผลไม้	ปริมาณน้ำตาลไซลิตอล (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
Raspberries	268
Strawberries	362
Yellow plums	935
Endivis	258

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ผักและผลไม้	ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
Lettuce	131
Cauliflower	300
Spinach	107
Eggplant	180
Yellow boletus mushroom	128

ที่มา : Emodi. (1982)

### 2.8.2 การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยกระบวนการทางเคมี

เป็นการผลิตน้ำตาลไซลิทอลทางอุตสาหกรรมในปัจจุบันโดยใช้วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลไซโลสที่ได้จากวัสดุที่มีไซเลนเป็นองค์ประกอบ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

#### 2.8.2.1 การไฮโดรไลซิส

เป็นการสกัดน้ำตาลไซโลสจากเฮมิเซลลูโลส โดยใช้กรดซัลฟิวริกเจือจางหรือค่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งที่นิยมใช้คือวิธี Ultrafast hydrolysis โดยใช้กรดซัลฟิวริกเจือจาง 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วินาที ซึ่งได้น้ำตาลไซโลสออกมา

#### 2.8.2.2 การทำน้ำตาลไซโลสให้บริสุทธิ์

หลังจากไฮโดรไลซิสแล้วจะกำจัดไอออนและสีที่อยู่ในไฮโดรไลเสท (hydrolysate) ซึ่งมีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ แต่มีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลักถึง 78 % ซึ่งสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ 2 วิธีคือ

##### 2.8.2.2.1 แบบแยกน้ำตาลไซโลส (isolation of xylose)

ไฮโดรไลเสทที่ได้จะถูกกรองแยกสารแขวนลอยและตะกอนออกก่อนที่จะนำไปผ่านตัวแยกไอออนเพื่อกำจัดสีและเกลือ และเพื่อให้ได้สารละลายน้ำตาลไซโลสที่บริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 85-90 % จึงต้องใช้วิธีโครมาโทกราฟีเป็นขั้นตอนสุดท้าย

##### 2.8.2.2.2 แบบไม่แยกน้ำตาลไซโลส (non-isolation of xylose)

วิธีนี้จะแยกเอาสารอื่น ๆ เช่น ตะกอน ไอออน และสีออก แต่ไม่แยกเอาน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ออกไปโดยวิธีโครมาโทกราฟี สารละลายที่ได้จะมีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบแต่น้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลักดังแสดงในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิส

น้ำตาล	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
อาราบีโนส	6.3
ไซโลส	77.5
แมนโนส	7.8
กาแลคโตส	4.5
กลูโคส	4.5

ที่มา : Hyvoenen *et. al.* (1982)

### 2.8.3 การไฮโดรจีเนชัน

เป็นการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลที่สภาวะความดัน 50 บรรยากาศ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง โดยใช้โลหะนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้น้ำตาลไซลิทอลประมาณ 64.5 % โดยในขั้นนี้ถ้ามีน้ำตาลชนิดอื่นเจือปนอยู่น้ำตาลเหล่านั้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบของสารละลายน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรจีเนชัน

น้ำตาล	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
อาราบีทอล	9
ไซลิทอล	64.5
แมนนิทอล	7.5
กาแลคติทอล	5
ซอร์บิทอล	4.5
อื่นๆ	9.5

ที่มา : Hyvoenen *et. al.* (1982)

### 2.8.4 การทำน้ำตาลไซลิทอลให้บริสุทธิ์

นำสารละลายน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยกรองแยกเอาโลหะนิกเกิลออก แล้วแยกน้ำตาลไซลิทอลออกมาโดยวิธีโครมาโทกราฟี จากนั้นทำการตกผลึกน้ำตาลไซลิทอล ซึ่งจะได้น้ำตาลไซลิทอลที่มีความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์

แม้ว่าการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยวิธีทางเคมีจะเป็นวิธีที่ใช้กันในทางอุตสาหกรรมทั่วไป แต่ต้นทุนการผลิตยังสูงอยู่ เนื่องจากขั้นตอนในการแยกและทำให้บริสุทธิ์ยังทำได้ยาก ทำให้น้ำตาลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซลิทอลมีราคาแพง และปริมาณของน้ำตาลไซลิทอลที่ได้ยังค่อนข้างต่ำ จึงทำให้มีการคิดค้นวิธีการผลิตด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพขึ้นมาเพื่อทดแทนการผลิตทางเคมี

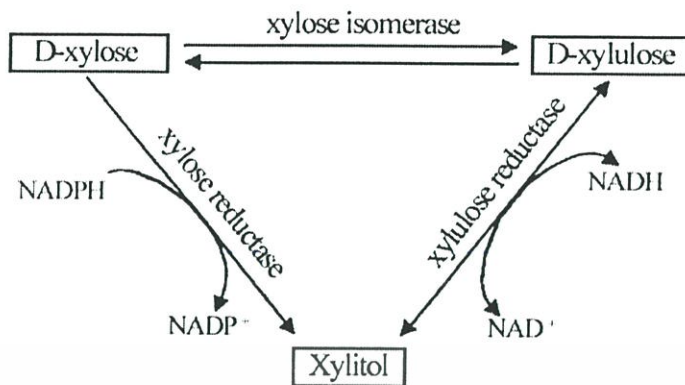
## 2.9 การผลิตด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพเริ่มเป็นที่สนใจเนื่องจากมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาทดแทนวิธีการผลิตทางเคมีที่ต้นทุนสูงได้ การผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการนี้จะใช้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ในการผลิต ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้หลายชนิด ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียเช่น *Corynebacterium* sp., *Mycobacterium smegmatis* ตัวอย่างของเชื้อรา เช่น *Petromyces albertensis* แต่จุลินทรีย์ที่นิยมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพคือยีสต์ ซึ่งมีหลายชนิดที่สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ เช่น *Candida tropicalis*, *C. guilliermondii*, *C. parasilopsis*, *C. boidinii* และ *Debaryomyces hansenii* เป็นต้น

## 2.10 กระบวนการเมแทบอลิซึมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยจุลินทรีย์

น้ำตาลไซโลสสามารถเปลี่ยนไอโซเมอร์เป็นน้ำตาลไซลูโลสได้ด้วยเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรส (xylose isomerase) หรือถูกรีดิวซ์ไปเป็นน้ำตาลไซลิทอลโดยเอนไซม์ไซโลสรีดักเทส (xylose reductase ; XR) โดยมีโคเอนไซม์คือ NADPH หรือ NADH ซึ่งน้ำตาลไซลิทอลที่ผลิตขึ้นสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นน้ำตาลไซลูโลสโดยเอนไซม์ไซลิทอลดีไฮโดรจีเนส (xylitol dehydrogenase ; XDH) ในขณะที่มี NADP<sup>+</sup> หรือ NAD<sup>+</sup> ที่ได้จากปฏิกิริยาตอนต้น (Horitsu *et. al.* 1992 ; Nigam and Singh. 1995)

Hofer *et. al.* (1971) รายงานในลักษณะที่ใกล้เคียงกันว่าน้ำตาลไซลิทอลในจุลินทรีย์จะถูกสร้างขึ้นเป็นสารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลโดยอาศัยเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสและโคเอนไซม์ NADPH เปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอล ส่วนวิธีที่สองน้ำตาลไซโลสจะถูกเปลี่ยนไอโซเมอร์ไปเป็นน้ำตาลไซลูโลสก่อนโดยเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรส จากนั้นน้ำตาลไซลูโลสจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นน้ำตาลไซลิทอลโดยเอนไซม์ไซโลสรีดักเทส และโคเอนไซม์ NADH ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 วิธีการเกิดน้ำตาลไซลิตอลจากเมแทบอลิซึมของไซโลส  
ที่มา : Hofer *et. al.* (1971)

วิธีโดยทั่วไปเป็นวิธีในการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิตอลคือวิธี oxidoreduction ซึ่งมีการศึกษาวิธีนี้ในยีสต์หลายชนิด Furlan *et. al.* (1994) รายงานว่ากระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยโคเอนไซม์จากกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

### 2.10.1 กระบวนการเมแทบอลิซึมของการผลิตน้ำตาลไซลิตอลในยีสต์

ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นไซลูลูโลส-5-ฟอสเฟต (xylulose-5-phosphate) เพื่อเข้าสู่วิถีอื่นต่อไป โดยเมื่อน้ำตาลไซโลสเข้าสู่เซลล์ยีสต์จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลูลูโลสโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลไซโลสโดยวิธีนี้จะพบในจุลินทรีย์พวกยูคาริโอท (eukaryotes) โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง 2 ชนิด คือ เอนไซม์ไซโลสรีดักเทส ซึ่งมีโคเอนไซม์ NAD(P)H ร่วมในการทำปฏิกิริยารีดิวส์น้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิตอล และเอนไซม์ไซลิตอลดีไฮโดรจีเนสซึ่งใช้ NAD(P)<sup>+</sup> เป็นโคเอนไซม์จะออกซิไดซ์น้ำตาลไซลิตอลที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นน้ำตาลไซลูลูโลส (Smiley and Bolen, 1982) ส่วนในจุลินทรีย์พวกโปรคาริโอท (prokaryotes) นั้นจะเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลูลูโลสโดยปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) โดยมีเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรสเข้ามาเกี่ยวข้อง สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสและเอนไซม์ไซโลสดีไฮโดรจีเนสในยีสต์แต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ทำให้ยีสต์แต่ละสายพันธุ์ใช้น้ำตาลไซโลสได้แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

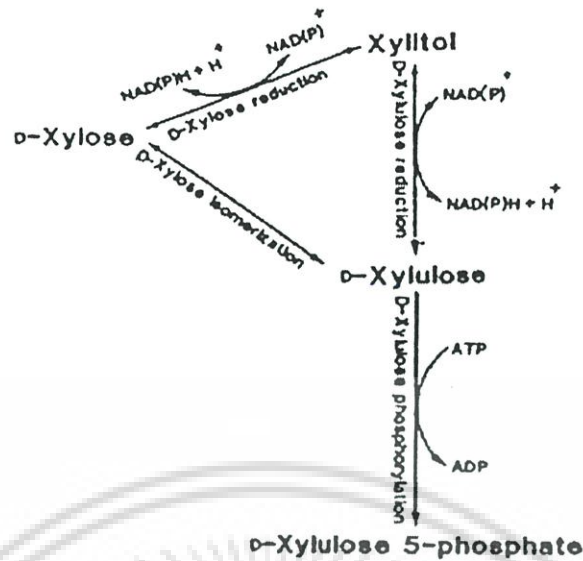
ตารางที่ 2.8 กิจกรรมของเอนไซม์ไซโลสรีดักเตสและไซลิตอลดีไฮโดรจีนเนสในยีสต์ที่สามารถใช้น้ำตาลไซโลสได้

Microorganism	XR activity [ $\mu\text{mol (min mg)}^{-1}$ ]		NADH/ NADPH ratio	XDH activity [ $\mu\text{mol (min mg)}^{-1}$ ]		Reference
	NADH	NADPH		NAD <sup>+</sup>	NADP <sup>+</sup>	
<i>P. lanuginosus</i> (NRRL Y-2460)	44	151	0.29	114	8	Malczka et al. (1983)
<i>C. utilis</i> (CBS 621) <sup>a</sup>	0	75	0	280	0	Bruinenberg et al. (1984)
<i>Pichia stipitis</i> (CBS 5773) <sup>a</sup>	310	600	0.5	720	75	Bruinenberg et al. (1984)
<i>P. lanuginosus</i> (CBS 4044) <sup>a</sup>	9	220	0.04	910	70	Bruinenberg et al. (1984)
<i>C. tenuis</i> (CBS 615) <sup>†</sup>	2	130	0.02	—	—	Bruinenberg et al. (1984)
<i>C. tenuis</i> (CBS 2885) <sup>†</sup>	0	100	0	—	—	Bruinenberg et al. (1984)
<i>C. tenuis</i> (CBS 4285) <sup>†</sup>	305	670	0.5	—	—	Bruinenberg et al. (1984)
<i>C. shehatae</i> (CBS 5813) <sup>†</sup>	210	480	0.4	—	—	Bruinenberg et al. (1984)
<i>Pichia segoblenensis</i> (CBS 6857) <sup>†</sup>	365	640	0.6	—	—	Bruinenberg et al. (1984)
<i>C. pelliculosa</i>	—	1.73	—	—	—	Kitprochavanich et al. (1984)
<i>P. lanuginosus</i> (ATCC 326 91)	—	36 $\frac{1}{2}$	—	—	36	Gómez (1987)
<i>C. shehatae</i> (ATCC 22984) $\frac{1}{2}$	0.11	0.21	0.53	0.08	0.011	Girio et al. (1989)
<i>P. stipitis</i> (CBS 7126) $\frac{1}{2}$	180–340	300–570	0.55–0.60	650–770	7–30	du Preez (1989)
<i>C. shehatae</i> (CBS 2779) $\frac{1}{2}$	280–370	510–580	0.52–0.64	740–1270	25–30	du Preez (1989)
<i>C. tenuis</i> (CBS 2883) $\frac{1}{2}$	120–200	220–350	0.54–0.57	80–310	7–17	du Preez (1989)
<i>D. hansenii</i> (DTIA 77)	0	60	0	—	—	Girio et al. (1990)
<i>C. oleophila</i> (DTIA 111)	0	40	0	—	—	Girio et al. (1990)
<i>C. intermedia</i> (DTIA 110)	0	140	0	—	—	Girio et al. (1990)
<i>P. stipitis</i> (DTIA 81)	720	3460	0.21	—	—	Girio et al. (1990)
<i>C. boldinii</i> (NRRL Y17213)	—	—	1.2–2.1	—	—	Vandeska et al. (1995)
<i>P. lanuginosus</i> (DSM 70352) $\frac{1}{2}$	0.03	0.23	0.13	0.060	0.135	Kruse & Schögerl (1996)
<i>C. boldinii</i> Kloeckera sp. (no. 2201)	0.288	0.055	5.23	0.272	0.096	Vongsavalek & Tani (1989)
<i>C. guilliermondii</i> (NRC 5578)	0.08	0.62	0.129	—	—	Nolleau et al. (1993)
<i>C. parapilosis</i> (ATCC 28474)	0.17	0.42	0.405	—	—	Nolleau et al. (1993)
<i>C. guilliermondii</i> (NRC 5578)	0.08	0.62	0.129	1.130	0.011	Nolleau et al. (1995)
<i>C. parapilosis</i> (ATCC 28474)	0.17	0.42	0.405	0.400	0.02	Nolleau et al. (1995)
<i>C. mogii</i> (ATCC 18364)	0.06	0.16	0.375	0.22	—	Sirisansaneeaykul et al. (1995)
<i>C. guilliermondii</i> (FTI-20037, NRC5578)	—	79.1	—	128.0	—	Lee et al. (1996)
<i>C. shehatae</i> (ATCC 22984)	0.04–0.07	0.26–0.34	0.15–0.21	0.14–0.18	—	Palnikar & Lachke (1992)

ที่มา : Parajo et al. (1998)

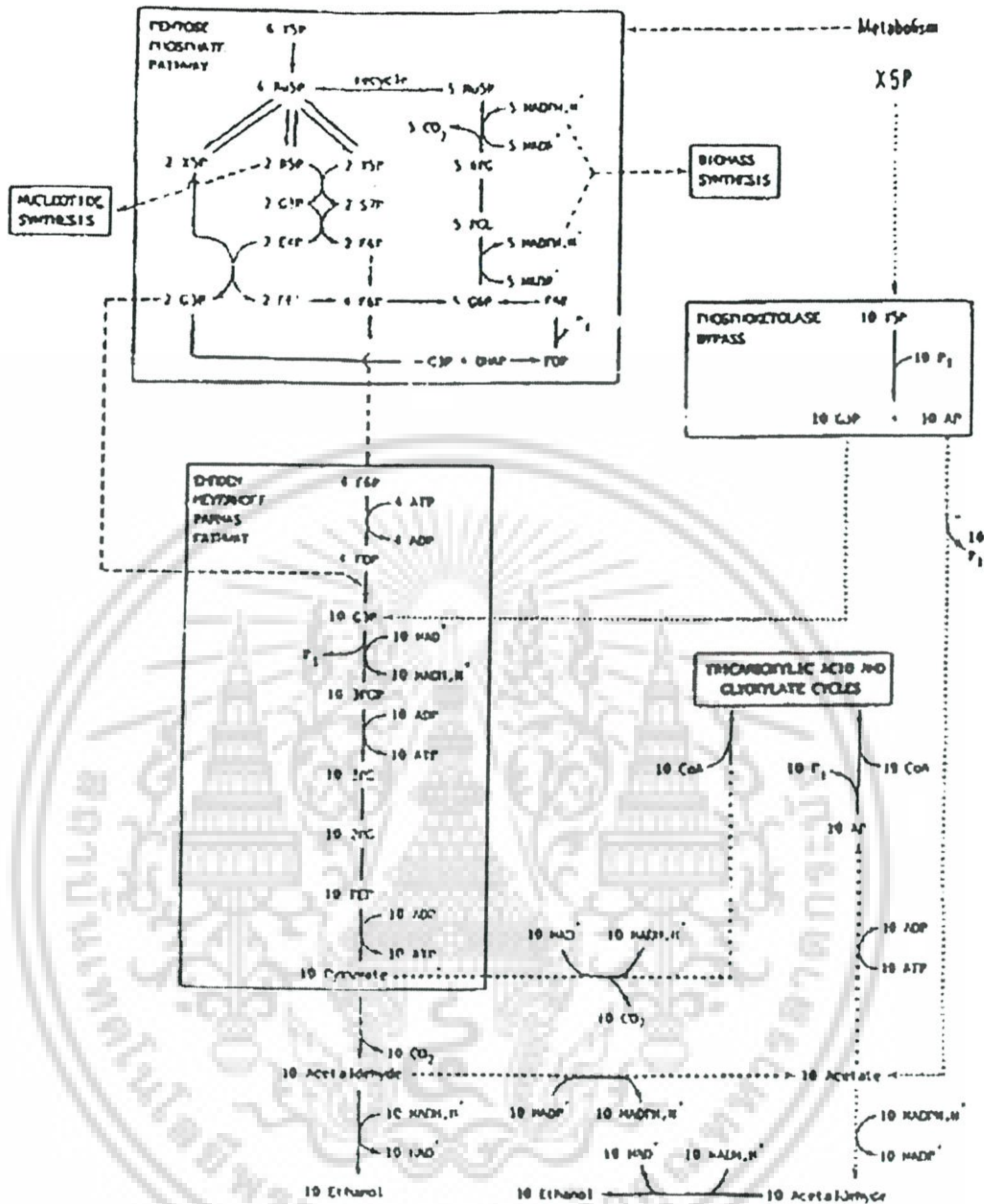
Barnett. 1976 ; Gong. 1983 รายงานว่า เมื่อยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลไซโลสให้เป็นน้ำตาลไซลูโลสแล้วจะเปลี่ยนเป็นไซลูโลส-5-ฟอสเฟต โดยปฏิกิริยาฟอสโฟริเรนชัน (phosphorylation) ของเอนไซม์ไซลูโลสไคเนส (xylulose kinase) ดังแสดงในภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 เมแทบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสเพื่อสร้างไซลูลอส-5-ฟอสเฟต  
ที่มา : Vongsuvanlert and Tani. (1989)

เมื่อไซลูลอส-5-ฟอสเฟตเข้าสู่วิถีเพนโทสฟอสเฟต (pentosephosphate pathway) จะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลฟอสเฟตต่าง ๆ คือ glyceraldehyde-3-phosphate (G3P) และ fructose-6-phosphate (F6P) แล้วเข้าสู่วิถี Embden-Meyerhof-Panas (EMP) เพื่อสร้างไพรูเวตเข้าสู่วัฏจักรการสร้างพลังงาน (TCA cycle) เพื่อสร้างพลังงานและเซลล์ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ส่วนไพรูเวตที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น (Gong. 1983 ; Jeffries. 1983)



ภาพที่ 2.5 เมแทบอลิซึมของไซลูลอส-5-ฟอสเฟตของยีสต์ *Pachysolen tannophilus*  
 ที่มา : Slininger et. al. (1987)

ยีสต์บางสายพันธุ์เมื่อใช้น้ำตาลไซโลสในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดสามารถสะสมน้ำตาลไซลิทอลได้ในปริมาณมาก เนื่องจากชนิดของโคเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาของเอนไซม์ไซโลสรีดักเตสและเอนไซม์ไซโลสดีไฮโดรจีเนสเป็นคนละกลุ่ม ซึ่งโคเอนไซม์ที่ใช้เร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไซโลสรีดักเตสคือ NADPH แต่โคเอนไซม์ใช้เร่งปฏิกิริยาเอนไซม์ไซโลสดีไฮโดรจีเนสคือ NADH ดังนั้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดจะเกิดการสะสมของ NADH และ NADPH มาก จึงเกิดการเร่งการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นไซลิทอลโดยอาศัยโคเอนไซม์ NADPH อย่างมาก แต่เนื่องจากเกิดการไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะสมของ NADH ทำให้ขาดแคลน NAD<sup>+</sup> จึงทำให้การเปลี่ยนน้ำตาลไซลิทอลที่ได้เป็นน้ำตาลไซลูลูโลสจึงเกิดขึ้นน้อยและไม่สามารถนำเอา NADP<sup>+</sup> ที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลมาใช้ได้ จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำตาลไซลิทอลมากขึ้น Horitsu *et. al.* (1992) ได้ยืนยันข้อเท็จจริงนี้โดยทำการตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสและเอนไซม์ไซโลสดีไฮโดรจีเนสของยีสต์ *C. tropicalis* IFO 0618 ที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ พบว่ามีเอนไซม์ NADH-linked xylose reductase และ NADP<sup>+</sup>-linked xylitol dehydrogenase ต่ำมากจนเกือบไม่มีเลย ดังนั้นการสร้าง NAD<sup>+</sup> จากเอนไซม์ NADH-linked xylose reductase จึงไม่เกิดขึ้น ทำให้เกิดสภาวะขาดแคลน NAD<sup>+</sup> ในการออกซิไดซ์ไปเป็นน้ำตาลไซลูลูโลส ดังนั้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดจึงเกิดการสะสมของน้ำตาลไซลิทอลเพิ่มมากขึ้น

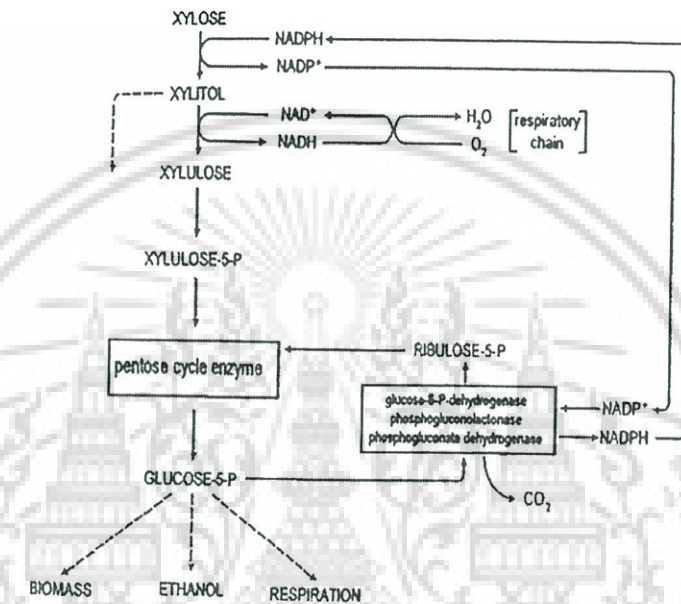
สำหรับยีสต์ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสที่ต้องการทั้ง NADPH และ NADH เช่นยีสต์ในกลุ่ม *Pachysolen* sp. และ *Pichia* sp. สามารถเจริญและสะสมน้ำตาลไซลิทอลได้น้อยเนื่องจากน้ำตาลไซลิทอลสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลูลูโลสและเข้าสู่วิถีต่าง ๆ และผลิตเป็นเอทานอลได้ต่อไปในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด (Prior *et. al.* 1989)

การศึกษามетаบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสในยีสต์เพื่อหาผลได้ทางทฤษฎีของการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลต้องพิจารณา 4 เงื่อนไขดังต่อไปนี้ (Barbosa *et. al.* 1988)

1. ในกระบวนการเมตาบอลิซึมมีโคเอนไซม์ 2 ชนิดเข้าไปเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอล โดยเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสมี NADPH เป็นโคเอนไซม์ และการออกซิไดส์น้ำตาลไซลิทอลเป็นน้ำตาลไซลูลูโลสโดยเอนไซม์ไซลิทอลดีไฮโดรจีเนสมี NAD<sup>+</sup> เป็นโคเอนไซม์
2. โคเอนไซม์ NADPH ที่ใช้ในการรีดิวซ์น้ำตาลไซโลสทั้งหมดเป็นน้ำตาลไซลิทอลถูกสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเพนโทสฟอสเฟตและโคเอนไซม์ NAD<sup>+</sup> ที่ใช้ในกระบวนการออกซิไดส์น้ำตาลไซลิทอลเป็นน้ำตาลไซลูลูโลสได้จากกระบวนการหายใจ
3. ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของยีสต์ไม่สามารถเปลี่ยน NADH เป็น NADPH ได้
4. ภายใต้อุณหภูมิที่มีการจำกัดออกซิเจนหรือมีการเจริญเติบโตน้อย น้ำตาลไซลิทอลจะถูกออกซิไดส์เพื่อสร้าง NADPH เท่านั้น ส่วนน้ำตาลไซลิทอลที่เหลือจะสะสมมากขึ้นและปล่อยออกมาภายนอกเซลล์

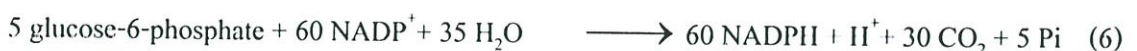
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตน้ำตาลไซลิทอลในยีสต์โดยใช้น้ำตาลไซโลสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในสภาวะที่มีการจำกัดออกซิเจนหรือไม่มีการเจริญเติบโต น้ำตาลไซลิทอลส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาออกเซลล์โดยมีบางส่วนถูกออกซิไดส์ไปเพื่อสังเคราะห์ NADPH (ภาพที่ 2.6) เมื่อทำสมดุลคาร์บอนและโคเอนไซม์ดังสมการที่ 1-9 แล้ว จะได้ผลทางทฤษฎีของน้ำตาลไซลิทอลเท่ากับ 0.905 โมลต่อโมลของน้ำตาลไซโลสที่ถูกใช้ (Barbosa *et. al.* 1988)



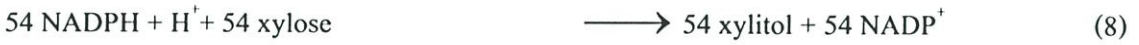
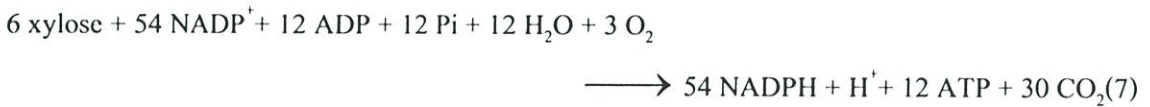
ภาพที่ 2.6 การสร้างและใช้โคเอนไซม์ (coenzyme regeneration) ในยีสต์ที่หมักน้ำตาลไซโลสได้  
ที่มา : Barbosa *et. al.* (1988)

สมการแสดงการหาผลได้ของน้ำตาลไซลิทอลจากน้ำตาลไซโลสทางทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1-6



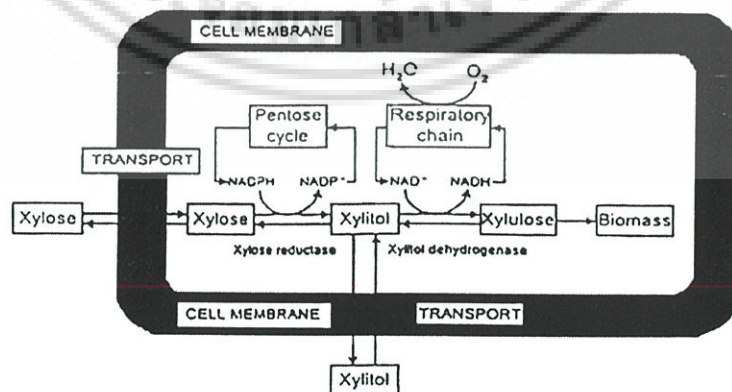
จากสมการที่ 7 และ 8



ผลได้ของน้ำตาลไซลิทอล =  $54/60 = 0.905$  โมลของน้ำตาลไซลิทอลต่อโมลของน้ำตาลไซโลส

Horitsu *et. al.* (1992) รายงานว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลที่มีประสิทธิภาพนั้นในขั้นตอนแรกต้องเพาะเลี้ยงเซลล์ให้เติบโตสูงสุดโดยการให้ออกซิเจนอย่างเพียงพอและลดปริมาณการให้ออกซิเจนในช่วงการผลิตน้ำตาลไซลิทอล เนื่องจากการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจะเกิดได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด ถ้ามีการให้ออกซิเจนสูงตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงจะทำให้น้ำตาลไซลิทอลถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลูโลส ดังนั้นการให้ออกซิเจนสูงจึงเหมาะสำหรับช่วงของการเจริญเติบโตเท่านั้น

Sirisansanceyakul *et. al.* (1992) อธิบายถึงการใช้น้ำตาลไซโลสของยีสต์ผ่านวิถีเพนโทสฟอสเฟตซึ่งน้ำตาลไซโลสจะเข้าสู่ภายในเซลล์และถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลิทอลด้วยการทำงานของเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสที่มี NADPH เป็นโคเอนไซม์ จากนั้นน้ำตาลไซลิทอลจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลูโลสด้วยการทำงานของเอนไซม์ไซลิทอลดีไฮโดรจีเนสที่อาศัย NAD<sup>+</sup> เป็นโคเอนไซม์ จากนั้นน้ำตาลไซลูโลสที่ได้จะถูกเติมฟอสเฟตก่อนเข้าสู่วิถีเพนโทสฟอสเฟต เพื่อนำไปสร้างเป็นมวลชีวภาพของเซลล์หรือพลังงานต่อไปดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 เมแทบอลิซึมของน้ำตาลไซโลสในยีสต์

เอกสารที่ ๓ : Sirisansanceyakul *et. al.* (1992) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.2 กระบวนการเมแทบอลิซึมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยแบคทีเรีย

แบคทีเรียส่วนมากสามารถสร้างเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรสได้ ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลูโลสได้ จากนั้นน้ำตาลไซลูโลสก็จะถูกเติมฟอสเฟตกลายเป็นไซลูโลส-5-ฟอสเฟตแล้วเข้าสู่วิถีเพนโทสฟอสเฟต หรืออีกทางหนึ่งไซลูโลส-5-ฟอสเฟตที่ได้จะถูกเอนไซม์ ไซลูโลส-5-ฟอสเฟต ฟอสโฟคีโตเลสเปลี่ยนเป็น G3P และ acetyl phosphate ซึ่งขั้นนี้เป็นการสร้างสารตัวกลางใน EMP โดยไม่มีการสร้าง NADPH เหมือนกับเมแทบอลิซึมของน้ำตาลกลูโคสในยีสต์ (Evan and Ratledge. 1984) แต่แบคทีเรียบางสายพันธุ์สามารถผลิตเอนไซม์ในกลุ่ม oxido - reductase แทนเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรสได้ ทำให้สามารถรีดิวส์น้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลได้และออกซิไดส์น้ำตาลไซลิทอลไปเป็นน้ำตาลไซลูโลสได้อีกด้วยในบางสายพันธุ์

Nigam and Singh. (1995) รายงานว่าแบคทีเรียสามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้เช่น *Corynebacterium* sp. และ *Mycobacterium smegmatis* พบว่า *M. smegmatis* สามารถเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลได้ในอัตรา 70 % และได้มีการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยใช้ น้ำตาลไซโลสที่ผลิตได้จากเอนไซม์ไซโลสไอโซเมอเรส (xylose isomerase) จากเชื้อ *Bacillus coagulans* และโดยการตรึงเซลล์ *M. smegmatis* ได้น้ำตาลไซลิทอล 4 กรัม จากน้ำตาลไซโลส 10 กรัม

### 2.10.3 กระบวนการเมแทบอลิซึมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อรา

เชื้อราสามารถใช้น้ำตาลไซโลสได้โดยผ่านวิถีออกซิโด-รีดักชัน (oxido - reduction pathway) ให้กลายเป็นน้ำตาลไซลูโลส (Ojamo. 1994) ในช่วงแรก Chiang and Knight. (1960) พบปริมาณน้ำตาลไซลิทอลเล็กน้อยเมื่อทำการเพาะเลี้ยงราที่มีเส้นใยในอาหารที่มีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบ Ueng and Gong. (1982) ก็รายงานผลที่คล้ายคลึงกันเมื่อทำการหมักไฮโดรไลเสทที่ได้จากขานอ้อยด้วย *Mucor* sp.

## 2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

การผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากจุลินทรีย์เป็นกระบวนการที่มีปัจจัยหลายอย่างซึ่งมีอิทธิพลต่อการผลิต เช่น สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ ชนิดของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ลักษณะของการเพาะเลี้ยง เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การผลิตน้ำตาลไซลิทอลมีประสิทธิภาพ ซึ่งเราสามารถแยกปัจจัยต่าง ๆ นี้ออกเป็นสองอย่าง อย่างแรกเป็นปัจจัยที่ขึ้นกับจุลินทรีย์ที่ใช้หรือสายพันธุ์ของจุลินทรีย์นั่นเอง ส่วนปัจจัยที่สองที่มีผลต่อกระบวนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลมีดังนี้คือ อายุของหัวเชื้อ ปริมาณเซลล์เริ่มต้น พีเอช อุณหภูมิ ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ น้ำตาลชนิดอื่นในฐานะสารตั้งต้นร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.1 สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

จุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลคือยีสต์ ซึ่งมียีสต์หลายสายพันธุ์ที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้โดยมีการศึกษาถึงการผลิตน้ำตาลไซลิทอลในยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อหายีสต์ที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุด

จากการศึกษาพบว่า ยีสต์ที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีก็คือยีสต์ในกลุ่ม *Candida* sp. ตัวอย่างเช่น การคัดเลือกยีสต์ 10 สายพันธุ์เพื่อหายีสต์ที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุดโดย Gong *et. al.* (1981) พบว่า *C. tropicalis* เป็นยีสต์ที่ให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุด และไม่ผลิตเอทานอลเป็นผลผลิตร่วม นอกจากนี้ Gong *et. al.* (1983) ยังได้ศึกษาความสามารถในการใช้น้ำตาลเพนโทสและการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของยีสต์ต่าง ๆ ใน *Candida* sp., *Saccharomyces* sp. และ *Schizosaccharomyces* sp. อีกด้วย Barbosa *et. al.* (1988) ทำการคัดเลือกยีสต์ 44 สายพันธุ์ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอลได้ พบว่าในบรรดาชนิดยีสต์ทั้งหมด *C. tropicalis* และ *C. guilliermondii* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุด Sirisansaneeyakul *et. al.* (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ 11 สายพันธุ์ พบว่า *C. mogii* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่น ซึ่งเป็นเหตุผลที่ยีสต์ในกลุ่ม *Candida* sp. ถูกนำมาใช้ในการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอล เช่น Meyriel *et. al.* (1991) รายงานว่าสามารถใช้ยีสต์ในกลุ่มดังกล่าวผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงถึง 221 กรัมต่อลิตร จากน้ำตาลไซโลส 300 กรัมต่อลิตร

นอกจากยีสต์ในกลุ่ม *Candida* sp. แล้วยังมียีสต์อีกหลายชนิดที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ Amaral-Collaqco *et. al.* (1990) ได้แยกเอายีสต์จากวัสดุพวกกลีโคเซลล์โลสมมาทำการคัดเลือกหายีสต์ที่สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้และพบว่า *Debaryomyces hansenii* ให้ผลผลิตสูงและมีอัตราการผลิตสูงด้วย และผลการศึกษาของ Vandeska *et. al.* (1995) พบว่า *D. hansenii* และ *C. boidinii* เป็นยีสต์ที่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีเช่นเดียวกัน ซึ่ง Domiguez *et. al.* (1997) พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลถึง 106 กรัมต่อลิตร จาก *D. hansenii* นอกจากนี้ยังมียีสต์ที่ให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลร่วมกับเอทานอลอีกด้วย ซึ่งพบใน *C. parasilopsis* ในสภาวะที่มีอากาศเล็กน้อย *C. shehatae* และ *P. tannophilus* เป็นยีสต์ที่ให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงสุด และมีการผลิตเอทานอลร่วมด้วย ซึ่งการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ จะแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

Microorganism	Time (h)	S <sub>0</sub> (g l <sup>-1</sup> )	Q <sub>s</sub> (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	% S cons.	P (g l <sup>-1</sup> )	Q <sub>p</sub> (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Y <sub>ph</sub> (g g <sup>-1</sup> )	Y <sub>pk</sub> (g g <sup>-1</sup> )	μ <sub>max</sub> (h <sup>-1</sup> )	Reference
<i>Candida tropicalis</i> HPX2	24	51	2.08	100	40	1.67	0.80	—	—	Gong et al. (1981)
<i>Pachysolen tannophilus</i> IIGB 0101	33-5-41	25-27	0.66-0.75	100	22.9-35.5	0.46-0.56	0.61-0.85	—	—	Dehus et al. (1983)
<i>P. tannophilus</i> ATCC32691; <i>P. tannophilus</i> PT15; <i>S. cerevisiae</i> SC138; <i>Candida</i> sp.; <i>Candida</i> sp. XF217	24-72	65-100	0.90-2.71	53.8-100	32-86	0.63-2.17	0.88-0.60	—	—	Gong et al. (1983)
<i>C. pelliculosa</i> + <i>Methanobacterium</i> HU	24	8.5	0.31	88.2	7.8	0.32	1	—	—	Kitprechavanich et al. (1984)
<i>Candida</i> sp. B-22	168	250	1.49	100	210	1.25	0.84	—	—	Chen & Gong (1985)
<i>P. tannophilus</i> RL 171	—	50	—	—	13.0	—	—	—	—	Woods & Millis (1985)
<i>C. shehatae</i> ATCC 22984	36	92	2.28	89	28	0.78	0.34	—	—	Sreenath et al. (1986)
<i>P. tannophilus</i> ATCC 32691	—	15-60	—	18.2	9.4-15	0.09	—	—	—	Thonart et al. (1987)
<i>P. tannophilus</i> NRRL 2460; <i>C. guilliermondii</i> FTI-20037	137.5-62.5	4-4.2	0.008-0.06	12.5-88.1	0.01-2.75	0.002-0.04	0.01-0.73	—	—	Lee et al. (1988)
<i>C. guilliermondii</i> FTI-20037	78	104	1.33	100	77.2	0.99	0.74	0.048	—	Barbosa et al. (1988)
<i>P. tannophilus</i> NRRL Y-2460; <i>C. shehatae</i> CSIR Y-492; <i>Pichia stipitis</i> CSIR Y-633	75-190	34-36	0.18-0.40	83.3-100	2-10	0.01-0.05	0.06-0.30	0.012-0.0158	—	Lighthouse et al. (1988)
<i>C. boidinii</i> n&z.ouseco; 2201	144-120	100	0.53-0.68	77-82	35-48.5	0.24-0.40	0.45-0.59	—	—	Vongsuwankeert & Tani (1989)
<i>Schizosaccharomyces pombe</i> Y-164	44	60	1.34	98.3	7	0.16	0.12	—	—	Lastick et al. (1989)
<i>C. pelliculosa</i> + <i>Methanobacterium</i> sp. HU	33	4.5	0.14	100	2	0.06	0.43	—	—	Nishio et al. (1989)
<i>Debaryomyces hansenii</i> DTIA 77	28	90	—	—	62.6	2.24	0.70	—	—	Girio et al. (1990)
<i>C. parapsilosis</i> ATCC 28474	—	10	0.28	44.2	1.37	0.087	0.31	0.32	—	Furlan et al. (1991)
<i>D. hansenii</i> DTIA-77	48	90	1.56	81	40.3	0.84	0.54	0.13	—	Roseiro et al. (1991)
<i>C. guilliermondii</i> NRC 5578	406	300	0.74	100	221	0.54	0.75	0.02	0.01	Meyrial et al. (1991)
<i>C. shehatae</i> ATCC 22984	120	75	0.63	100	4.8	0.04	0.64	—	—	Palnitkar & Lachke (1992)
<i>C. tropicalis</i> IFO 0618	—	172	—	—	—	2.67	0.64	—	—	Horitsu et al. (1992)
<i>C. guilliermondii</i> NRC 5578	49.0-59.5	50-52	0.84-0.98	92.3-99.8	18.4-27.3	0.31-0.56	0.37-0.57	0.03	—	Peschke et al. (1992)
<i>C. guilliermondii</i> FTI 20037	—	54.4	—	—	37	—	0.73	—	—	Felipe et al. (1993)
<i>C. guilliermondii</i> NRC 5578; <i>Candida parapsilosis</i> ATCC 28474	168.7-528.6	300-100	1.78-0.19	100	207-74	1.23-0.14	0.69-0.74	—	0.035-0.034	Nolleau et al. (1993)
<i>C. tropicalis</i> DSM 7524	70-800	155-300	0.34-0.5	91.5-100	95-220	0.28-1.35	0.50-0.74	—	—	da Silva & Afschar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

Microorganism	Time (h)	S <sub>0</sub> (g l <sup>-1</sup> )	Q <sub>s</sub> (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	% S cons.	P (g l <sup>-1</sup> )	Q <sub>p</sub> (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Y <sub>p/s</sub> (g g <sup>-1</sup> )	Y <sub>x/s</sub> (g g <sup>-1</sup> )	μ <sub>max</sub> (h <sup>-1</sup> )	Reference
<i>D. hansenii</i> DTIA 77	—	50	0.26–0.33	—	—	0.033–0.372	0.38–1.43	—	0.033–0.201	Girio <i>et al.</i> (1994)
<i>Candida</i> sp B-22	100	260	2.6	100	215	2.15	0.83	—	—	Cao <i>et al.</i> (1994)
<i>C. guilliermondii</i> FTI 20037	48	43	0.66	74	23.5	0.49	0.74	—	—	Silva <i>et al.</i> (1994)
<i>P. tannophilus</i> ATCC 32691;	200–117	50	0.43	100	3.0	0.03–0.26	0.16–0.61	—	—	Furlan <i>et al.</i> (1994)
<i>C. shehatae</i> NRRL Y17024;										
<i>C. parapsilosis</i> ATCC 28474										
<i>C. mogii</i> ATCC 18364	—	53	—	—	—	—	0.70	0.12	0.003	Sirisansameeyakul <i>et al.</i> (1995)
<i>C. parapsilosis</i> ATCC 28474;		100–300	0.23–0.67	—	—	0.17–0.44	0.75–0.66	0.05–0.03	0.01–0.025	Nolleau <i>et al.</i> (1995)
<i>C. guilliermondii</i> NRC 5578										
<i>C. boidinii</i> NRRL-Y17213	245–4–331–9	130–150	0.34–0.5	74.7–92	53.1–58.9	0.16–0.24	0.47–0.48	0.07–0.11	—	Vandeska <i>et al.</i> (1995a)
<i>Candida</i> sp L-102	65–5	114	1.74	99–91	100–1	0.46	0.88	0.025	—	Lu <i>et al.</i> (1995)
<i>C. shehatae</i> ATCC 22984	120–145	50	0.05–0.4	14–96	8.5–1.4	0.01–0.07	0.18–0.21	0.03	—	Hinfray <i>et al.</i> (1995)
<i>C. guilliermondii</i> FTI-20037	—	—	0.70	—	—	0.57	0.82	—	—	Felipe <i>et al.</i> (1995)
<i>C. tropicalis</i> IFO 0618	32–42	150	3.59–4.67	100	84.5–104.5	2.01–3.26	0.56–0.70	0.15–0.26	—	Yahashi <i>et al.</i> (1996a)
<i>C. tropicalis</i> IFO 0618	36–56	170	—	—	86.2–101.6	1.81–2.71	0.50–0.69	—	—	Yahashi <i>et al.</i> (1996b)
<i>C. boidinii</i> NRRL Y-17213	129–242–5	100–130	0.5–0.68	87.7–93	58.2–59.3	0.24–0.46	0.48–0.68	—	0.013–0.020	Vandeska <i>et al.</i> (1996)
<i>C. guilliermondii</i> FTI 20037	30	40	1.25	—	21.5	0.66	0.53	0.47	—	Pfeiler <i>et al.</i> (1996)
<i>C. entomaea</i> NRRL Y-7785;	70–96	50–68	0.49–0.93	80.9–100	21–39.1	0.22–0.55	0.41–0.60	—	—	Saha & Bothast (1996)
<i>Pichia guilliermondii</i> NRRL Y-2075; <i>C. guilliermondii</i> FTI 20037										
<i>C. shehatae</i> ATCC 22984	95	119	1.25	99.6	22	0.23	0.19	—	—	Kastner <i>et al.</i> (1996a)
<i>C. shehatae</i> ATCC 22984	507	115	—	35.5	—	—	0.21	—	—	Kastner <i>et al.</i> (1996b)
<i>C. boidinii</i> NRRL Y-17123	—	100	—	—	—	—	0.2	—	—	Winkelhausen <i>et al.</i> (1996)
<i>C. guilliermondii</i> FTI 20037	56–74	19–21	0.28–0.34	100	4–9	0.07–0.16	0.20–0.47	—	—	Lee <i>et al.</i> (1996)
<i>P. tannophilus</i> DSM 70352	—	—	—	—	5	0.24	0.26	—	—	Kruse & Schügerl (1996)
<i>D. hansenii</i> NRRL Y-7426	8	14.7	1.72	93.7	5.8	0.67	0.39	—	—	Parajó <i>et al.</i> (1996)
<i>C. parapsilosis</i> KFCC 10875	66	300	—	—	210	3.18	0.70	0.10	—	Kim <i>et al.</i> (1997)
<i>Xanthophylomyces dendrorhous</i> ATCC 24228	73	42	0.58	100	22	0.30	0.52	0.17	—	Parajó <i>et al.</i> (1997)
<i>D. hansenii</i> NRRL Y-7426	48	279	5.81	100	221	4.60	0.79	—	—	Dominguez <i>et al.</i> (1997)

ที่มา : Parajo *et al.* (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 . ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.2 อายุของหัวเชื้อที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

อายุของหัวเชื้อมีผลต่อกิจกรรมของเซลล์ และปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตมีผลต่ออัตราการผลิตและปริมาณผลผลิตด้วย (Sreenath *et. al.* 1986 ; Du Preez. 1994) Sreenath *et. al.* (1986) พบว่าเมื่อใช้ *C. shehatae* อายุ 24 ชั่วโมงเป็นหัวเชื้อจะผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ 20 กรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 22 ชั่วโมง (อัตราการผลิต 0.24 กรัมน้ำตาลไซลิทอลต่อกรัมน้ำตาลไซโลสต่อชั่วโมง) ขณะที่หัวเชื้ออายุ 72 ชั่วโมงผลิตได้เพียง 9 กรัมต่อลิตร และใช้เวลานานถึง 65 ชั่วโมง (อัตราการผลิต 0.13 กรัมน้ำตาลไซลิทอลต่อกรัมน้ำตาลไซโลสต่อชั่วโมง) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองใน *C. guilliermondii* ที่พบว่าอายุของหัวเชื้อมีผลต่อทั้งผลผลิตและการเจริญเติบโตของเซลล์เมื่อใช้หัวเชื้ออายุน้อยกว่า 15 ชั่วโมง และอายุมากกว่า 24 ชั่วโมง (Pfeifer *et. al.* 1996) นอกจากนี้ Felipe *et. al.* (1997) ก็ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยใช้เชื้อ *C. guilliermondii* เช่นกันและพบว่าเมื่อใช้หัวเชื้อที่อายุ 48 ชั่วโมง จะมีอัตราการผลิตต่ำกว่าเมื่อใช้หัวเชื้ออายุ 24 ชั่วโมง อยู่ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอายุหัวเชื้อที่เหมาะสมมักจะอยู่ในช่วงต้นเพราะพบว่าจะทำให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลสูงกว่า และมีอัตราการผลิตสูงกว่าหัวเชื้อที่มีอายุมาก แต่อายุที่เหมาะสมของเชื้อแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป

### 2.11.3 ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

Cao *et. al.* (1994) ได้ศึกษาการหมักน้ำตาลไซโลสด้วย *Candida* sp. ที่กลายพันธุ์ พบว่ามีการผลิตน้ำตาลไซลิทอลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณหัวเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 3.8 เป็น 14 กรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับ Dominguez *et. al.* (1997) ทำการศึกษาเชื้อ *D. hansenii* จาก 0.3 ถึง 3 กรัมต่อลิตร พบว่า มีอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอลเพิ่มสูงขึ้น (พิจารณาจากอัตราการผลิต 0.68 ถึง 2.25 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) Vandeska *et. al.* (1995) พบว่าเมื่อปริมาณชีวมวลเพิ่มมากขึ้น อัตราการผลิตและผลผลิตจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่แนวโน้มของอัตราการผลิตจำเพาะเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณเซลล์เริ่มต้นต่อปริมาณสับสเตรทเริ่มต้น ( $X_0/S_0$ ) เข้าใกล้ 1/10 นั้นจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม ดังนั้นปริมาณหัวเชื้อจึงมีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วย โดยพบว่าถ้ามีความเข้มข้นของหัวเชื้อมาก จำนวนเซลล์ย้อมเพิ่มมากขึ้นทำให้มีอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงและรวดเร็วขึ้น

นอกจากการศึกษาคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอล เช่น อัตราการให้อากาศ ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส และพีเอช เป็นต้น โดย Gong *et. al.* (1981) รายงานว่า น้ำตาลไซโลสเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลิทอลได้สูงสุดที่พีเอช 7.0 และที่พีเอชลดลงอยู่ในช่วงที่เป็นกรดจะทำให้การผลิตน้ำตาลไซลิทอลลดลง จากการศึกษาของ Vandeska *et. al.* (1995) พบว่าอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของ *C. boidinii* สูงสุดเมื่อหมักในสภาวะที่มีพีเอช 7.0 แต่ผลได้สูงสุดอยู่ที่พีเอช 8.0 นอกจากนี้แล้ว Silva and Afschar. (1994) ได้รายงานว่ *C. tropicalis* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ที่พีเอช 2.5 และการเพิ่มค่าพีเอชจาก 2.5 เป็น 4.0 ทำให้อัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอลสูงขึ้น แต่ผลได้ของน้ำตาลไซลิทอลกลับลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.11.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้

ปริมาณออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งในการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิตอลโดยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ ความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นจึงมักศึกษาควบคู่กันไป เพื่อให้สามารถอธิบายถึงอิทธิพลที่แท้จริงของปัจจัยทั้งสอง การให้อากาศที่เหมาะสมขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นและลักษณะของการหมัก ซึ่งการให้อากาศจะกระตุ้นการขนส่งน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ในยีสต์บางชนิด เช่น *Candida*, *Hansenula*, *Kluyveromyces* และ *Pichia* ซึ่งต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการดูดซึมน้ำตาล การให้อากาศกับอาหารเลี้ยงเชื้อในช่วงการหมักจะทำให้เพิ่มการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสไปเป็นน้ำตาลไซลิตอล เพราะการผลิตน้ำตาลไซลิตอลเป็นผลผลิตที่เกิดควบคู่กับการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเผาผลาญโคบอลทิน (Nigam and Singh, 1995)

Furlan *et. al.* (1991) ; Kim *et. al.* (1997) ทำการศึกษาปัจจัยของอากาศใน *C. parapsilosis* ซึ่งพบว่าการให้อากาศมากเกินไปจะส่งผลให้เซลล์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว น้ำตาลไซลิตอลที่ผลิตขึ้นจะเปลี่ยนเป็น NADH และน้ำตาลไซลูโลสและน้ำตาลไซลิตอลลดลง

Furlan *et. al.* (1994) ได้ทำการทดลองพบว่าเชื้อ *C. tropicalis* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิตอลได้ 30 กรัมต่อลิตร ในเวลา 117 ชั่วโมง เชื้อ *P. tannophilus* และ *C. shehatae* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิตอลได้ 12.5 กรัมต่อลิตร และ 6.0 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลที่ได้นี้เป็นผลมาจากสภาวะที่มีการให้อากาศน้อยและสามารถสรุปได้ว่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนเป็นหลักสำคัญในการผลิตน้ำตาลไซลิตอล

Horitsu *et. al.* (1992) รายงานถึงผลกระทบที่มีต่อน้ำตาลไซลิตอลโดยในตอนแรกควรพิจารณาถึงความเร็วในการเพิ่มปริมาณเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ อย่างไรก็ตามการผลิตน้ำตาลไซลิตอลภายใต้สภาวะ anoxic และเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในอาหารในช่วงระหว่างการหมักจะนำไปสู่การผลิตน้ำตาลไซลูโลสโดยการไฮโดรจีเนชันของน้ำตาลไซลิตอลที่เกิดขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยการเพิ่มระดับการละลายออกซิเจนที่มีความต้องการเฉพาะขึ้นตอนเริ่มต้นในการหมักเท่านั้น แต่หลังจากนั้นควรลดระดับการให้อากาศ โดยในเชื้อ *C. tropicalis* สามารถเพิ่มการสะสมน้ำตาลไซลิตอลภายใต้ปริมาณออกซิเจนที่จำกัด

Horitsu *et. al.* (1992) ; Nollet *et. al.* (1993) ; Roseiro *et. al.* (1991) พบว่าสภาวะการให้อากาศจะมีผลต่ออัตราการผลิตที่ดีที่สุดและขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นด้วย ถ้าความเข้มข้นสูงอัตราการให้อากาศควรจะสูงด้วย นอกจากนี้การให้อากาศยังขึ้นอยู่กับเซลล์ด้วยว่าเซลล์อยู่ในรูปเซลล์อิสระหรือเซลล์ตรึง เนื่องจากอัตราการส่งผ่านออกซิเจนที่ทำให้เกิดสภาวะที่มีอากาศเล็กน้อย (microaerophilic condition) แก่เซลล์อิสระนั้นอาจทำให้เกิดสภาวะที่ไม่มีอากาศ (anaerobic condition) ในเซลล์ตรึง เนื่องจากข้อจำกัดในการแพร่ที่เกิดจากการถ่ายเทมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meyrial *et. al.* (1991) ทำการศึกษาความสามารถในการผลิตของเชื้อ *C. guilliermondii* ซึ่งใช้น้ำตาลไซโลสและ non-hemicellulose ซึ่งทำการข่อยให้ได้น้ำตาล ในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยได้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอล 0.63 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส ได้เอทานอลปริมาณเล็กน้อยจากน้ำตาลไซโลส ส่วนน้ำตาลที่ไม่ใช้น้ำตาลไซโลสถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลและเซลล์จุลินทรีย์ การผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดย *D. hansenii* ต้องการสภาวะ semi-aerobic โดยเริ่มจากสภาวะที่มีออกซิเจนเพื่อเพิ่มการสะสม reduced-adenine-dinucleotide-coenzyme ให้มีความสมบูรณ์พร้อมจะให้เกิดปฏิกิริยาออกซิโดสซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลไซลิทอล

Peschke *et. al.* (1992) ได้ศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดย *C. guilliermondii* เมื่อทำการให้ออกซิเจนในปริมาณเท่าเดิม (อากาศอิ่มตัว 5 เปอร์เซ็นต์) พบว่าเซลล์อิสระให้น้ำตาลไซลิทอล 27.3 กรัมต่อลิตร (อัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอล 0.70 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้ของน้ำตาลไซลิทอลเท่ากับ 0.64 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส) แต่เซลล์ที่ตรึงด้วยแคลเซียมแอลจิเนต (Ca-alginate) นั้นให้น้ำตาลไซลิทอลเพียง 18.4 กรัมต่อลิตร (อัตราการผลิตน้ำตาลไซลิทอล 0.43 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้ของน้ำตาลไซลิทอลเท่ากับ 0.78 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส) ซึ่งเห็นได้ว่าการให้ออกซิเจนที่ต่ำขณะทำการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการตรึงเซลล์จะทำให้การผลิตน้ำตาลไซลิทอลลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนสามารถแทรกเข้าไปภายในของเจลได้เมื่อทำการหมักที่อัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูงเท่านั้น ดังนั้นเมื่อเซลล์อยู่ในรูปเซลล์ตรึงการให้ออกซิเจนเมื่อเทียบกับเซลล์อิสระต้องสูงกว่าเพื่อให้เกิดการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในเม็ดเจลได้

ปริมาณออกซิเจนจะมีผลต่อปริมาณเซลล์ซึ่งจะมีผลต่อเนื้อไปซึ่งผลผลิตที่ได้ ถ้าให้ออกซิเจนต่ำเกินไปเซลล์จะเจริญไม่ดีและตายได้ แต่ถ้าให้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาปริมาณออกซิเจนที่สูงมีผลทำให้น้ำตาลไซลิทอลถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลูโลสแทน จึงอาจจะใช้วิธีให้ออกซิเจนสูงในช่วงแรกเพื่อให้เกิดเซลล์จำนวนมากก่อนแล้วลดการให้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

Sirisansaneyakul *et. al.* (1992) ได้รายงานไว้ว่า สภาวะที่ขาดออกซิเจนการสังเคราะห์โคเอนไซม์ NADH ด้วยกระบวนการหายใจนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ไซลิทอลดีไฮโดรจีเนสที่จะเปลี่ยนน้ำตาลไซลิทอลต่อไปเป็นน้ำตาลไซลูโลสในวิถีเพนโตสฟอสเฟต จึงเกิดการสะสมน้ำตาลไซลิทอลมากขึ้นและส่งผ่านออกนอกเซลล์เป็นผลทำให้ได้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการให้ออกซิเจนจึงมีความสำคัญต่อการเจริญและการใช้น้ำตาล สำหรับการผลิตน้ำตาลไซลิทอลนั้นการให้ออกซิเจนมากเกินไปทำให้เซลล์มีการเจริญอย่างรวดเร็วและมีปฏิกิริยาของเอนไซม์ไซลิทอลดีไฮโดรจีเนสสูง ดังนั้นน้ำตาลไซลิทอลที่ผลิตขึ้นจึงถูกออกซิโดสไปเป็นน้ำตาลไซลูโลสพร้อมกับการสังเคราะห์ NADH ทำให้ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลที่เกิดขึ้นลดลง (Furlan *et. al.* 1991) การลดอัตราการให้ออกซิเจนจะทำให้อัตราการใช้น้ำตาลไซโลสและการเจริญลดลงแต่ผลได้ของน้ำตาลไซลิทอลสูงขึ้น (Silva and Afschar. 1994 ; Silva *et. al.* 1996 ; Sirisansaneyakul *et. al.* 1992 ; Vandeska *et. al.* 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.5 แหล่งไนโตรเจนในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

ถ้าไม่รวมน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน องค์ประกอบที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลอย่างมากคือไนโตรเจน โดยลักษณะและความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนมีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลขึ้นกับชนิดของยีสต์ โดยทั่วไปแหล่งไนโตรเจนที่ให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ดีคือแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์เพราะให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลสูงกว่าและผลิตได้ดีกว่า เช่น การผลิตน้ำตาลไซลิทอลจาก *C. boidinii* เมื่อใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนแทนแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าให้ผลผลิตสูงขึ้นกว่าเดิม (Vandeska *et. al.* 1995) และพบว่าเชื้อชนิดนี้เมื่อใช้ยีสต์สกัด (yeast extract) จะให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อเทียบกับแหล่งไนโตรเจนอื่น (Vongsuvanlert and Tani. 1989) และการศึกษาใน *C. shehatae* พบว่าถ้าใช้แหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์จะทำให้เชื้อใช้ไซโลสได้ดีขึ้น (Palnitkar and Lachke. 1990) นอกจากนี้ Sirisansaneeyakul *et. al.* (1995) ซึ่งทำการศึกษาใน *C. mogii* พบว่าอาหารที่มีการเติมยีสต์สกัดและเปปโตเนสไปจะช่วยให้การเจริญและการผลิตน้ำตาลไซลิทอลดีขึ้น แต่บางครั้งแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์ก็ให้ผลลบเมื่อเทียบกับเมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น *C. guilliermondii* จะมีอัตราการผลิตลดลงเมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เมื่อเทียบกับแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟตหรือแอมโมเนียมคลอไรด์ แต่ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

Barbosa *et. al.* (1988) กล่าวถึงความสำคัญของแหล่งไนโตรเจนและการให้อากาศว่ามีผลกับการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากน้ำตาลไซโลสโดยยีสต์บางสายพันธุ์ใน *S. cerevisiae* วิถีเพนโดสฟอสเฟตควบคุมโดยไนโตรเจนและเกลือแอมโมเนียมซึ่งพบว่าสามารถกระตุ้นการเกิดออกซิเดทีฟในวิถีเพนโดสฟอสเฟต เพราะเอนไซม์ D-glucose-6-phosphate dehydrogenase จะถูกยับยั้งโดย NADH ใน *P. tannophilus* เกลือแอมโมเนียมจะลดระดับ NADH ของเอนไซม์ D-glucose-6-phosphate dehydrogenase ภายในเซลล์และเพิ่มกิจกรรมของการออกซิเดทีฟในวิถีเพนโดสฟอสเฟต

Dahiya. (1991) พบว่า *C. shehatae* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลในปริมาณมาก ขึ้นอยู่กับแหล่งไนโตรเจนเพราะเป็นการเพิ่มระดับของเอนไซม์ xylitol dehydrogenase ได้ซึ่งผลกระทบในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจากแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ 8 ชนิด และสารอินทรีย์ 4 ชนิด พบว่าปริมาณน้ำตาลไซลิทอลสูงสุดที่ได้คือ 16.7 กรัมต่อลิตร และ 30.6 กรัมต่อลิตร โดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตต และยีสต์สกัดตามลำดับ

Horitsu *et. al.* (1992) ใช้ยีสต์สกัดเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 3, 10 และ 20 กรัมต่อลิตร พบว่าได้ผลผลิตสูงสุด 1.78 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง เมื่อใช้ยีสต์สกัด 20 กรัมต่อลิตรด้วยอัตราการไหล 400 มิลลิลิตรต่อนาที ให้อากาศที่มีออกซิเจน 90 % และน้ำตาลไซโลส 100 กรัมต่อลิตร

Onishi and Suzuki. (1980) พบว่า *Pichia* sp. ผลิตโพลีออลเป็นผลมาจากอัตราส่วนของคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน ปริมาณโพลีออลจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schneider *et. al.* (1981) ได้ทำการวิเคราะห์สารอาหารต่าง ๆ โดยไม่พิจารณาแหล่งคาร์บอน ในฐานะที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต ก็พบว่ามีการลดลงของ doubling time เมื่อใช้อาหาร YNB ที่ไม่เติมกรดอะมิโน

ดังนั้นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุดควรจะเป็นสารอินทรีย์แต่บางกรณีเมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์จะให้ผลผลิตดีกว่าซึ่งต้องเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนโดยขึ้นกับชนิดของเชื้อว่าเหมาะสมกับการใช้แหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์

### 2.11.6 ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส

ความเข้มข้นของสับสเตรทสูงในช่วงเริ่มต้นของการผลิตน้ำตาลไซลิตอลจะเหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่เป็น osmophilic โดยทั่วไปการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลในช่วงแรกของการหมักแบบชั่วคราวจะนำไปสู่การเพิ่มอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ ถ้าจุลินทรีย์สามารถทนต่อความเข้มข้นสูงของน้ำตาลและแรงดันออสโมซิสได้ (Nigam and Singh. 1995)

Sirisansaneyakul *et. al.* (1992) ได้รายงานว่าการใช้ *C. mogii* ที่เจริญได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด (ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที) โดยให้มีความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส 5-35 กรัมต่อลิตร พบว่าอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิตอลจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสเริ่มต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ผลของความเข้มข้นน้ำตาลไซโลสที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลไซลิตอล

ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณชีวมวล (กรัมต่อกรัม)	ปริมาณน้ำตาลไซลิตอล (กรัมต่อกรัม)
5.3	0.46	0.00
10.1	0.29	0.17
19.3	0.18	0.44
28.9	0.16	0.50
35.3	0.12	0.70

ที่มา : Sirisansaneyakul *et. al.* (1992)

Horitsu *et. al.* (1992) ได้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสในการเลี้ยงเชื้อ *C. tropicalis* เป็น 100-500 กรัมต่อลิตร และมีอัตราการให้อากาศสูง 400 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้อากาศที่มีออกซิเจน 90% พบว่าอัตราการผลิตน้ำตาลไซลิตอลเพิ่มขึ้นเป็น 2.44 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง จากเดิม 1.78 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสกับการให้อากาศมีความสัมพันธ์กับ

เอกสารความเข้มข้นของเซลล์ซึ่งทำให้การผลิตน้ำตาลไซลิตอลสูงตามไปด้วยให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meyrial *et al.* (1991) ศึกษาความจำเพาะต่อสับสเตรทของ *C. guilliermondii* ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสเริ่มต้นจาก 10-300 กรัมต่อลิตร การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตและปริมาณน้ำตาลไซลิตอลที่เพิ่มขึ้นจากน้ำตาลไซโลสในอาหารเลี้ยงเชื้อ ปริมาณสูงสุดที่ได้เมื่อใช้น้ำตาลไซโลส 300 กรัมต่อลิตร ได้ผลผลิต 0.75 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส ซึ่งคิดเป็น 82.6% ของปริมาณทั้งหมดทางทฤษฎี ความเข้มข้นของน้ำตาลไซลิตอลต่ำเนื่องจากถูกนำไปในการเพิ่มจำนวนเซลล์เป็นหลัก อัตราการผลิตน้ำตาลไซลิตอลเมื่อน้ำตาลไซโลสเป็น 2.4 เท่าจะสูงกว่าปริมาณที่ได้จากน้ำตาลไซโลส 10 กรัมต่อลิตร

### 2.11.7 การเติมน้ำตาลชนิดอื่นลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นร่วม

มีการศึกษาการใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารตั้งต้นร่วมในการผลิตน้ำตาลไซลิตอล ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 การใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารตั้งต้นร่วมในการผลิตน้ำตาลไซลิตอล

Microorganism	Operational conditions	Xylose (g l <sup>-1</sup> )	Glucose (g l <sup>-1</sup> )	Time P (h)	P (g l <sup>-1</sup> )	Q <sub>p</sub> (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Y <sub>P/S</sub> (g g <sup>-1</sup> )	Cells (g l <sup>-1</sup> )	Y <sub>X/S</sub> (g g <sup>-1</sup> )	Reference
<i>C. guilliermondii</i>	v/V = 1/2.5/200 rpm/30°C	54.43	0	37.01	0.73					Felipe <i>et al.</i> (1993)
		56.78	2.60	35.39	0.77					
		60.53	6.86	25.31	0.69					
		57.27	12.32	18.14	0.66					
		60.66	21.87	12.92	0.44					
		59.55	33.16	9.42	0.37					
<i>C. guilliermondii</i>	Anaerobiosis (N <sub>2</sub> )/ pH = 6/30°C	14	0	20	1	0.05	-	-	-	Nolleau <i>et al.</i> (1995)
		14	16	8	1.5	0.19	0.75	2	1	
<i>C. parapsilosis</i>	Anaerobiosis pH = 6/30°C	10	0	10	-	-	-	-	-	Nolleau <i>et al.</i> (1995)
<i>C. tropicalis</i>	Column reactor with 200 ml working volume	150	0*	42	84.5	2.01	0.56	23.1		Yahashi <i>et al.</i> (1996a)
		150	5*	36	94.0	2.61	0.63	34.8		
		150	10*	42	102.2	2.43	0.68	37		
		150	15*	42	98	2.33	0.65	38		
		150	20*	42	100	2.38	0.74	42		
		150	0	32	93.9	2.94	0.63	22.7		
		150	10*	32	104.5	3.26	0.70	40.1		
<i>C. guilliermondii</i>	Batch/300 rpm/ 0.46 vvm/30°C	65	0	-	-	0.55	0.60	-	0.06	Silva <i>et al.</i> (1996)
		65	15	-	-	0.31	0.41	-	0.06	
<i>C. boidinii</i>	Fed-batch/0.75 vvm/ 150 rpm	1†	0	-	46.50	0.34	0.64	20.98		Vandeska <i>et al.</i> (1996)
		1†	0.1†	-	39.41	0.33	0.57	20.20		

ที่มา : Parajo *et al.* (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นรินทร์. (2541) พบว่าการเติมน้ำตาลกลูโคสในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. mogii* ATCC 18364 และการเกิดน้ำตาลไซลิทอลในสภาวะที่จำกัดออกซิเจนโดยการเติมน้ำตาลกลูโคสลงไปเป็นปริมาณน้อยมากเพื่อไม่ให้เกิดการยับยั้งน้ำตาลไซโลส ในกรณีนี้ น้ำตาลกลูโคสจะช่วยเพิ่มปริมาณ NADPH ในเมแทบอลิซึมของยีสต์และการเจริญเติบโตแทนการใช้ น้ำตาลไซโลสจึงทำให้น้ำตาลไซโลสเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลไซลิทอลมากขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลไซลิทอลสูงขึ้นด้วย โดยปริมาณกลูโคสที่เหมาะสมที่ให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลสูงคือ 2.3 กรัมต่อการทดลอง (ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 2 ลิตร ปริมาณที่ใช้หมักเท่ากับ 1.5 ลิตร) ทำให้ได้น้ำตาลไซลิทอล 0.854 กรัมต่อกรัม น้ำตาลไซโลส อัตราการผลิตเท่ากับ 0.255 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ค่าผลได้เพิ่มขึ้น 1.24 เท่า และอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 1.36 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงเชื้อชนิดเดียวกันซึ่งไม่มีการเติมน้ำตาลกลูโคส

Haiiao *et. al.* (1982) รายงานว่าการเติมน้ำตาลกลูโคสมีผลยับยั้งการใช้ น้ำตาลไซโลสใน *Candida* และ *Shizosaccharomyces* กลูโคสจะยับยั้งการใช้ น้ำตาลไซโลสในระยะเวลาอันรวดเร็วและเมื่อความเข้มข้นของ น้ำตาลกลูโคสลดลง ความสามารถในการเปลี่ยน น้ำตาลไซโลสจะเพิ่มขึ้นในช่วงสั้น ๆ นี้จะทำให้การดูดซึม น้ำตาลไซโลสกลับคืนมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงออกโดยลักษณะ catabolic repression ไม่ใช่การควบคุมที่กลไกการสังเคราะห์ของยีน หลักฐานที่สนับสนุนความคิดนี้ค่อนข้างจะเป็นการอธิบายถึง น้ำตาลไซโลสส่วนใหญ่ว่าไม่ active หรือเกิดการยับยั้งในขณะที่มี น้ำตาลกลูโคสในช่วงที่มีการแทนที่ น้ำตาลอื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์เมื่อมี น้ำตาลกลูโคสหรือตัวเร่งปฏิกิริยา

Sreenath and Jeffries. (1996) รายงานว่าเมื่อมี น้ำตาลกลูโคส *C. shehatae* จะใช้ น้ำตาลไซโลสได้เร็วขึ้นแต่ให้ผลผลิตลดลงแม้ว่าอัตราการผลิตจะเพิ่มขึ้นก็ตาม

Yahashi *et. al.* (1996) พบว่าเมื่อเติมน้ำตาลกลูโคสลงไปเป็นสารตั้งต้นร่วมนั้นมีผลดีเนื่องจาก น้ำตาลไซโลสจะเปลี่ยนเป็น น้ำตาลไซลิทอลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเซลล์จะมีการเจริญได้ดีกว่าใช้น้ำตาลไซโลสเพียงอย่างเดียวจึงสามารถผลิต น้ำตาลไซลิทอลได้สูงขึ้น และ น้ำตาลกลูโคสยังช่วยเพิ่ม NADPH เมื่อเกิดเมแทบอลิซึมของกลูโคสในวิถีเพนโทสฟอสเฟตอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Nollean *et. al.* (1993); Pfeifer *et. al.* (1996) แต่บางครั้งการเติมน้ำตาลกลูโคสอาจทำให้เกิดการยับยั้งเอนไซม์ xylose reductase ทำให้ได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร (Felipe *et. al.* 1997; Vandeska *et. al.* 1995)

### 2.11.8 ความเข้มข้นของน้ำตาลไซลิทอล

Kastner *et. al.* (1996) พบว่ามีการยับยั้งการผลิต น้ำตาลไซลิทอลใน *C. shehatae* โดยได้น้ำตาลไซลิทอลเพียง 50 กรัมต่อลิตรเท่านั้น ทั้งนี้จะมาจากความเข้มข้นของ น้ำตาลไซลิทอลภายใน น้ำหมักสูงขึ้น การขนถ่าย น้ำตาลไซลิทอลออกนอกเซลล์จะเริ่มลดลงเกิดการสะสมของ

น้ำตาลไซลิทอลภายในเซลล์และยับยั้งการผลิตได้ นอกจากนี้ Sirisansancyakul *et. al.* (1995) ก็ได้พบการยับยั้งแบบนี้เช่นเดียวกันเมื่อทำการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดย *C. mogii* โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลไซลิทอลในน้ำหมักสูงถึง 100 กรัมต่อลิตร อัตราการผลิตจำเพาะและผลผลิตที่ได้จะลดลง ยกเว้นในยีสต์บางชนิด เช่น *D. hansenii* ที่สามารถใช้น้ำตาลไซลิทอลได้ในบางสภาวะ เช่นเมื่อสารตั้งต้นถูกใช้จนหมด (Nolleau *et. al.* 1993) นอกจากนี้เชื้อ *P. tannophilus* ที่อยู่ในน้ำหมักที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลไซลิทอลสูงมากและอยู่ในสภาวะที่มีอากาศจะสามารถนำน้ำตาลไซลิทอลไปใช้ได้ และได้ผลผลิตออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และผลผลิตอื่นที่ไม่สามารถระบุได้ (Xu and Taylor. 1993) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในการใช้น้ำตาลไซลิทอลและการผลิตไรโบฟลาวิน (riboflavin) ใน *C. guilliermondii* อีกด้วย (Leather and Gupta. 1997)

### 2.11.9 การเติมเมทานอล

Furlan *et. al.* (1994) รายงานว่าการเติมเมทานอลสามารถเพิ่มการผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ถึง 39.8 กรัมต่อลิตร คิดเป็น 8.5% เมื่อใช้อาหารไซโลสที่มีการเติมด้วยเมทานอล 1% (ปริมาตรต่อปริมาตร) ซึ่งทำให้เกิดออกซิเดชันของเมทานอลส่งผลให้ได้ผลผลิตเป็น NADH ทำให้มีปริมาณมากพอที่จะเกิดรีดักชันของน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลไซลูโลสทำให้เกิดน้ำตาลไซลิทอล ในกรณีที่เป็นการผลิตน้ำตาลซอร์บิทอลและไรบิทอลโดยยีสต์สามารถใช้เมทานอลเช่น *C. boidinii* และการเติม เมทานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถเพิ่มการผลิตน้ำตาลไซลิทอลให้มากขึ้นได้

### 2.11.10 ปริมาณไบโอติน (Biotin)

Lee *et. al.* (1987) รายงานว่าปริมาณเอทานอลและน้ำตาลไซลิทอลจะสะสมในน้ำหมักในการเลี้ยงแบบครั้งคราวของเชื้อ *P. tannophilus* และ *C. guilliermondii* ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไบโอติน โดยในอาหารที่มีไบโอตินสูง เชื้อ *P. tannophilus* จะสะสมเอทานอลมากกว่าน้ำตาลไซลิทอล ในขณะที่ *C. guilliermondii* จะสะสมน้ำตาลไซลิทอลได้มากกว่าเอทานอล

### 2.11.11 ฟีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลขึ้นกับชนิดของยีสต์ซึ่งทำให้ยีสต์เจริญได้ดีและผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงขึ้น แต่พีเอชที่เหมาะสมของยีสต์แต่ละชนิดก็แตกต่างกันไป ซึ่งมีตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้

จุลินทรีย์	พีเอชที่เหมาะสม	เอกสารอ้างอิง
<i>Debaryomyces hansenii</i>	5.5	Dominguez <i>et. al.</i> (1997)
<i>Candida</i> sp.	4.0-6.0	Cao <i>et. al.</i> (1996)
<i>C. boidinii</i>	7.0	Vandeska <i>et. al.</i> (1995) Vonsuvanlert และ Tani (1989)
<i>C. parasilopsis</i>	4.5-5.0	Nolleau <i>et. al.</i> (1995)
<i>C. guilliermondii</i>	6.0	Nolleau <i>et. al.</i> (1995)
<i>C. tropicalis</i>	4.0	Yahashi <i>et. al.</i> (1996)

ที่มา : Parajo *et. al.* (1997)

วรสิทธิ์. (2541) ทำการศึกษาผลของพีเอชต่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของเชื้อ *C. mogii* ATCC 18364 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลไซลิทอลแตกต่างกันโดยทำการเลี้ยงสองระยะ ระยะแรกเป็นการเลี้ยงเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์จะทำให้การเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่มีการให้อากาศเพียงพอ พีเอชที่เหมาะสมในระบายนี้อคือ 4.5 ทำให้ได้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.046 ต่อชั่วโมง ระยะที่สองเป็นระยะการจำกัดปริมาณอากาศ พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในระบายนี้อเท่ากับ 6.0 ทำให้ได้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ 0.71 กรัมต่อน้ำตาลไซโลสคิดเป็น 77.96% ของผลได้ตามทฤษฎี

Gong *et. al.* (1981) รายงานว่าปริมาณน้ำตาลไซโลสที่เปลี่ยนเป็นน้ำตาลไซลิทอลมากที่สุดจะเกิดที่พีเอช 8.0 และเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาลไซลิทอลที่เกิดขึ้นเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงแรกที่มีพีเอช 6.0-7.0 โดย *P. tannophilus* ที่พีเอช 6.0 โดย *C. guilliermondii* และที่พีเอช 4.0 โดย *C. tropicalis*

#### 2.11.12 อุณหภูมิ

ยีสต์สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 24-45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของยีสต์จึงแตกต่างกันไปตามชนิดของยีสต์ แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นผลผลิตที่ได้ก็จะลดลง แต่มียีสต์บางสายพันธุ์ที่มีช่วงอุณหภูมิต่างไปจากนี้ และพบว่า *P. tannophilus* สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยขึ้นกับว่าใช้น้ำตาลชนิดใดเป็นแหล่งคาร์บอน และพบว่าเมื่อใช้น้ำตาลไซโลสเป็นแหล่งคาร์บอน อุณหภูมิที่เหมาะสมก็จะเปลี่ยนเป็น 31 องศาเซลเซียส และมีรายงานว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30-37 องศาเซลเซียส *P. tannophilus* จะผลิตน้ำตาลไซลิทอลลดลง (Barbosa *et. al.* 1988) ส่วน *C. guilliermondii* สามารถเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แต่ผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ในความเข้มข้นที่สูงที่สุดและให้ผลผลิตสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้หนังสือเรียบร้อยแล้ว  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Cao *et. al.* (1994) ; Dominguez *et. al.* (1997) พบว่าการผลิตน้ำตาลไซลิทอลจะคงที่เมื่ออุณหภูมิเป็น 35-40 องศาเซลเซียส สำหรับ *Candida sp.* และ 28-37 องศาเซลเซียสสำหรับ *D. hansenii*

## 2.12 อาหารเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมัก

ในกระบวนการหมักอาหารเลี้ยงเชื้อจะเป็นส่วนที่ให้จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต โดยอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีสารอาหารหลักจำพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้อาหารต่างชนิดกันเช่น น้ำตาลกลูโคส แมนโนส กาแลคโตส อาราบิโนส และไซโลส เป็นต้น ซึ่งเชื้อยีสต์มีอัตราการใช้สารอาหารแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยพบว่าน้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนที่เชื้อจุลินทรีย์โดยส่วนมากใช้ได้ดีที่สุด (Lu *et. al.* 1995) Meyrial *et. al.* (1991) พบว่า *C. guilliermondii* ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด เมื่อใช้แหล่งอาหารคาร์บอนชนิดต่าง ๆ พบว่ามีการใช้น้ำตาลกลูโคส แมนโนส และกาแลคโตส เร็วกว่าใช้น้ำตาลไซโลส 2.2 1.8 และ 1.5 เท่าตามลำดับ ซึ่งน้ำตาลเฮกโซสเหล่านี้ใช้ในการเติบโตและผลิตเอทานอลเท่านั้น โดยไม่เปลี่ยนเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ดังนั้นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อจึงเป็นตัวสำคัญที่มีผลต่อการเติบโตของเซลล์และการเกิดผลิตภัณฑ์ของกระบวนการหมัก

## 2.13 พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อกับกระบวนการหมัก

พีเอชของน้ำหมักในระหว่างกระบวนการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในกรณีที่การเพาะเลี้ยงใช้แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน ค่าพีเอชมีแนวโน้มที่จะลดลงเพราะแอมโมเนียมเมื่ออยู่ในสารละลายจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4^+$ ) เมื่อจุลินทรีย์นำเข้าสู่เซลล์จะอยู่ในรูป  $\text{R-NH}_3^+$  ซึ่งปลดปล่อย  $\text{H}^+$  ออกสู่น้ำหมัก ถ้าใช้ในเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน  $\text{H}^+$  ในน้ำหมักจะถูกใช้เพื่อรีดิวซ์  $\text{NO}_3^{2-}$  ไปเป็น  $\text{R-NH}_3^+$  ทำให้ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ถ้าจุลินทรีย์ใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งไนโตรเจนค่าพีเอชก็จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก หรือกรดไพรูวิก เป็นต้น ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดผลิตภัณฑ์ของกระบวนการหมัก โดยส่วนใหญ่จะเจริญในช่วงพีเอช 3.0-4.0 ซึ่งพีเอชที่จุลินทรีย์เจริญได้ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงแคบ ๆ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยการใช้บัฟเฟอร์หรือการใช้ระบบควบคุมพีเอช (Du Preez *et. al.* 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 เมแทบอลิซึมของน้ำตาลไซลิทอลในร่างกายมนุษย์

เมแทบอลิซึมของน้ำตาลไซลิทอลในร่างกายมนุษย์เกิดขึ้นสองตำแหน่งคือ การดูดซึมบริเวณลำไส้โดยกระบวนการ passive diffusion และเกิดการเผาผลาญโดยตรงที่ตับ (Smith, 1962) การดูดซึมจะเป็นไปอย่างช้า ๆ แต่ในกรณีที่ได้รับน้ำตาลไซลิทอลปริมาณมากเกินไปการดูดซึมที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดอาการท้องเสียได้ สำหรับปริมาณน้ำตาลไซลิทอลที่แนะนำให้บริโภคได้คือไม่เกิน 60 กรัมต่อวัน แต่ถ้าบริโภคติดต่อกันนานจะสามารถบริโภคได้มากขึ้น ส่วนการเผาผลาญน้ำตาลไซลิทอลที่ตับนั้นไซลิทอลจะถูกออกซิไดส์เป็น D-xylulose แล้วเปลี่ยนไปเป็น D-xylulose-5-phosphate แล้วเข้าสู่วิถีเพนโทสฟอสเฟตเพื่อเปลี่ยนเป็น fructose-6-phosphate แล้วกลายเป็นน้ำตาลกลูโคสซึ่งจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนสะสมไว้ที่ตับต่อไป และเนื่องจากการเผาผลาญน้ำตาลไซลิทอลไม่ขึ้นกับอินซูลิน ดังนั้นจึงไม่เกิดสภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหรือน้ำตาลในเลือดต่ำ และน้ำตาลไซลิทอลให้พลังงานเพียง 4 กิโลแคลอรีเท่ากับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นทำให้มีผลต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

## 2.15 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) องค์ประกอบทั้งสามจะมีปริมาณแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด เนื้อเยื่อ อายุ สภาวะแวดล้อมในการเจริญ สภาพทางสรีระวิทยา โดยทั่วไปเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชจะอยู่ในรูปลิกโนเซลลูโลส โดยอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Norkrans, 1967 ; Kirk, 1983) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส 40-60 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 20-30 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 15-30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง น้ำตาลไซโลสจะอยู่ในส่วนของเฮมิเซลลูโลสในรูปของไซแลน (xylan) โดยเรียงต่อกันเป็นสายยาว (โพลีเมอร์; polymer)

### 2.15.1 เซลลูโลส

เป็นโพลีเมอร์ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสชนิดเดียว (homopolysaccharide) ประมาณ 3,000-10,000 โมเลกุล ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 ทำให้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นสายยาว น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา (วิเชียร, 2532) เซลลูโลสไม่ละลายในสารละลายต่างและกรดที่อุณหภูมิห้อง (Jackson, 1977 ; Marsden and Gray, 1986) แต่ละลายในสารละลายกรดที่ความเข้มข้นสูง (8 เปอร์เซ็นต์) และที่อุณหภูมิสูงในช่วง 120-130 องศาเซลเซียส (Tsao et. al. 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.15.2 เฮมิเซลลูโลส

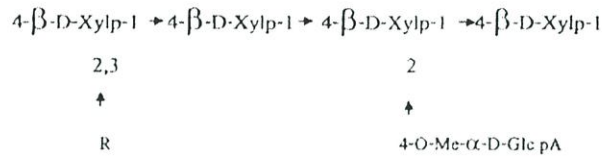
เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลมากกว่าหนึ่งชนิด (heteropolysaccharide) ที่จับกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4-glycosidic โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสสั้นและมีกิ่งก้านสาขามากทำให้มีโครงสร้างจับตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ องค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลสคือ ไซแลน (Kirk. 1983)

Schulze. (1891) เป็นผู้เริ่มใช้คำว่าเฮมิเซลลูโลสสำหรับส่วนที่แยกหรือสกัดได้จากพืชต่างเจือจาง โดยที่การจำแนกชนิดของเฮมิเซลลูโลสขึ้นกับชนิดของน้ำตาลส่วนใหญ่ที่ปรากฏ น้ำตาลส่วนใหญ่ที่ได้จากเฮมิเซลลูโลสได้แก่ ดีไซโลส (D-xylose) ดีแมนโนส (D-mannose) ดีกาแลคโตส (D-galactose) และแอลอราบินโนส (L-arabinose) เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วย ไซแลน แมนแนน (mannan) กาแลคแตน (galactan) และอาราบินแนน (arabinan) เป็นหลัก ไซแลนประกอบด้วยดีไซโลสเป็นโมโนเมอร์ (monomer) หลักและสายของแอลอราบินโนส กาแลคแตนประกอบด้วยดีกาแลคโตสและแมนแนนก็ประกอบขึ้นด้วยแมนโนส ในขณะที่เดียวกันอาราบินแนนก็เกิดขึ้นจากแอลอราบินโนส

#### 2.15.2.1 เฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้อแข็ง

glucuronoxylan หรือ O-acetyl-4-O-methylglucurono- $\beta$ -D-xylan ในไม้เนื้อแข็งมีอยู่ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งของไม้ glucuronoxylan มีโครงสร้างหลักเป็น  $\beta$ -D-xylopyranose ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4-glycosidic ไซโลสส่วนใหญ่ประกอบด้วย หมู่อะซิติล (acetyl group) ที่ตำแหน่ง C2 หรือ C3 ของน้ำตาลไซโลส ในสายของไซแลนมี acetyl group 7 หน่วย ต่อ 10 หน่วยของน้ำตาลไซโลส และมี 4-O-methyl glucuronic acid ที่เชื่อมต่อกับน้ำตาลไซโลสด้วยพันธะ 1,2-glycosidic โดยมี uronic acid 1 หน่วย ต่อ 10 หน่วยของน้ำตาลไซโลส (ภาพที่ 2.8) พันธะที่เชื่อมต่อกันระหว่างน้ำตาลไซโลสสามารถย่อยสลายได้ด้วยกรด ส่วนพันธะที่เชื่อมระหว่างน้ำตาลไซโลสกับหมู่อะซิติล สามารถย่อยสลายได้ด้วยด่าง

glucomannan ในไม้เนื้อแข็งมีอยู่ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง glucomannan มีโครงสร้างเป็น  $\beta$ -D-glucopyranose และ  $\beta$ -D-mannopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4-glycosidic (ภาพที่ 2.9) อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลแมนโนส ในสายของ glucomannan เท่ากับ 1 ต่อ 2 หรือ 1 ต่อ 1 ขึ้นกับชนิดของไม้ ซึ่ง glucomannan ถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรด



**ภาพที่ 2.8** โครงสร้างของ glucuronoxylan [น้ำตาล  $\beta$ -D-xylopyranose (Xylp), 4-O-methyl- $\alpha$ -D-glucopyranosyl uronic acid (4-O-Me- $\alpha$ -D-Glc pA), R คือ acetyl group ( $\text{CH}_3\text{CO}$ )]

ที่มา : Sjostrom. (1981)



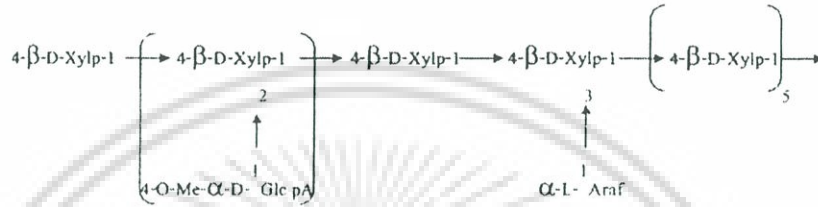
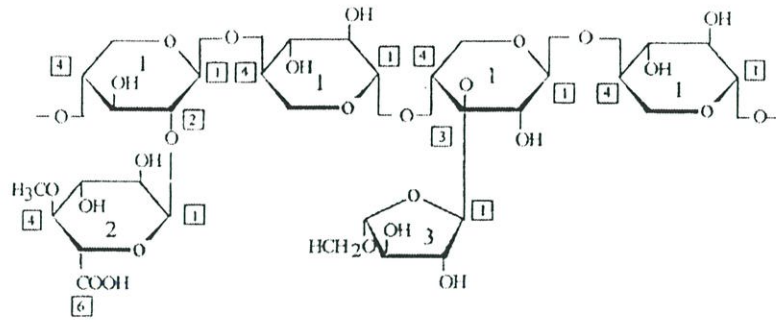
**ภาพที่ 2.9** โครงสร้างของ glucomannan [น้ำตาล  $\beta$ -D-glucopyranose (Glcp),  $\beta$ -D-mannopyranose (Manp)]

ที่มา : Sjostrom. (1981)

### 2.15.2.2 เอมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน

ในไม้เนื้ออ่อนจะพบเอมิเซลลูโลสชนิด galactoglucomannans เป็นจำนวนมาก (ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์) มีโซ่หลักเป็น  $\beta$ -1,4-glycosidic และมีโซ่กิ่งที่ตำแหน่ง C6 ของน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลแมนโนส โดย  $\beta$ -D-galactopyranose จับกับโครงสร้างหลักด้วยพันธะ 1,6-glycosidic (ภาพที่ 2.10) galactoglucomannans สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วนขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำตาลกาแลคโตสที่ต่างกัน ส่วนที่มีน้ำตาลกาแลคโตสในปริมาณน้อยจะมีอัตราส่วนของน้ำตาลกาแลคโตสต่อน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลแมนโนสเท่ากับ 0.1 ต่อ 1 ต่อ 4 และในส่วนที่มีปริมาณน้ำตาลกาแลคโตสสูง จะมีอัตราส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 1 ต่อ 3 ในส่วน C2 และ C3 ในน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแมนโนสมีหมู่อะซิติลจับอยู่โดยเฉลี่ย 1 หมู่ ต่อ 3-4 หน่วยของน้ำตาลเฮกโซสของ galactoglucomannans

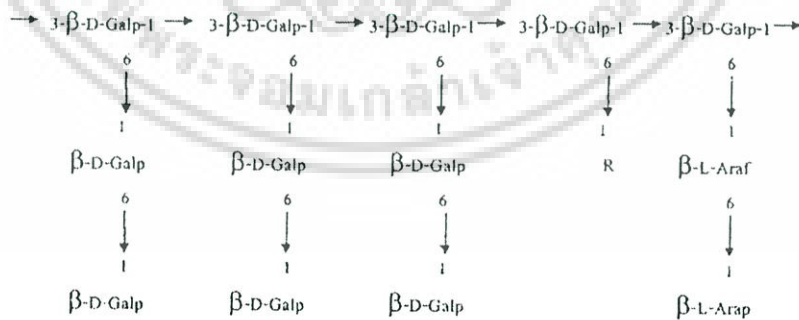




ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของ arabinoglucuronoxylan [น้ำตาลตำแหน่งที่ 1,  $\beta$ -D-xylopyranose (Xylp) ตำแหน่งที่ 2, 4-O-methyl- $\alpha$ -D-glucuronic acid (Glc pA); ตำแหน่งที่ 3,  $\alpha$ -L-arabinofuranose (Araf)]

ที่มา : Sjostrom. (1981)

arabinogalactan เป็นเฮมิเซลลูโลสที่สามารถละลายน้ำได้ มีโครงสร้างหลักเป็น D-galactopyranose ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,3-glycosidic และมีสายโซ่เป็น L-arabinose เชื่อมต่อกับสายของ D-galactopyranose ด้วยพันธะ  $\beta$ -1,6-glycosidic ที่ตำแหน่ง C6 ดังภาพที่ 2.12



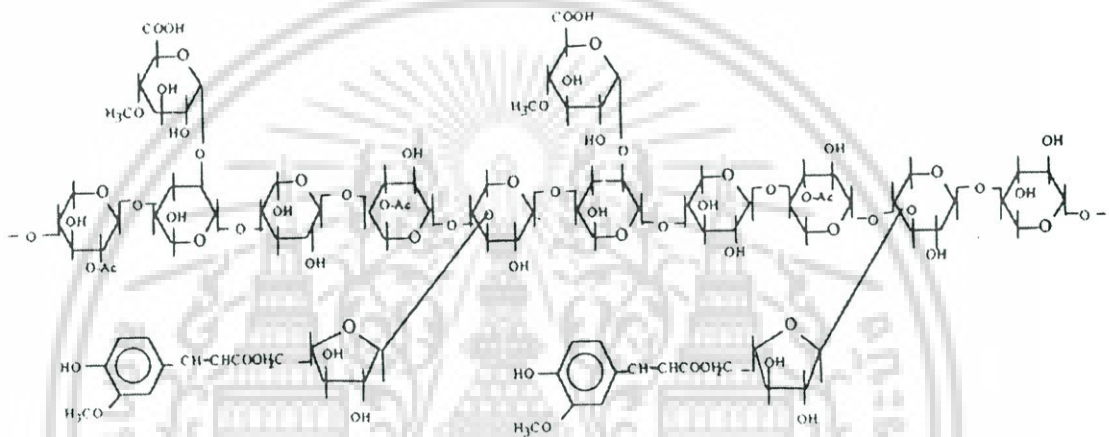
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของ arabinogalactan [น้ำตาล  $\beta$ -D-galactopyranose (Galp);  $\beta$ -L-arabinopyranose (Arap);  $\alpha$ -L-arabinofuranose (Araf) และ R คือ  $\beta$ -D-galactopyranose หรือ  $\alpha$ -L-arabinofuranose หรือ  $\beta$ -D-glucopyranosyl uronic acid]

ที่มา : Sjostrom. (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.15.2.3 เฮมิเซลลูโลสในพืชล้มลุก และ พืชตระกูลหญ้า

O-acetyl-arabino-4-O-methylglucuronoxylan เป็นโพลิเมอร์ที่พบเป็นส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสของพืชล้มลุกและพืชตระกูลหญ้า ความแตกต่างระหว่าง O-acetyl-arabino-4-O-methylglucuronoxylan กับ O-acetyl-4-O-methylglucurono- $\beta$ -D-xylan ในไม้เนื้อแข็งคือ ในพืชตระกูลหญ้ามักมีพันธะ 1,2 glycosidic ที่เชื่อม 4-O-methyl- $\alpha$ -D-glucuronic acid น้อยกว่าในไม้เนื้อแข็ง แต่จะมีปริมาณของ L-arabinofuranosyl side chain ที่เชื่อมบริเวณ C2 หรือ C3 หรือทั้งสองตำแหน่งมากกว่าในไม้เนื้อแข็ง และมีหมู่อะซิติกเชื่อมที่ตำแหน่ง C2 หรือ C3 ในน้ำตาลไซโลสของโครงสร้างหลัก ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของ O-acetyl-arabino-4-O-methylglucuronoxylan ในพืชล้มลุกและพืชตระกูลหญ้า

ที่มา : Coughlan and Hazlewood. (1993)

### 2.15.3 ลิกนิน

เป็นโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากหน่วย phenylpropanoid ซึ่งได้แก่ p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol (Sjostrom. 1981) หน่วยย่อยเหล่านี้จะจับตัวกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยสร้างพันธะ ether จับกันเป็นโมเลกุลใหญ่ทำให้โมเลกุลของลิกนินมีความแข็งแรงทนทานต่อการย่อยสลาย (Evans. 1987) โดยทั่วไปจะพบลิกนินในชั้น middle lamella (Norkran. 1967 ; Cowling and Krik. 1976) จึงทำให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสถูกห่อหุ้มเอาไว้ เป็นเหตุให้การย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดเกิดได้ช้าและปริมาณต่ำ

ลิกนินละลายได้ดีในสารละลายด่างที่ร้อนที่มีความเข้มข้นสูง (5 เปอร์เซ็นต์) ที่อุณหภูมิสูง 120-130 องศาเซลเซียส (Avgerinos and Wang. 1983) และสารละลายบางชนิด เช่น benzene-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ethanol, ethylene glycol สามารถสกัดลิกนินได้ (Fiechter. 1986) ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิดแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิด

ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง	องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)		
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ฟางข้าวสาลี	50	30	15
ฟางข้าว	35	25	17
ฟางข้าวฟาง	31	30	11
ฟางข้าวบาร์เลย์	44	27	7
ฟางข้าวโอ๊ต	49	25	14-22
ซังข้าวโพด	45	35	15
ตอข้าวโพด	35	25	35
กาบข้าวโพด	32	28	13
รำข้าวสาลี	36	28	20
รำข้าว	34	24	28
ชานอ้อย	33	22	14
ใบอ้อย	36	26	10
เปลือกหุ้มเมล็ดฝ้าย	59	15	13
ต้นสน	41	10	27
แกลบ	36	15	19
ขี้เลื่อย	55	14	21

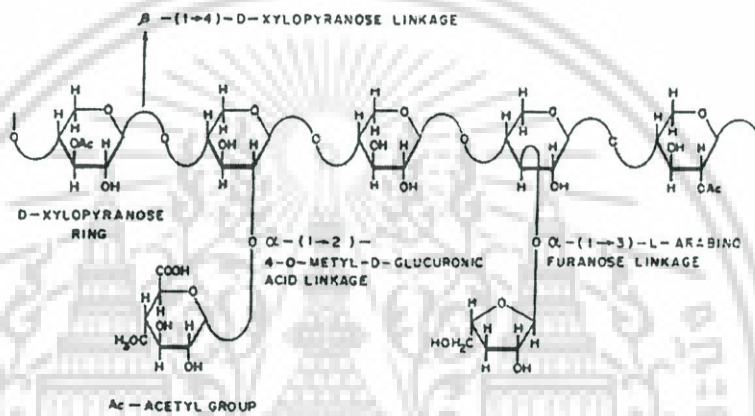
ที่มา : Barber and Benedito de Barder. (1974) ; Jackson. (1977) ; Bisaria. (1991) ; Gupta and Madamwar. (1997) ; Kuhad. (1999)

สายโพลิเมอร์ (homopolymer) ของไซแลนจะประกอบด้วยหน่วยของไซโลสเพียงอย่างเดียว (พบได้ยาก) โดยปกติไซแลนจะประกอบด้วยน้ำตาลที่แตกต่างกัน 2-4 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสแล้วจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า (ประมาณ 20,000 คาลตัน) Aspinall. (1959) รายงานว่าไซแลนมีส่วนของดีไซโลส 85-93% มีแอลอราบินโนสอยู่จำนวนน้อย และส่วนที่เหลือเป็นสายของกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) ในต้นหญ้า Esparto (ต้นหญ้าที่ใช้สำหรับทำกระดาษ โดยเฉพาะพวก *Stipa tenacissima*) ไซแลนจะต่อกันเป็นสาย D-xylopyranose ด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 โดยไซแลนจากพืชและต้นหญ้าชนิดต่าง ๆ จะมีโครงสร้างหลักต่อกันด้วยพันธะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\beta$ -1,4 แต่จะแตกต่างกันในส่วนของโซ่กิ่ง (side chain) ที่จะเป็น D-glucuronic acid, L-arabinose และ 4-O-methylesters ของ D-glucuronic acid

## 2.16 แกนหลักของไซแลน (The backbone of xylan)

สายหลักของไซแลนประกอบด้วย  $\beta$ -xylopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 (ภาพที่ 2.14) โดยจะเกิดพันธะ  $\beta$ -1,4 ระหว่างไซโลส 2 ตัวต่อกันในไซแลนซึ่งรายงานโดย Whistler. (1950) ; Aspinall. (1959) ; Chanda *et. al.* (1950) และได้มีการพิสูจน์ว่ามีพันธะ  $\beta$ -1,4 glycosidic โดย Jayme and Satee. (1942) ; Whistler. (1950)



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของไซแลน

ที่มา : Beily. (1985)

## 2.17 ธรรมชาติของโซ่กิ่งในไซแลน (Nature of side chain)

ไซแลนของไม้เนื้ออ่อนจะมีโซ่กิ่งที่เป็นกรมากกว่าไซแลนของไม้เนื้อแข็ง โดยปกติจะปรากฏหมู่อะซิติล (acetyl) 1 หมู่ที่ไซโลสหน่วยที่ 2 ในไซแลนของไม้เนื้อแข็ง แต่ปฏิกิริยา acetylation ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง O-3 แทนที่จะเป็น O-2 (Biely. 1985) หมู่อะซิติลของไซแลนในหญ้าจะถูกดึงออกในสภาวะที่เป็นด่าง (Wilkie. 1979) ในกรณีของไซแลนในไม้เนื้ออ่อนจะมีกรดอยู่ 1 หน่วยต่อดีไซโลส 9-12 หน่วย ในขณะที่ไซแลนของไม้เนื้อแข็งจะมีดีไซโลส 5-6 หน่วย Dutton and Smith. (1956) แสดงให้เห็นถึงส่วนที่สำคัญของไซแลนในไม้เนื้ออ่อนซึ่งประกอบด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 ซึ่งเป็นพันธะที่เชื่อม  $\beta$ -D-xylopyranose 13 พันธะ พันธะ  $\alpha$ -1,2 ซึ่งเป็นพันธะที่เชื่อม 4-O-methyl- $\alpha$ -D-glucuronic acid 3 พันธะ และพันธะ  $\alpha$ -1,3 ซึ่งเป็นพันธะที่เชื่อม L-arabinofuranose 1 พันธะ O'Dwyer. (1939) พบว่ามี methyl hexouronic acid อยู่หนึ่งหน่วยต่อดี

ไซโลส 11 หน่วยในสายของไซแลน Roudier. (1958) สามารถแยกกรดยูโรนิก (uronic acid) ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไซเลนของต้นสน Maritime ซึ่งพบว่าประกอบด้วยหน่วยของ 2-O-( $\alpha$ -D-glucopyranosyl uronic acid)-D-xylose และได้รายงานที่ 95% ของไซกิงประกอบด้วย 4-O-methyl- $\alpha$ -D-glucuronic acid Goldschmid and Perlin. (1963) พบว่ามีแอลอาราบินอสหนึ่งหน่วยต่อดีไซโลส 7-11 หน่วย ในขณะที่ Aspinall and McKay. (1959); Adams. (1965) แสดงให้เห็นว่าไซเลนของไม้เนื้ออ่อนมีแอลอาราบินอสในไซกิงหนึ่งหน่วยต่อดีไซโลส 20-40 หน่วย

## 2.18 การแยกและการสกัดไซเลน (Isolation and extraction of xylan)

เฮมิเซลลูโลสสกัดได้จากเนื้อเยื่อของหญ้าและเนื้อไม้ด้วยค่าซึ่งการสกัดบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสจากพืชทำได้โดยใช้น้ำร้อนและ/หรือน้ำเย็นหรือค่างเจือจาง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4 - 10 % Wilkie. (1979) สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสได้มากที่สุดโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 24 % แต่พบหมู่อะซิติลปรากฏในไซเลนของเนื้อไม้และหญ้าที่ถูกย่อยสลาย ต่อมาได้ทำการศึกษาการย่อยแป้งข้าวไรย์และเปลือกข้าวบาร์เลย์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7 % ซึ่งในกรณีนี้จะลดน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ลง 20 % (Aspinall *et. al.* 1969) การสกัดด้วยค่างจะได้ไซเลนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเนื่องจากความเข้มข้นของค่างจะแยกส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงออกไป Hagglund *et. al.* (1956) ใช้ dimethyl sulphoxide (DMSO) ในการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากไม้ ไซเลนและอาราบินไซเลน (arabinoxylan) สกัดได้จากเยื่อกระดาษโดยแยกส่วนของ glucoside uronic acid ด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์  $Ba(OH)_2$  (Hamilton *et. al.* 1958)

### 2.18.1 การสกัดไซเลนโดยใช้กรด

Angell and Norris. (1963) พบว่าการสกัดด้วยกรดที่พีเอช 3.7-4.2 จะได้ผลผลิตในปริมาณมากก่อนที่จะใช้แอลกอฮอล์หรือค่างในการตกตะกอนไซเลนจากซังข้าวโพด แอลอาราบินอสในไซเลนจะถูกแยกออกได้ด้วยสารละลายกรดออกซาลิก (oxalic acid) 0.2% หรือ  $HNO_3$  3% (Jayme and Satree. 1942)

## 2.19 คุณสมบัติของไซเลน (Xylan properties)

2.19.1 ไซเลนที่ไม่มีหมู่อะซิติลจะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายค่างและถูกย่อยสลายด้วยกรดได้ง่าย

2.19.2 ไซเลนที่มีหมู่อะซิติลถูกสกัดได้ด้วยน้ำร้อนและละลายในน้ำได้ดี

2.19.3 สารละลายไซเลนไม่สามารถย่อยได้ตามหลักของ Fehling's solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.4 สารละลายไซแลนมีค่า optical rotation เป็นลบอย่างมากซึ่งมีระยะจาก  $[\alpha]_D^{20} -78.2$  ถึง  $109.5^\circ\text{C}$  (Whistler. 1950)

2.19.5 ไซแลนที่มีหมู่อะซิติลถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์

## 2.20 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ในกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนั้นนอกจากจะได้น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และ คาร์บอน 6 อะตอม แล้วยังมีสารอื่น ๆ ที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกิดขึ้นด้วยเช่น สารในกลุ่มฟิวแรนส์ (furans) กลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) สารที่สำคัญในกลุ่มฟิวแรนส์ได้แก่ เฟอฟูรอล (furfural) และ 5 ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล [5-hydroxymethyl furfural (HMF)] ซึ่งได้จากการสลายตัวของน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม และคาร์บอน 6 อะตอม ตามลำดับ สารที่สำคัญในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกได้แก่ กรดลิวลินิก (levulinic acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) เกิดจากการสลายตัวของ HMF และเกิดจากการสลายตัวของหมู่เมทอกซิล (methoxyl group) ในเอมิเซลลูโลสตามลำดับ และกรดอะซิติลเกิดจากการไฮโดรไลซิสของหมู่อะซิติลในเอมิเซลลูโลส สารที่สำคัญในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) และโพลีอะโรมาติก (polyaromatic compound) เกิดจากการสลายตัวของลิกนินได้แก่ ฟีนอล (phenol) วานิลลิน (vanillin) กรดวานิลลิก (vanillic acid) วานิลลิล แอลกอฮอล์ (vanillyl alcohol) กรด 4 ไฮดรอกซีเบนโซอิก (4-hydroxybenzoic acid) 4 ไฮดรอกซีเบนซอลดีไฮด์ (4-hydroxybenzaldehyde) กรดคูมาริก (coumaric acid) ซิงริงกอลดีไฮด์ (syringaldehyde) กรดซิงริงจิก (syringic acid) ซินนามอลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) ไดไฮโดรควิโนน (dihydroquinone) ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) แคทาคอล (catechol) เวนราโทรว (veratrole) อะซิโตกัวอะซิโตน (acetoguaiacetone) กรดโฮมอวานิลลิก (homovanillic acid) และสารคีโตนของฮิบเบิร์ต (Hibbert's ketones)

### 2.20.1 ผลของสารยับยั้งต่อการเจริญของจุลินทรีย์

#### 2.20.1.1 สารในกลุ่มฟิวแรนส์

ยับยั้งการเจริญและการหมักของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเฟอฟูรอลจะยับยั้งกระบวนการหายใจ และมีการเปลี่ยนเฟอฟูรอลไปเป็นเฟอฟูรอลแอลกอฮอล์ (furfural alcohol) โดยเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) ซึ่งมีผลทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยพบว่าช่วงการยับยั้งอยู่ที่ 0.35-2 กรัมต่อลิตร (Parajo *et. al.* 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.20.1.2 สารในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก

สารในกลุ่มนี้โดยเฉพาะกรดอะซิติกจะละลายในชั้นไขมันของเชื้อหุ้มเซลล์และผ่านเข้าไปในไซโตพลาสซึมทำให้พีเอชภายในเซลล์ลดต่ำลง มีผลทำให้เกิดการยับยั้งการขนส่งฟอสเฟตที่เชื้อหุ้มเซลล์ซึ่งได้จากการสลายตัวของ ATP จึงทำให้ไม่มีพลังงานที่จะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโต (Parajo *et. al.* 1998)

### 2.20.1.3 สารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก

สารในกลุ่มนี้เกิดจากการสลายตัวของลิกนินซึ่งมีความเป็นพิษมากกว่าเฟอฟูรอลและ 5 ไฮดรอกซีเมทริลเฟอฟูรอล โดยความสามารถในการยับยั้งการเจริญขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่วงเบนซีนเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ  $-\text{COOH}$ ,  $p\text{-OH}$ ,  $\text{CHO}$ ,  $\text{CH}=\text{CH}$

## 2.21 วิธีการลดความเป็นพิษที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

### 2.21.1 โอเวอร์ไลมิง (overliming)

สามารถตกตะกอน โลหะหนัก ลดปริมาณกรดอะซิติก สารประกอบฟีนอลิก และเปลี่ยนเฟอฟูรอลไปเป็นกรดเฟอฟูรอล

### 2.21.2 ซัลฟิเคชัน (sulphication)

สามารถลดปริมาณกรดอะซิติก เฟอฟูรอล และสารประกอบฟีนอลิก

### 2.21.3 การดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (charcoal absorption)

สามารถตกตะกอน โลหะหนัก ลดปริมาณกรดอะซิติกและสารประกอบฟีนอลิก

### 2.21.4 การทำให้เป็นกลาง (neutralization)

เป็นการปรับค่าพีเอชของสารละลายที่มีความเป็นกรดสูงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

### 2.21.5 การสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ (extraction with organic solvents)

สารอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัดคือ trichloethylene, benzene, ethyl acetate, diethyl ether, hexane

## 2.22 การลดความเป็นพิษโดยวิธีโอเวอร์ไลมิง

วิธีโอเวอร์ไลมิงเป็นวิธีการลดปริมาณสารพิษที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางที่สามารถทำได้หลายแนวทางเช่นการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (หรือไฮดรอกไซด์ตัวอื่น) ลงไปในอาหาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์เพื่อเพิ่มค่าพีเอชเป็น 10.0-10.5 เมื่อผสมเข้ากันแล้วจะเกิดการตกตะกอนโดยตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นเกลือแคลเซียมที่มีความสามารถในการละลายต่ำ ซึ่งสารที่ใช้ในการลดปริมาณสารพิษจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของไฮโดรไลสและจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก

การลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์โดสโดยการปรับค่าพีเอชเป็น 10.0-10.5 ด้วย  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaO}$  หรือ  $\text{KOH}$  หลังจากนั้นนำไปตกตะกอนเกลือที่เกิดขึ้นนำไฮโดรไลสที่ได้มาทำการลดค่าพีเอชด้วยกรดซัลฟิวริกเป็น 6.5 จะทำให้เกิดการลดปริมาณสารพิษโดยการตกตะกอนอะซิเตท โลหะหนัก เพอฟูรัต แทนนิน เทอปีน และสารประกอบฟีนอลิก

## 2.23 การลดความเป็นพิษโดยใช้ถ่านกัมมันต์

การแยกสารปนเปื้อนในสารละลายโดยสารจะถูกดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบที่เป็นเม็ด (granular charcoal) แบบที่เป็นผง (powders charcoal) โดยมักเรียกรวมกันว่า activated charcoal หรือ activated carbon ซึ่งทำมาจากเมล็ดของ almond, walnut, hulls, coconut, wood หรือถ่านทั่วไป โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของคาร์บอน

### 2.23.1 การดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ มีอยู่ 3 ลักษณะคือ

2.23.1.1 การแลกเปลี่ยนประจุ (exchange absorption) การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับด้วยไฟฟ้าสถิตที่บริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

2.23.1.2 การดูดซับแบบเคมี (chemical absorption) อาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์

2.23.1.3 การดูดซับแบบกายภาพ (physical absorption) การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับเกิดจากแรง Van der Waals ซึ่งไม่ยึดติดแน่นเหมือนกับสองแบบแรก มักจะเหมาะกับสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ

## 2.24 ถ่านกัมมันต์ (Charcoal)

ถ่านกัมมันต์คือวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบถูกนำมาผ่านกระบวนการถ่านกัมมันต์ซึ่งทำให้วัสดุคือนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งหากดูพื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยเท่าใดขึ้นกับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต ซึ่งประกอบด้วย การคาร์บอนไนซ์ และขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์ (ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชัน)

#### 2.24.1 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

กระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นการเผาซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือนกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ (Char) ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่อนุมูลที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์และก๊าซต่าง ๆ

ขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอนไนเซชันธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นก็จะได้ถ่านชาร์ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งใน ส่วนประกอบของถ่านชาร์ที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการคาร์บอนไนเซชัน โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในในระบบที่เหมาะสมต่อไป

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ พีท ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีสมบัติคงที่

ในปัจจุบันของเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ถูกนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก อย่างไรก็ตามปัญหาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ วัตถุดิบมีสมบัติไม่คงที่แม้ว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต

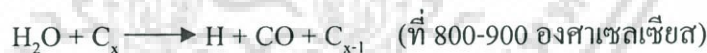
### 2.24.2 การกระตุ้น (การก่อกัมมันต์)

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอน เป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่ผิวที่มากขึ้น โดยเป็นการทำให้มีรูพรุนมากขึ้นหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่น ๆ ปฏิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย โดยทั่วไปแล้วมี 2 วิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ

2.24.2.1 นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันแล้วมากระตุ้น โดยใช้สารกระตุ้น เช่น  $ZnCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $H_3PO_4$  วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางเคมี” ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ในทางการค้า โดยปกติแล้ววิธีการกระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500-900 องศาเซลเซียส สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรมคือ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และค่าง การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่น ๆ ที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง

2.24.2.2 นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันแล้วมาทำปฏิริยากับก๊าซที่ใช้ในการออกซิเดชัน ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางกายภาพ” เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิริยาก๊าซซิฟิเคชัน (gasification) ด้วยก๊าซออกซิไดซ์ในช่วงอุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ใช้โดยทั่วไปคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมกันก็ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มี การดูดซับสูง โดยใช้การกระตุ้นให้ทำปฏิริยากับก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์ดังตัวอย่าง



ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้นคือ โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน ชนิดของก๊าซออกซิไดซ์ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิริยา ความดันของก๊าซ เวลาในการเกิดปฏิริยาและขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

ในกระบวนการกระตุ้นคาร์บอนทำปฏิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นออกไซด์ของคาร์บอน แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดก๊าซซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนเซชันประกอบด้วยรูพรุนเล็ก ๆ จำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึก ในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรงไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวของ

ความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปิดและการสร้างรูใหม่ขึ้นด้วย โครงสร้างที่เกิดขึ้นเป็นผลึกที่เล็กมาก (microcrystallites) ประกอบด้วยวงแหวนเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็ก ๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างผลึกเล็ก ๆ นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-50 อังสตรอม

### 2.24.3 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 ml/g จากลักษณะและขนาดของรูพรุนสามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด

2.24.3.1 รูพรุนขนาดใหญ่ (macro pores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-20,000 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ml/g ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่นี้มักจะไม่ค่อยสนใจ สามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า  $2 \text{ m}^2/\text{g}$

2.24.3.2 รูพรุนขนาดกลาง (transitional pores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20-1,000 อังสตรอม มีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 ml/g มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

2.24.3.3 รูพรุนขนาดเล็ก (micro pores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 ml/g และมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

### 2.24.4 ถ่านกัมมันต์ในทางการค้า

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในทางการค้าแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon) และ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ซึ่งรายละเอียดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีดังนี้

#### 2.24.4.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้โดยทั่วไปผลิตจากชีเลื่อยที่ได้จากไม้ ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคในช่วง 15-25 ไมโครเมตร โดยอาจมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางเรขาคณิตประมาณ 0.15-0.266 โดยในการออกแบบระบบการดูดซับจะคำนึงถึงการเลือกลักษณะของหอดูดซับ ลักษณะการผสมเม็ดถ่านกัมมันต์ผงกับของเหลว ลักษณะการแยกของถ่านกัมมันต์ผงหลังจากที่ดูดซับแล้ว วิธีในการนำกลับมาใช้ใหม่ในทางอุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ผงโดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการกำจัดสีในกระบวนการผลิตอาหารเช่น ใช้ในการผลิตน้ำตาล ผลิตน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิต โซเดียมคลอไรด์ และผลิต ไวนิล ในภาวะปัจจุบันมีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้กันอย่างมาก โดยเฉพาะในการบำบัดน้ำ ทั้งในการผลิตน้ำดื่มและการบำบัดน้ำเสีย

#### 2.24.4.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์เม็ดที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายขนาดโดยขึ้นกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการดูดซับระบบที่เป็นก๊าซมักใช้ถ่านกัมมันต์รูปทรงกระบอกขนาด 4-6 มิลลิเมตร ซึ่งการใช้ในระบบที่เป็นก๊าซนั้นคือระบบการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ (solvent recovery) การทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำก๊าซให้บริสุทธิ์ การกำจัดกำมะถันออกจากก๊าซและใช้ในการแยกระบบก๊าซอื่น ๆ ในระบบที่เป็นของเหลวนั้นมีการใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดมากเช่นกัน เนื่องจากการจัดการระบบได้ง่ายในเครื่องปฏิกรณ์มีความดันลดต่ำ ทำการล้างเม็ดถ่านได้ง่าย ซึ่งในสถานะของเหลวนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดในการกำจัดสี การผลิตน้ำตาล กำจัดสารอินทรีย์ กำจัดกลิ่นและสิ่งเจือปนในระบบการผลิตน้ำดื่ม และใช้กันอย่างมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการทางความร้อนหรือกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่แบบอื่น ๆ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผง

มีการผลิตถ่านกัมมันต์ทุกแบบทั่วโลกประมาณปีละ 300,000-400,000 ตัน มีถ่านกัมมันต์ชนิดผงประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เหลือจะเป็นถ่านกัมมันต์ในรูปแบบอื่น ซึ่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดใช้กับระบบที่เป็นของเหลว และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ใช้ในระบบที่เป็นก๊าซ ซึ่งประเทศที่มีการใช้กันมากที่สุดคือ ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา โดยมีอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นปีละประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าใช้มากในระบบการทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำตัวทำละลายให้บริสุทธิ์ และกระบวนการบำบัดน้ำมีการใช้ในระบบใหม่ ๆ ซึ่งเกี่ยวกับระบบการป้องกันมลภาวะจากสิ่งแวดล้อม

#### 2.24.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

2.24.5.1 ประเภทใช้กับของเหลว (liquid phase carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลวได้แก่

อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น

อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบูและเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย

อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร

อุตสาหกรรมเครื่องคั้นแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อคอกกลั่นที่ไม่ต้องการทำให้เครื่องคั้นที่ได้มีรสชาติดีขึ้น

อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาเช่น วิตามินและฮอร์โมนหลายชนิด

อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวคอกกลั่นและฟอกสี

อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการเช่นการแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (petroleum oil well brines)

กระบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (catalytic process) ถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

2.24.5.2 ประเภทที่ใช้ในการคอกก๊าซและไอ (gas phase carbon) ในอุตสาหกรรมต่อไปนี

อุตสาหกรรมทำน้ำกากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้ การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ

อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับก๊าซพิษต่าง ๆ ในอากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

อุตสาหกรรมบุงหรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกั้นกรองบุงหรี

## 2.25 ลักษณะวิทยาของยีสต์

เซลล์ยีสต์มีขนาดแตกต่างกันออกไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1-5 ไมโครเมตร ยาวตั้งแต่ 5-30 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่เซลล์จะเป็นรูปไข่แต่มีบางชนิดที่ยาวกว่า บางชนิดเป็นรูปทรงกลมแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะเฉพาะ อย่างไรก็ตามขนาดและรูปร่างอาจแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อม ยีสต์ไม่มีโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ดังนั้นจึงเคลื่อนที่ไม่ได้

### 2.25.1 โครงสร้างของเซลล์ยีสต์

2.25.1.1 แคปซูล (capsule) เป็นโครงสร้างที่ห่อหุ้มเซลล์โดยยีสต์บางชนิดจะปล่อยสารที่มีลักษณะเป็นเมือกหนืดหรือเหนียวออกมาหุ้มเซลล์ แคปซูลมักเป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์รวมทั้งเฮทเทอโรโพลีแซคคาไรด์ แมนแนนและสารที่คล้ายแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.25.1.2 ผนังเซลล์ (cell wall)** ผนังเซลล์จะบางเมื่ออายุเซลล์ยังน้อยแต่จะหนาขึ้นตามอายุความหนาของผนังเซลล์ประมาณ 1 ใน 7 ของเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์ได้แก่

กลูแคน (glucan) หรือเซลลูโลสของยีสต์ ต่างกับเซลลูโลสที่เป็น  $\beta$ -1,3 linkage หรือ  $\beta$ -1,6 linkage ซึ่งเซลลูโลสเป็น  $\beta$ -1,4 linkage มี 30-35 เปอร์เซ็นต์

แมนแนน (mannan) เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสมี 30 เปอร์เซ็นต์

ไขมัน (lipid) มี 8.5-13.5 เปอร์เซ็นต์

โปรตีน (protein) มี 6-8 เปอร์เซ็นต์

ไคติน (chitin) มี 1-2 เปอร์เซ็นต์

ที่เหลือเป็นสารอินทรีย์ เช่น เกลือฟอสเฟต

**2.25.1.3 เยื่อหุ้มเซลล์ (cytoplasmic membrane)** องค์ประกอบเหมือนเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นคือ เป็นไลโปโปรตีนและมีหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร

**2.25.1.4 ไซโตพลาสซึม (cytoplasm)** มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ที่สะสมอยู่คือ ไกลโคเจน นอกจากนี้มี RNA และโปรตีนอยู่มาก มีไรโบโซมและออร์แกเนลล์อื่น เช่น ไมโทคอนเดรียและมีระบบเยื่อในไซโตพลาสซึม

**2.25.1.5 นิวเคลียส (nucleus)** โครงสร้างทั่วไปเหมือนนิวเคลียสของเซลล์พวกยูคาริโอตทั่วไป จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าโครงสร้างบางอย่างขาดหายไป เช่น

ไม่มีการสร้าง spindle เมื่อมีการแตกหน่อ

เยื่อหุ้มนิวเคลียสยังคงอยู่ตลอดเวลาขณะมีการแบ่งเซลล์

ขณะมีการแตกหน่อนิวเคลียสจะคอดเข้าและส่วนหนึ่งจะไปยังเซลล์ที่เป็นหน่ออีกส่วนหนึ่งอยู่ที่เซลล์เดิม

**2.25.1.6 แวคคิวโอล (vacuole)** เซลล์ยีสต์อาจมีแวคคิวโอลหนึ่งหรือหลายอัน เห็นชัดเจนกว่าโครงสร้างอื่น ๆ

**2.25.1.7 อินคลูชัน (inclusion)** ยีสต์บางชนิดจะมี volutin granule ซึ่งเป็นแกรนูลของโพลีฟอสเฟต บางชนิดมีแกรนูลไขมัน คาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีน บางชนิดสะสมไขมันถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ก็มีไกลโคเจน เอนไซม์ วิตามิน รงควัตถุซึ่งอาจเป็นสีเหลือง สีส้ม สีชมพูหรือน้ำตาล นอกจากนี้ยังอาจพบไซโตโครม ซีโมโกลบินและฟลาวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.25.2 การจัดจำแนกเชื้อ *Candida tropicalis*

Kingdom	Fungi
Phylum	Ascomycota
Subphylum	Saccharomycotina
Class	Saccharomycetes
Order	Saccharomycetales
Family	Saccharomycetaceae
Genus	<i>Candida</i>
Species	<i>tropicalis</i>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของ Shimadzu รุ่น UV1610

ตู้อบความร้อน (hot air oven) Memmert Model 600

ตู้เย็น SANYO

เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิได้ (incubator shaker) GALLENKAMP

เครื่องปั่นเหวี่ยง Hermle Model Z383K

หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) Harvey Model Hydroclave MC10

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง SHIMADZU LIBROR EB-4000H

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Metter-toledo Model AG204

เครื่องอ่างน้ำอุ่น (water bath) Memmert

เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง Dever instrument Model 215

เครื่องปั่นน้ำผลไม้ National SP 1

เครื่องแก้ว (พลาสติก หลอดทดลอง กรวย ฯลฯ)

อุปกรณ์วัดปริมาตร (ปิเปต ไมโครปิเปต กระบอกตวง ฯลฯ)

กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และ เบอร์ 4

ลวดเขี่ยเชื้อ

### 3.2 เคมีภัณฑ์สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ

Yeast extract

Malt extract

Peptone

Agar

Xylose

Glucose

### 3.3 เคมีภัณฑ์สำหรับการหาสถานะที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทาง

#### การเกษตร

Sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

### 3.4 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซโลสตามวิธีของ Deschatelets และ Yu (1986)

Thiourea

Acetic acid

4-bromoaniline (p-bromoaniline)

### 3.5 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซลิตอลตามวิธีของ Alder และ

#### Gustafsson (1980)

Sodium metaperiodate ( $\text{NaIO}_4$ )

Hydrochloric acid (HCl)

xylitol

Amonium acetate

Acetic acid

Butane-2,3-diol

Pentane-2,4-dione

### 3.6 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสตามวิธีของ Somogyi Nelson's (1952)

Copper sulfate pentahydrate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Sodium hydrogenphosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) หรือ Sodium hydrogenphosphate dodecahydrate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )

Sodium potassiumtartrate (Tetrahydrate)]

Sodium hydroxide(NaOH)

Sodium sulfate anhydrous ( $\text{NaSO}_4$ )

Amonium molybdate [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]

di-Sodium acenate ( $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 วัตถุดิบ

3.7.1 **ชานอ้อย** ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านขายน้ำอ้อยสด บริเวณตลาดบางกะปิ เขต บางกะปิ กรุงเทพฯ

เตรียมวัตถุดิบโดยนำชานอ้อยมาตัดให้เป็นท่อนเล็ก ๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำมาบดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสอีกครั้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บใส่ถุงเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.7.2 **ลูกสับปะรด พันธุ์ศรีราชา** ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านขายผลไม้สด บริเวณตลาด บ้านพักรถไฟ กม.11 เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

เตรียมวัตถุดิบโดยนำลูกสับปะรดมาฉีกออกเป็นใบ ๆ แล้วล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้งและนำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บใส่ถุงเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.7.3 **ซังข้าวโพด** ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านขนมหวาน บริเวณตลาดบางกะปิ เขต บางกะปิ กรุงเทพฯ

เตรียมวัตถุดิบโดยนำซังข้าวโพดมาตากแดดให้แห้ง นำมาตัดเป็นท่อนเล็ก ๆ แล้วนำมาบดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บใส่ถุงเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

### 3.8 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย

*Candida tropicalis* TISTR 5045 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

#### 3.8.1 การเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย

ใช้ลวดเขียนเชื้อ (loop) เขียนเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 1 ลูป ลาก (streak) ลงบน YM agar slant แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปิดด้วยพาราฟิล์มและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยต้องถ่ายเชื้อทุก ๆ 2 สัปดาห์

#### 3.8.2 การเตรียมหัวเชื้อเริ่มต้น

ถ่ายเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ประมาณ 1-2 ลูป นำไปเพิ่มปริมาณเชื้อด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 0.5

### 3.9 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเอมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

#### 3.9.1 การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ

ชั่งวัตถุดิบ (ชานอ้อย จุกสับประรด และซังข้าวโพด) ที่เตรียมไว้ 5 กรัม ลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในอัตราส่วนวัตถุดิบ 1 กรัมต่อสารละลายกรด 10 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนวัตถุดิบให้เข้ากับสารละลายกรดอย่างทั่วถึง ปิดปากพลาสติกด้วยฟอยล์ นำใส่ถุงทนความร้อนปิดปากถุงให้เรียบร้อยแล้วนำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ทำการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส โดยทำการย่อยสลายวัตถุดิบที่เวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที เมื่อทำการย่อยสลายเรียบร้อยแล้วนำมาแยกกากออกโดยการกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 อีกครั้ง แล้วใส่ขวดสีชาปิดด้วยฟอยล์ นำไฮโดรไลเสทมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลไซโลสเพื่อพิจารณาเลือกช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายของแต่ละวัตถุดิบ หลังจากที่ได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วทำการแปรผันเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยขั้นตอนในการศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย ซังข้าวโพด จุกสับประรด)

วัตถุดิบ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ชานอ้อย ซังข้าวโพด จุกสับประรด	110 121 126	60, 120, 180, 240, 300

### 3.9.2 การศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุคืบ

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุคืบโดยชั่งวัตถุคืบที่เตรียมไว้ 5 กรัม ลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลต่อลิตร ในอัตราส่วนวัตถุคืบ 1 กรัมต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 10 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนวัตถุคืบให้เข้ากับสารละลายกรดอย่างทั่วถึง ปิดปากพลาสติกด้วยฟอยล์ นำใส่ถุงทนความร้อนปิดปากถุงให้เรียบร้อยแล้วนำเข้าหม้อน้ำความดันไอ ทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.9.1 เมื่อย่อยสลายเรียบร้อยแล้วนำมาแยกกากออกโดยการกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 อีกครั้ง แล้วใส่ขวดสีชาปิดด้วยฟอยล์ นำไฮโครไลเสทมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลไซโลสเพื่อพิจารณาเลือกช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายของแต่ละวัตถุคืบ หลังจากที่ได้ช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมแล้วทำการแปรผันความเข้มข้นกรดเพื่อหาความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายให้ได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุคืบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุคืบ (ชานอ้อย ชั่งข้าวโพด จุกสับประรด)

วัตถุคืบ	สารละลายกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ชานอ้อย ชั่งข้าวโพด จุกสับประรด	0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5	จากการทดลอง ที่ 3.9.1	จากการทดลอง ที่ 3.9.1

### 3.9.3 การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุคืบและสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการย่อยสลายวัตถุคืบ

ชั่งวัตถุคืบที่เตรียมไว้ 5 กรัม ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.9.2 ลงในพลาสติก โดยทำการศึกษาอัตราส่วน 1 ต่อ 10 1 ต่อ 20 1 ต่อ 30 1 ต่อ 40 และ 1 ต่อ 50 [วัตถุคืบ (กรัม) ต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร)] ใช้แท่งแก้วคนวัตถุคืบให้เข้ากับสารละลายกรดอย่างทั่วถึง ปิดปากพลาสติกด้วยฟอยล์ นำใส่ถุงทนความร้อนปิดปากถุงให้เรียบร้อยแล้วนำเข้าหม้อน้ำความดันไอ ทำการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามสภาวะที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.9.1 เมื่อทำการย่อยสลายเรียบร้อยแล้วนำมาแยกกากออกโดยการกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 อีกครั้ง แล้วใส่ขวดสีชาปิดด้วยฟอยล์ นำไฮโดรไลเสทมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลไซโลสเพื่อพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลาย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบและสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการย่อยสลายวัตถุดิบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบและสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย จุกสับประด ชั่งข้าวโพค)

วัตถุดิบ	อัตราส่วนวัตถุดิบต่อ ปริมาตรกรดซัลฟิวริก (กรัมต่อมิลลิลิตร)	สารละลายกรด ซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ชานอ้อย ชั่งข้าวโพค จุกสับประด	1:10 1:20 1:30 1:40 1:50	จากการทดลอง ที่ 3.9.2	จากการทดลอง ที่ 3.9.1	จากการ ทดลองที่ 3.9.1

หลังจากทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรดแล้ว จึงพิจารณาเปรียบเทียบสภาวะในการย่อยสลายและปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบเพียง 1 ชนิด เพื่อนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

### 3.10 การลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง

นำไฮโดรไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบตามสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.9 มาลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงตามวิธีของ Parajo *et. al.* (1997) โดยนำไฮโดรไลเสทที่ได้มาทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 10.5 ด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากนั้นนำมาตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสที่ได้มาทำการลดค่าความเป็นกรด-ด่างลงเหลือ 5.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 อีกครั้ง หลังจากนั้นนำไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการโอเวอร์ไลมิงมาเตรียมเป็นอาหาร โดยเติมบีส์ตัสกัก 4 กรัม มอลต์สัคกัก 3 กรัม และเปปโตน 4 กรัม ต่อไฮโดรไลเสท 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150 มิลลิลิตรในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อยีสต์เริ่มต้นร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาวัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีของ Somogyi-Nelson (1944) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซโลสตามวิธีของ Deschatelets and Yu (1986)

วางแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (CRD) ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคันทันแคน (Duncan's New Multiple Range Test)

### 3.11 การศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

นำไฮโดรไลสที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบตามสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.9 และผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงจากการทดลองในข้อ 3.10 มาทำการศึกษาลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์โดยทำการศึกษาดังนี้

#### 3.11.1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในใช้ผงถ่านกัมมันต์

นำไฮโดรไลสปริมาณ 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเตรียม (ภาคผนวก ข) ในอัตราส่วนผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัมต่อไฮโดรไลส 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการแปรผันเวลาดังนี้คือ 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาของแต่ละช่วงเวลาก็นำไฮโดรไลสมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำไฮโดรไลสที่ผ่านการกรองสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์มาวัดปริมาณสารพิษที่ลดลงตามวิธีของ Sarkanen and Ludwig (1971) ต่อจากนั้นนำไฮโดรไลสมาเตรียมอาหารโดยเติมยีสต์สกัด 4 กรัม มอลต์สกัด 3 กรัม และเปปโตน 4 กรัม ต่อไฮโดรไลสปริมาณ 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.0 นำไฮโดรไลสบรรจุในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตร 150 มิลลิลิตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อยีสต์ร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาวัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลไซโลส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคันทันแคน (Duncan's New Multiple Range Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.11.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการลดสารพิษของผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไล- เสท

นำไฮโดรไลเสทปริมาตร 200 มิลลิลิตรใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเตรียม (ภาคผนวก ข) ในอัตราส่วนผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทเป็น 1 ต่อ 25 1 ต่อ 50 1 ต่อ 100 1 ต่อ 200 (กรัมต่อมิลลิลิตร) หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.11.1 นำไฮโดรไลเสทที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ไฮโดรไลเสทที่ได้จะถูกนำมาวัดปริมาณสารพิษที่ลดลงจากนั้นจะนำมาเตรียมเป็นอาหาร โดยเติมยีสต์สกัด 4 กรัม มอลต์สกัด 3 กรัม และเปปโตน 4 กรัมต่อไฮโดรไลเสทปริมาตร 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6.0 บรรจุไฮโดรไลเสทลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตรปริมาตร 150 มิลลิลิตรหนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อยีสต์ร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาวัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลไซโลส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของต้นแกน (Duncan's New Multiple Range Test)

### 3.12 ศึกษาการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ (YM)

นำเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 เลี้ยงในอาหารสังเคราะห์สูตร YM (ภาคผนวก ก) ปริมาตร 150 มิลลิลิตรใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตรนำไปหนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อยีสต์เริ่มต้นร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมงเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง (ภาคผนวก ข) วัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของต้นแกน (Duncan's New Multiple Range Test)

### 3.13 ศึกษาการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท

นำเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 เลี้ยงในไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการ Overliming และลดพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ตามเวลาและอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทที่เหมาะสม จากผลการทดลองข้อ 3.11.1 และ 3.11.2 จากนั้นเติมยีสต์สกัด 4 กรัม มอลต์สกัด 3 กรัม และเปปโตน 4 กรัมต่อไฮโดรไลเสทปริมาตร 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6.0 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร บรรจุในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อยีสต์เริ่มต้นร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมงเป็นเวลา 36 ชั่วโมงหลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมงจนครบ 72 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง วัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลไซโลส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคั่นแกน (Duncan's New Multiple Range Test)

### 3.14 ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำตาลไซลิตอลระหว่างอาหารสังเคราะห์และอาหารไฮโดรไลเสท

ทำการเตรียมอาหารสังเคราะห์สูตรเพื่อการผลิตน้ำตาลไซลิตอล (ภาคผนวก ก) และไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการ Overliming และลดพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ตามเวลาและอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.11.1 และ 3.11.2 ทำการเติมน้ำตาลไซโลสให้มีปริมาณเริ่มต้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกับอาหารสังเคราะห์สูตรเพื่อการผลิตน้ำตาลไซลิตอล จากนั้นเติมยีสต์สกัด 4 กรัม มอลต์สกัด 3 กรัม และเปปโตน 4 กรัมต่อไฮโดรไลเสทปริมาตร 1 ลิตรปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6.0 ปริมาตร 150 มิลลิลิตรบรรจุในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตรนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นเติมหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ทำการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยให้ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 12 ชั่วโมงหลังจากนั้นทำการลดความเร็วรอบลงเหลือ 120 รอบต่อนาทีจนครบ 72 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง นำมาวัดค่าอัตราการเจริญที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลไซลิตอล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของต้นแกน (Duncan's New Multiple Range Test)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

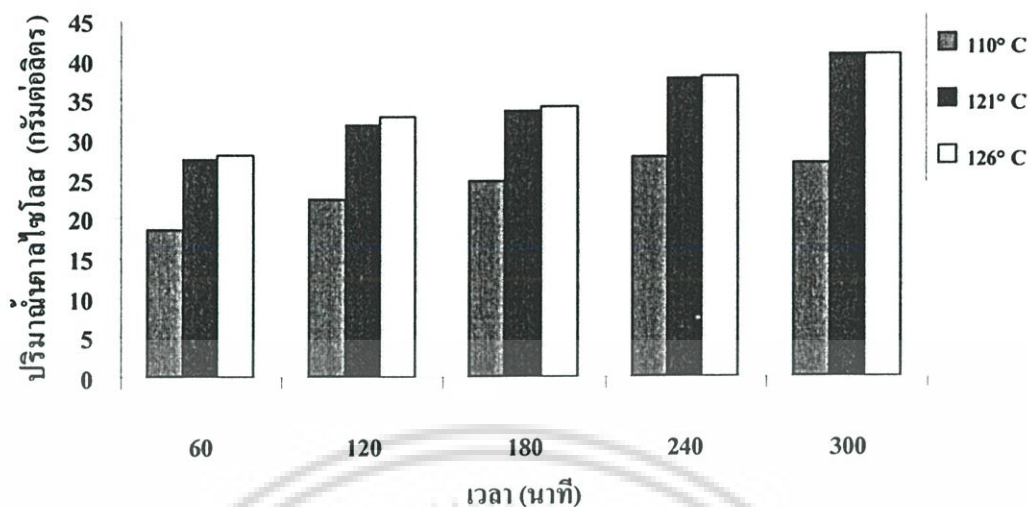
#### 4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ

##### 4.1.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบ

จากการศึกษาการย่อยสลายวัตถุดิบได้แก่ ชานอ้อย ชังข้าวโพด และจุกสับประรด ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารละลายกรด 1 ต่อ 10 (กรัมต่อมิลลิลิตร) ย่อยสลายด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่ 3 อุณหภูมิได้แก่ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส โดยแต่ละอุณหภูมิจะแปรผันเวลาในการย่อยสลายเป็นช่วงกว้างคือ 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลาย จากผลการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายชานอ้อยในแต่ละอุณหภูมิจะอยู่ที่ 180 ถึง 300 นาที ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย (ช่วงกว้าง)

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
60	18.4456	27.5455	28.0374
120	22.3397	31.6855	32.8332
180	24.6762	33.5301	34.1449
240	27.5865	37.6701	37.7931
300	27.0126	40.6214	40.6214



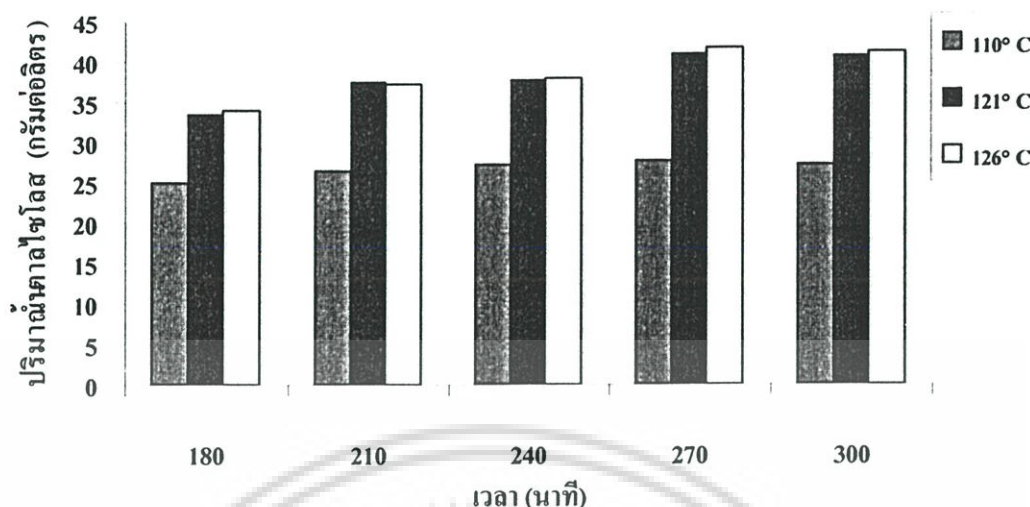
ภาพที่ 4.1 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย (ช่วงกว้าง)

เมื่อได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายชานอ้อยแล้วจะนำช่วงเวลาดังกล่าวมาแปรผันเพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส ที่เวลา 180, 210, 240, 270 และ 300 นาที จากผลการศึกษาที่ได้พบว่าในแต่ละอุณหภูมิในการย่อยสลายชานอ้อยที่เวลา 270 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเป็น 27.8734, 41.0313 และ 41.6462 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
180	25.0451 <sup>d</sup>	33.5301 <sup>c</sup>	34.022 <sup>d</sup>
210	26.4797 <sup>c</sup>	37.4242 <sup>b</sup>	37.2602 <sup>c</sup>
240	27.2995 <sup>b</sup>	37.6701 <sup>b</sup>	37.9980 <sup>b</sup>
270	27.8734 <sup>a</sup>	41.0313 <sup>a</sup>	41.6462 <sup>a</sup>
300	27.2176 <sup>b</sup>	40.6624 <sup>a</sup>	41.2363 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย

จากนั้นนำปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดที่ได้ในแต่ละอุณหภูมิที่เวลาในการย่อยสลายที่ 270 นาที มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายชานอ้อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่อุณหภูมิ 121 และ 126 องศาเซลเซียส ให้ผลทางสถิติที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จึงคัดเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายชานอ้อยที่ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 270 นาที ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายชานอ้อย

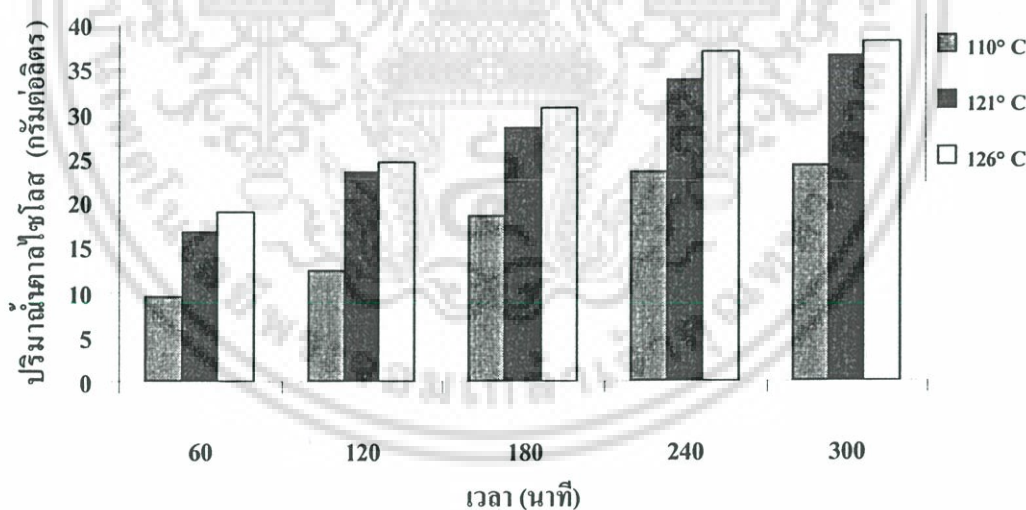
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด (กรัมต่อลิตร)
110	27.8734 <sup>b</sup>
121	41.0313 <sup>a</sup>
126	41.6462 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส เวลาในการย่อยสลายในช่วงกว้างคือ 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที พบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายซังข้าวโพดในแต่ละอุณหภูมิคือ 180 ถึง 300 นาที ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพด (ช่วงกว้าง)

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
60	9.4073	16.6625	18.8965
120	12.3381	23.3645	24.4917
180	18.4866	28.4063	30.5993
240	23.2825	33.7145	36.9118
300	24.1433	36.3379	38.0390



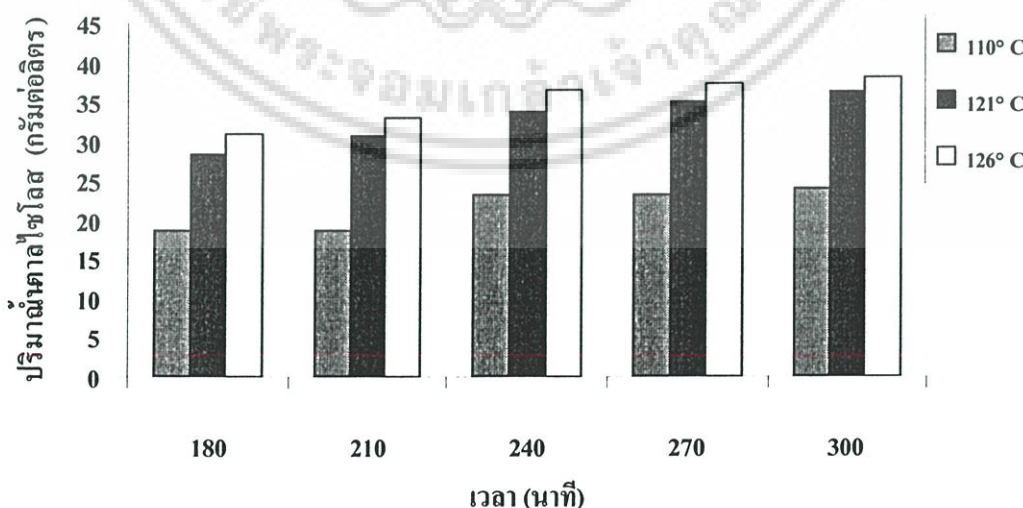
ภาพที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพด (ช่วงกว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายซังข้าวโพดในแต่ละอุณหภูมิมาแปรผันให้มีความถี่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 180, 210, 240, 270 และ 300 นาที ผลจากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 121 และ 126 องศาเซลเซียส ที่เวลา 270 และ 300 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดโดยเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายคือ 300 นาที โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเป็น 24.1433 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 121 และ 126 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายคือ 270 นาที โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลส 35.0262 และ 37.3012 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพด

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
180	18.5891 <sup>c</sup>	28.3653 <sup>d</sup>	30.8657 <sup>d</sup>
210	18.5686 <sup>c</sup>	30.6402 <sup>c</sup>	33.0792 <sup>c</sup>
240	23.1800 <sup>b</sup>	33.7760 <sup>b</sup>	36.6863 <sup>b</sup>
270	23.3030 <sup>b</sup>	35.0262 <sup>a</sup>	37.3012 <sup>a</sup>
300	24.1433 <sup>a</sup>	36.3584 <sup>a</sup>	38.1415 <sup>a</sup>



ภาพที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายซังข้าวโพดที่เวลาที่เหมาะสมในแต่ละอุณหภูมิมาศึกษาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย โดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียสให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด จากการศึกษาที่ได้ทำให้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายซังข้าวโพดคือที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 270 นาที ดังตารางที่ 4.6

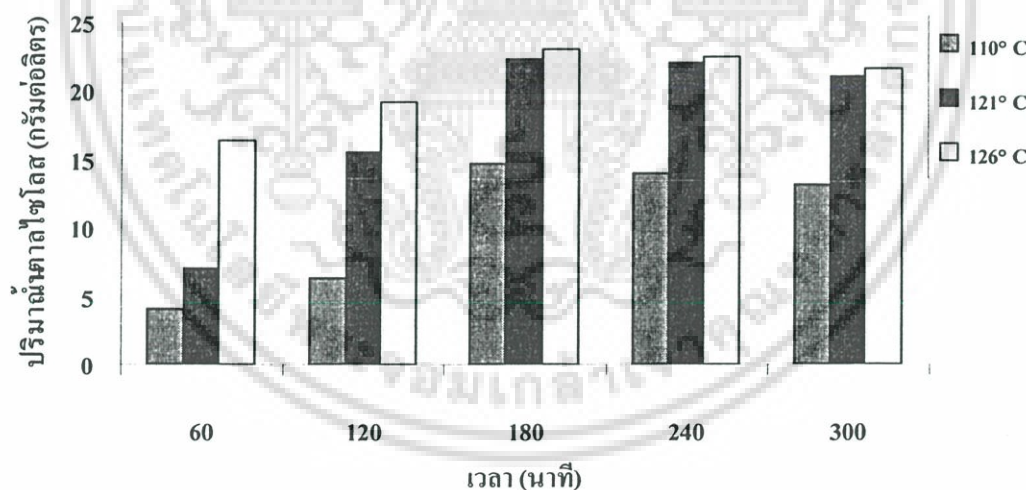
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายซังข้าวโพด

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด (กรัมต่อลิตร)
110	24.1433 <sup>c</sup>
121	35.0262 <sup>b</sup>
126	37.3012 <sup>a</sup>

ผลการศึกษาคาร์บอนที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย่อยสลายในช่วงกว้างคือ 60, 120, 180, 240, 270 และ 300 นาที พบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายคือ 120 ถึง 240 นาที ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจากสับประรด (ช่วงกว้าง)

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
60	4.1093	7.0401	16.3551
120	6.4150	15.5661	19.2757
180	14.6745	22.3192	22.9853
240	13.9162	22.0118	22.4524
300	13.1476	21.0383	21.5711



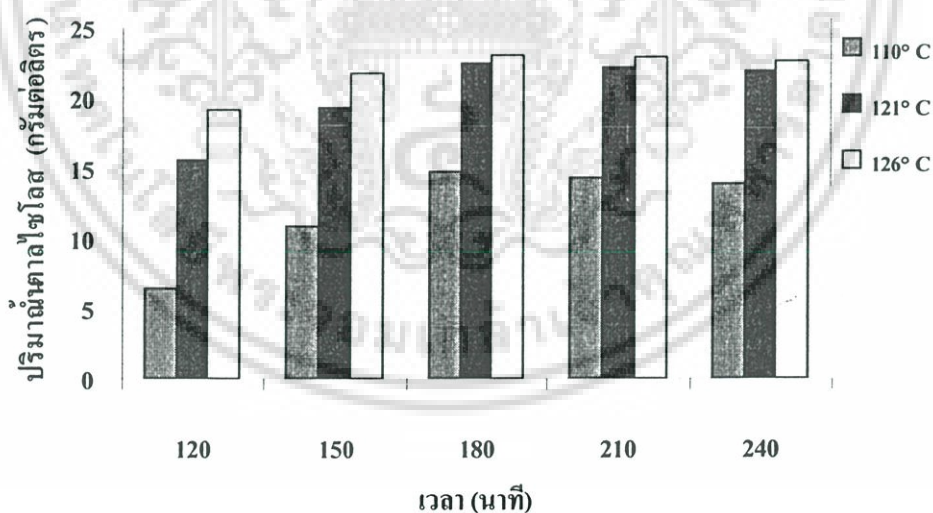
ภาพที่ 4.5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจากสับประรด (ช่วงกว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้เวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายจากสับประรดในแต่ละอุณหภูมิมาแปรผันให้มีความถี่เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที จากผลการศึกษาพบว่าในแต่ละอุณหภูมิมิมีระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 180 นาที โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเป็น 14.6950, 22.3705 และ 23.0366 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจากสับประรด

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ 110°C	อุณหภูมิ 121°C	อุณหภูมิ 126°C
120	6.3740 <sup>c</sup>	15.5353 <sup>c</sup>	19.1015 <sup>c</sup>
150	10.9239 <sup>d</sup>	19.2859 <sup>d</sup>	21.6634 <sup>d</sup>
180	14.6950 <sup>a</sup>	22.3705 <sup>a</sup>	23.0366 <sup>a</sup>
210	14.2544 <sup>b</sup>	22.2065 <sup>b</sup>	22.8214 <sup>b</sup>
240	13.824 <sup>c</sup>	21.9196 <sup>c</sup>	22.5549 <sup>c</sup>



ภาพที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย่อยสลายจากสับประรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายจุกสับประดที่ระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละอุณหภูมิมาศึกษาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย โดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด จากการศึกษาที่ได้ทำให้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายจุกสับประดคือที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 180 นาที ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายจุกสับประด

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด (กรัมต่อลิตร)
110	14.6950 <sup>c</sup>
121	22.3705 <sup>b</sup>
126	23.0365 <sup>a</sup>

จากผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายขานอ้อย ชังข้าวโพด และจุกสับประด ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร พบว่าขานอ้อยมีสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ชังข้าวโพดมีสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที และจุกสับประดมีสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที โดยสภาวะที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวจะนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

#### 4.1.2 ผลศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

##### วัตถุดิบ

การศึกษการย่อยสลายวัตถุดิบด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมในการย่อยสลาย โดยในขั้นแรกจะศึกษาความเข้มข้นกรดในช่วงกว้างคือ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลต่อลิตร เพื่อหาช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายแต่ละวัตถุดิบ เมื่อได้ช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมของแต่ละวัตถุดิบแล้วจะนำช่วงความเข้มข้นกรดดังกล่าวมาแปรผันให้มีความถี่มากขึ้น เพื่อให้ได้ความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายในแต่ละวัตถุดิบ แต่เนื่องจากว่าเมื่อศึกษาขานอ้อยด้วยความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นกรด 1.0 โมลต่อลิตร มีปริมาณน้ำตาลไซโลสต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 อย่างมาก จึงมิได้ศึกษาความเข้มข้นกรดในช่วงกว้างของขานอ้อย ซึ่งแตกต่างจากชังข้าวโพดและจุกสับประด โดยที่ชังข้าวโพดจะมีช่วงความเข้มข้นกรดที่ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 โมลต่อลิตร ซึ่งที่ความเข้มข้นของสารละลายกรด 0.5 โมลต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด จึงศึกษาความเข้มข้นกรด

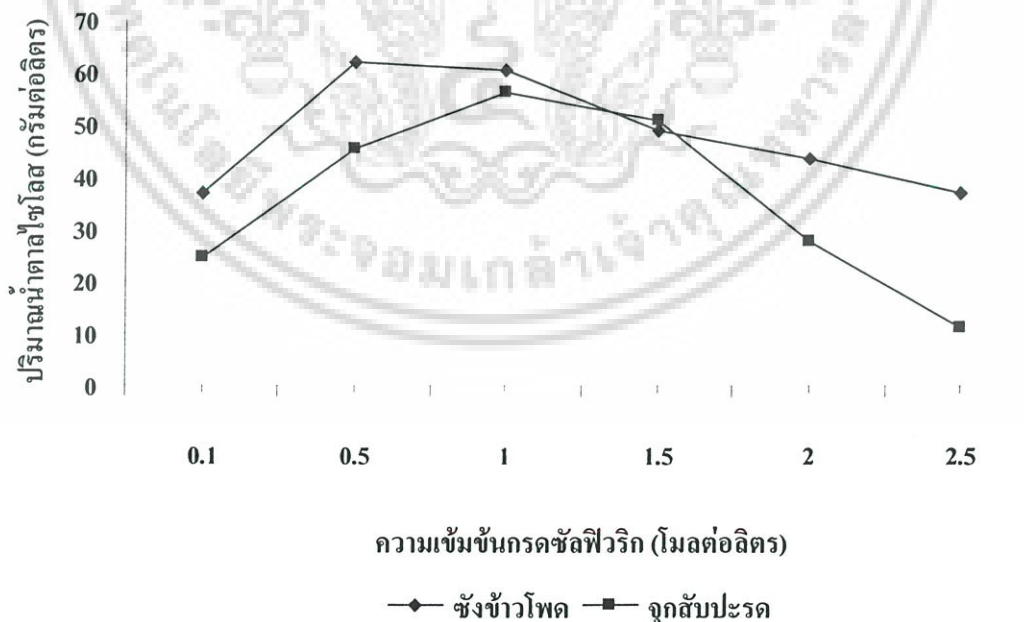
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นใบเสร็จประเภชชดกันการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 โมลต่อลิตร เพื่อให้ครอบคลุมมากขึ้น สำหรับจุดสับประคจะมีช่วงความเข้มข้นกรดที่ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.5 โมลต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นกรด 1.0 โมลต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุด จึงศึกษาความเข้มข้นกรดตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 โมลต่อลิตร เพื่อให้ครอบคลุมมากขึ้น ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายซังข้าวโพดและจุดสับประคจากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (ช่วงกว้าง)

ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	
	ซังข้าวโพด	จุดสับประค
0.1	37.0552	24.4302
0.5	61.7724	45.3702
1.0	60.2558	56.1421
1.5	49.0244	50.7724
2.0	43.2858	27.7504
2.5	36.8093	11.2723



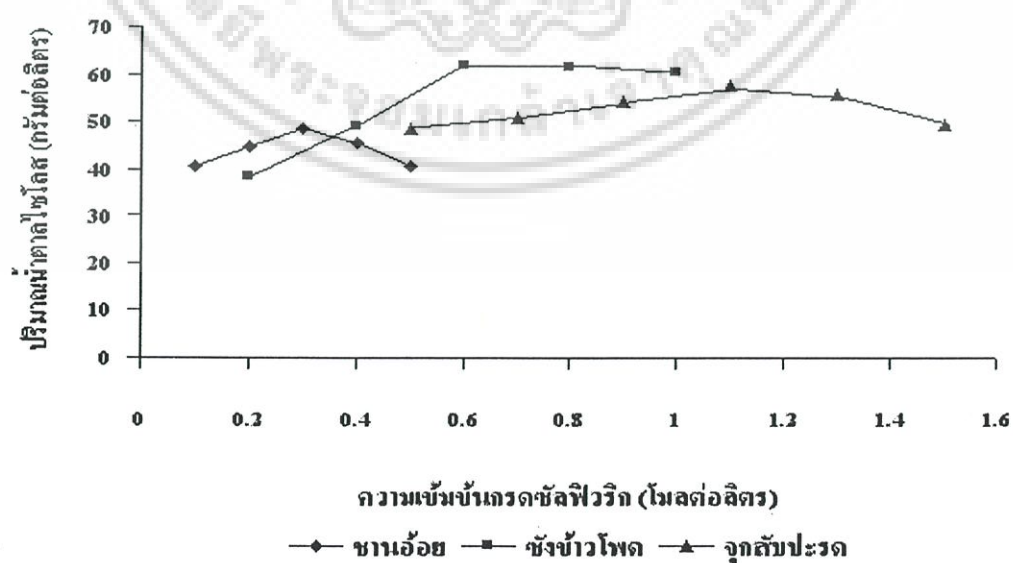
ภาพที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายซังข้าวโพดและจุดสับประคจากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (ช่วงกว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทราบถึงช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายวัตถุดิบแต่ละชนิดแล้ว ก็ให้นำช่วงความเข้มข้นกรดดังกล่าวมาแปรผันให้มีระยะห่างของความเข้มข้นกรดลดลง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมที่สุด โดยชานอ้อยจะศึกษาที่ความเข้มข้นกรดดังนี้คือ 0.4, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โมลต่อลิตร ย่อยสลายที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 (วัตถุดิบต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก) จากนั้นนำปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นกรดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ความเข้มข้นกรด 0.3 โมลต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเท่ากับ 48.3686 กรัมต่อลิตร สำหรับซังข้าวโพดที่มีช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.1 ถึง 1.0 โมลต่อลิตร จึงได้ศึกษาที่ความเข้มข้นกรดดังนี้ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลต่อลิตร ย่อยสลายที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 (วัตถุดิบต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก) นำปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นกรดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าที่ความเข้มข้นกรด 0.6 และ 0.8 โมลต่อลิตร ให้ค่าทางสถิติสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นกรดที่ 0.6 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายซังข้าวโพด โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 61.8134 กรัมต่อลิตร และถูกสับประสมมีช่วงความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมที่ 0.5 ถึง 1.5 โมลต่อลิตร จึงได้ศึกษาความเข้มข้นกรดดังนี้คือ 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 และ 1.5 โมลต่อลิตร ย่อยสลายที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 (วัตถุดิบต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก) นำปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นกรดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความเข้มข้นกรด 1.1 โมลต่อลิตรให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเท่ากับ 57.4684 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย ชังข้าวโพด จุกสับประรด) จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก

ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)		
	ชานอ้อย	ชังข้าวโพด	จุกสับประรด
0.1	40.4984 <sup>c</sup>		
0.2	44.8024 <sup>b</sup>	38.5719 <sup>d</sup>	
0.3	48.3686 <sup>a</sup>		
0.4	45.4173 <sup>b</sup>	48.7375 <sup>c</sup>	
0.5	40.7854 <sup>c</sup>		48.3686 <sup>f</sup>
0.6		61.8134 <sup>a</sup>	
0.7			50.4181 <sup>d</sup>
0.8		61.4035 <sup>a</sup>	
0.9			53.7383 <sup>c</sup>
1.0		60.1738 <sup>b</sup>	
1.1			57.4684 <sup>a</sup>
1.2			
1.3			55.6239 <sup>b</sup>
1.4			
1.5			49.7213 <sup>c</sup>



ภาพที่ 4.8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบ (ชานอ้อย ชังข้าวโพด จุกสับประรด) จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการย่อยสลายพบว่าความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายชานอ้อยคือ 0.3 โมลต่อลิตร โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 48.3686 กรัมต่อลิตร สำหรับซังข้าวโพดมีความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมคือ 0.6 โมลต่อลิตร ซึ่งให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 61.8134 กรัมต่อลิตร และจุลชีพประคมีมีความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมในการย่อยสลายคือ 1.1 โมลต่อลิตร โดยให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 57.4684 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะนำไปใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

Dominguez *et. al.* (1997) ศึกษาการย่อยซังข้าวโพดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงสุดเท่ากับ 75.5 กรัมต่อลิตร และตั้งแต่ความเข้มข้นกรดร้อยละ 3.0 ขึ้นไปจะให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นกรดที่เพิ่มขึ้น

#### 4.1.3 ผลการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก

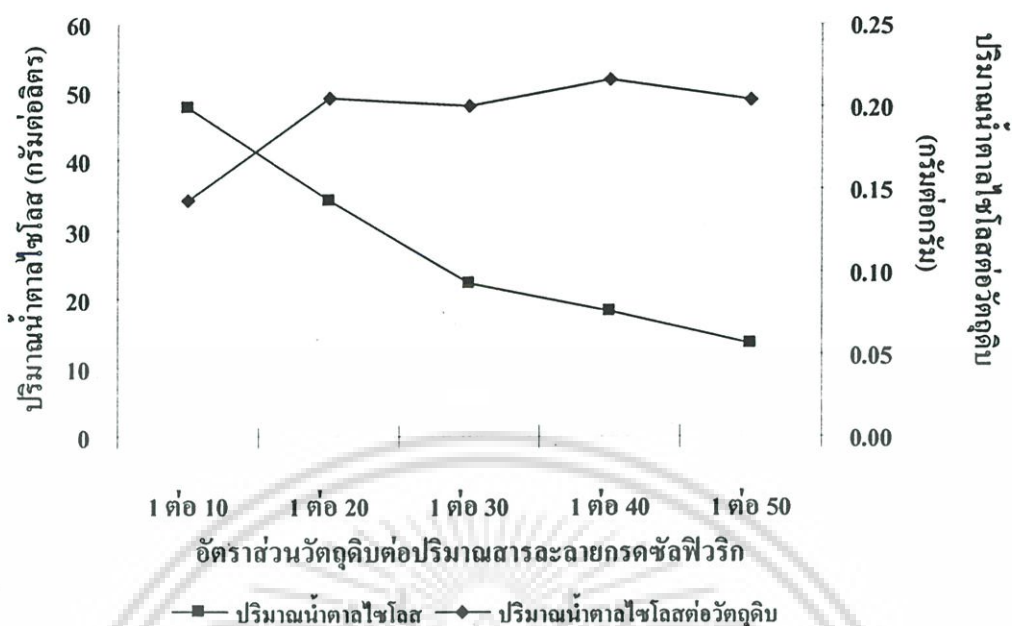
การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลายระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเพื่อต้องการอัตราส่วนที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงสุด โดยศึกษาการแปรผันอัตราส่วนในการย่อยสลายของแต่ละวัตถุดิบคือ 1 ต่อ 10 1 ต่อ 20 1 ต่อ 30 1 ต่อ 40 และ 1 ต่อ 50 ซึ่งใช้สภาวะการย่อยสลายที่เหมาะสมของแต่ละวัตถุดิบจากผลการทดลองในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 พบว่าชานอ้อยมีผลได้ของน้ำตาลไซโลสต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ให้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด (การคำนวณจากภาคผนวก ข) ถึงแม้ว่าที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดแต่เหตุผลที่คำนึงถึงคือปริมาณน้ำตาลไซโลสเริ่มต้นในการเลี้ยงเชื้อ จึงคัดเลือกอัตราส่วน 1 ต่อ 20 ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 34.2269 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบในการย่อยสลายชานอ้อยจากการศึกษ้อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ (กรัมต่อกรัม)
1 ต่อ 10	47.6717	0.1049
1 ต่อ 20	34.2269	0.1506
1 ต่อ 30	22.2167	0.1466
1 ต่อ 40	18.0357	0.1587
1 ต่อ 50	13.5678	0.1492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



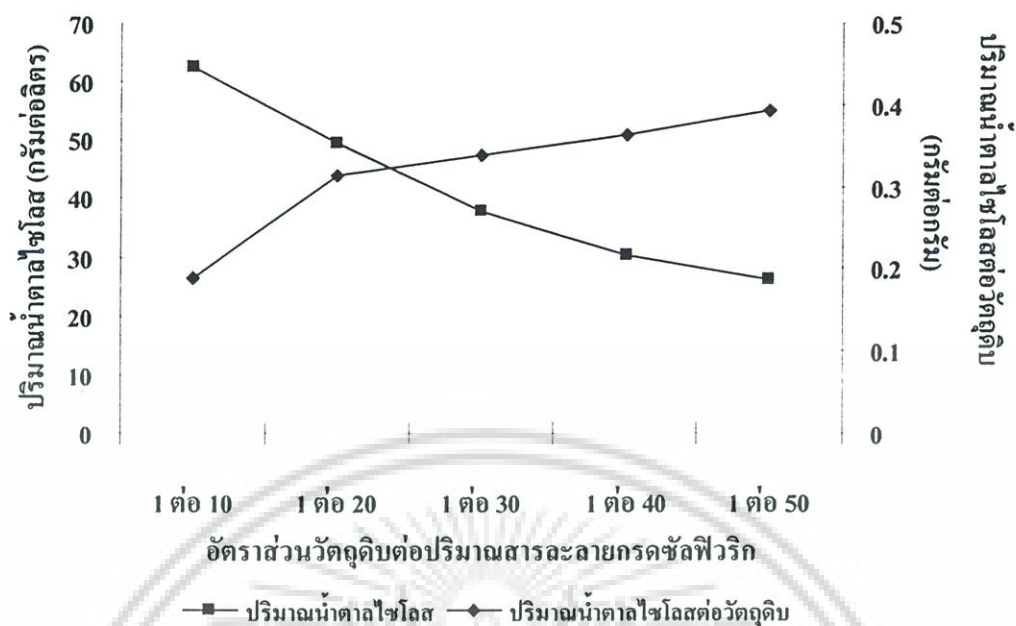
ภาพที่ 4.9 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบในการย่อยสลายขานอ้อยจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลายขังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ด้วยความเข้มข้นกรด 0.6 โมลต่อลิตร พบว่าอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลได้ของน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นด้วย แต่เลือกที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ด้วยเหตุที่ความต้องการปริมาณน้ำตาลไซโลสเริ่มต้นสูงเพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอล ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 49.2703 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.13 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบในการย่อยสลายขังข้าวโพดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตถุดิบ (กรัมต่อกรัม)
1 ต่อ 10	62.5512	0.1418
1 ต่อ 20	49.2703	0.1865
1 ต่อ 30	37.7111	0.2032
1 ต่อ 40	30.2099	0.2094
1 ต่อ 50	26.1108	0.2259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



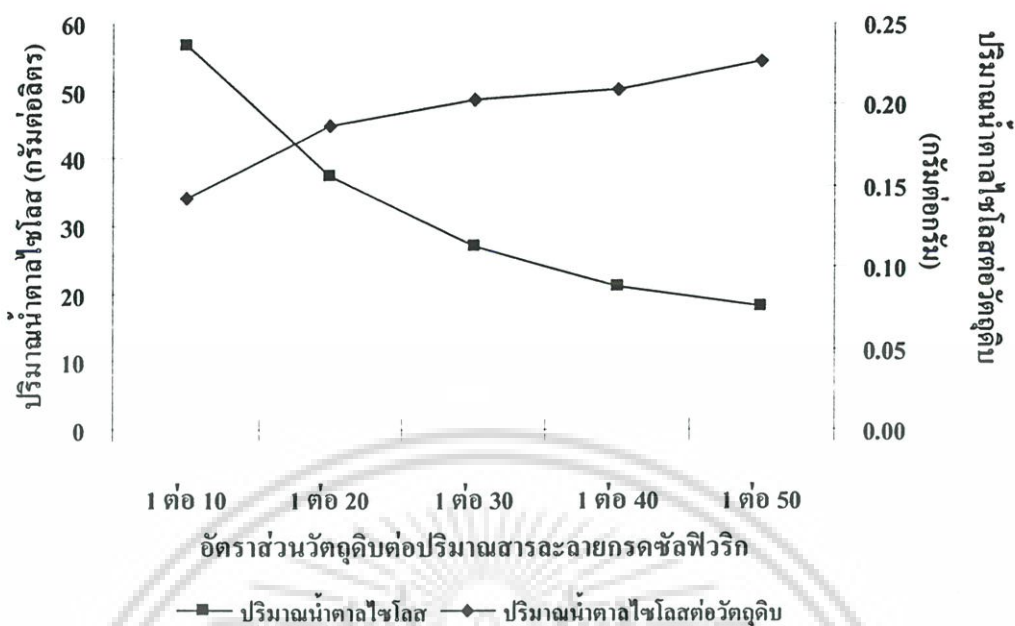
ภาพที่ 4.10 ปริมาณน้ำตาดไซโลสและปริมาณน้ำตาดไซโลสต่อวัตถุขี้ตดในการย่อยสลายขังข้าวโพดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัตถุขี้ตดต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลายจุกสับประดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที ด้วยความเข้มข้นกรด 1.1 โมลต่อลิตร พบว่าอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลได้ของน้ำตาดไซโลสเพิ่มขึ้นด้วย แต่เลือกที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ด้วยเหตุที่ต้องการปริมาณน้ำตาดไซโลสเริ่มต้นสูงเพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตน้ำตาดไซลิทอล ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาดไซโลสเท่ากับ 37.3012 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.14 ปริมาณน้ำตาดไซโลสและปริมาณน้ำตาดไซโลสต่อวัตถุขี้ตดในการย่อยสลายจุกสับประดจากการศึกษ้อัตราส่วนระหว่างวัตถุขี้ตดต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

อัตราส่วนวัตถุขี้ตดต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ปริมาณน้ำตาดไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาดไซโลสต่อวัตถุขี้ตด (กรัมต่อกรัม)
1 ต่อ 10	56.7306	0.1418
1 ต่อ 20	37.3012	0.1865
1 ต่อ 30	27.0946	0.2032
1 ต่อ 40	20.9460	0.2094
1 ต่อ 50	18.0767	0.2259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสและปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อยีสต์ในการย่อยสลายจุกสับประรดจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างยีสต์ต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายขานอ้อย ชังข้าวโพด และจุกสับประรด เพื่อคัดเลือกเป็นยีสต์เริ่มต้นในการย่อยสลายให้ได้น้ำตาลไซโลสเพื่อนำไปผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายขานอ้อยคือที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วนยีสต์ต่อสารละลายกรด 1 ต่อ 20 ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 34.2269 กรัมต่อลิตร สำหรับชังข้าวโพดมีสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายคือที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 270 นาที ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.6 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วนยีสต์ต่อสารละลายกรด 1 ต่อ 20 ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 49.2703 กรัมต่อลิตร และจุกสับประรดมีสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายคือที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.1 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วนยีสต์ต่อสารละลายกรด 1 ต่อ 20 ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสเท่ากับ 37.3012 กรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นจึงได้เลือกชังข้าวโพดมาเป็นยีสต์เริ่มต้นในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยเหตุที่ชังข้าวโพดให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสมากกว่าขานอ้อย 1.44 เท่า และมากกว่าจุกสับประรด 1.32 เท่า แม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการย่อยสลายสูงกว่าขานอ้อยในระยะเวลาที่เท่ากันแต่ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้มีมากกว่าค่อนข้างมาก และแม้ว่าสภาวะในการย่อยสลายของจุกสับประรดจะใช้เวลาน้อยกว่าแต่ก็ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสต่ำกว่าด้วย และยังใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลฟิวริกสูงกว่าซังข้าวโพด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเลือกซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลต่อไป

Parajo *et. al.* (1997) ศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยเชื้อ *Debaryomyces hansenii* NRRL Y-4426 ในไฮโดรไลสที่ได้จากการย่อยสลายไม้ยูคาลิปตัส ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3.0 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารละลายกรด 8 กรัมต่อกรัม ได้ปริมาณน้ำตาลไซโลส 18 กรัม

Rodrigues *et. al.* (1999) ศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วย *Candida guilliermondii* FTI 20037 ในไฮโดรไลสที่ได้จากการย่อยสลายขานอ้อยโดยได้น้ำตาลไซโลส 18.5 กรัม

Nigam (2001) ศึกษาการผลิตเอทานอลด้วย *Pichia stipitis* ในไฮโดรไลสที่ได้จากฟางข้าวสาลี จะได้ปริมาณน้ำตาลไซโลสประมาณ 13 กรัม

ก่อนที่จะศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงได้ทำการศึกษาค่าที่จะนำมาใช้ปรับค่าพีเอชทั้งหมด 5 ชนิดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO<sub>3</sub>) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaOH) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งต่างแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

#### NaOH

**ข้อดี** เป็นด่างแก่ทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว ละลายได้ดี และปรับค่าพีเอชได้รวดเร็ว

**ข้อเสีย** ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงและเกิดความร้อนสูง สูญเสียปริมาณน้ำตาลไซโลสมากเนื่องจากปฏิกิริยาที่รุนแรง และมีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากประจุโซเดียม (Na<sup>+</sup>) เป็นพิษต่อเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์

#### NaCO<sub>3</sub>

**ข้อดี** เป็นด่างอ่อนละลายได้ดีแต่ช้ากว่า NaOH ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูญเสียในปฏิกิริยาน้อย

**ข้อเสีย** ค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนอย่างช้า ๆ และต้องใช้ปริมาณมาก มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากประจุโซเดียม (Na<sup>+</sup>) เป็นพิษต่อเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์

#### CaO

**ข้อดี** เป็นด่างอ่อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูญเสียน้อย แยกตะกอนออกจากไฮโดรไลสได้ง่ายด้วยการปั่นเหวี่ยง ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาในการปรับค่าพีเอชน้อยเมื่อเทียบกับค่าในตระกูลแคลเซียมด้วยกัน แต่ช้ากว่าสองชนิดแรก

**ข้อเสีย** เกิดตะกอนแคลเซียมทำให้สูญเสียไฮโดรไลเซสไปบางส่วน

#### CaOH

**ข้อดี** เป็นค่าอ่อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง ปริมาณน้ำตาลไฮโดรสูญเสียเล็กน้อย แยกตะกอนออกจากไฮโดรไลเซสได้ง่ายด้วยการปั่นเหวี่ยง ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ใช้ระยะเวลาในการปรับค่าพีเอชน้อยเมื่อเทียบกับค่าในตระกูลแคลเซียมด้วยกัน แต่ช้ากว่าสองชนิดแรก

**ข้อเสีย** เกิดตะกอนแคลเซียมทำให้สูญเสียไฮโดรไลเซสไปบางส่วน ไฮโดรไลเซสมีความหนืดมากกว่า CaO

#### CaCO<sub>3</sub>

**ข้อดี** เป็นค่าอ่อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง ปริมาณน้ำตาลไฮโดรสูญเสียเล็กน้อย แยกตะกอนออกจากไฮโดรไลเซสได้ง่ายด้วยการปั่นเหวี่ยง ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ใช้ระยะเวลาในการปรับค่าพีเอชน้อยเมื่อเทียบกับค่าในตระกูลแคลเซียมด้วยกัน แต่ช้ากว่าสองชนิดแรก

**ข้อเสีย** ปรับค่าพีเอชได้ช้ามาก ใช้ระยะเวลานาน เกิดตะกอนแคลเซียมทำให้สูญเสียไฮโดรไลเซสไปบางส่วน ไฮโดรไลเซสมีความหนืดมากกว่า CaO

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกแคลเซียมออกไซด์มาใช้ในการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงต่อไป

## 4.2 ผลการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง

จากผลการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงโดยการปรับค่าพีเอชของไฮโดรไลเซสเป็น 10.5 ด้วยแคลเซียมออกไซด์จากนั้นทำการตกตะกอนแคลเซียมด้วยการปั่นเหวี่ยง จากนั้นนำไฮโดรไลเซสที่ได้มาลดค่าพีเอชลงเหลือ 5.5 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 13 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นนำไฮโดรไลเซสที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมาเตรียมเป็นอาหารเพื่อเลี้ยงเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 บนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อดูอัตราการเจริญของเชื้อ ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 54 โดยดูจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยมีค่าอัตราการเจริญเป็น 13.65 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.12

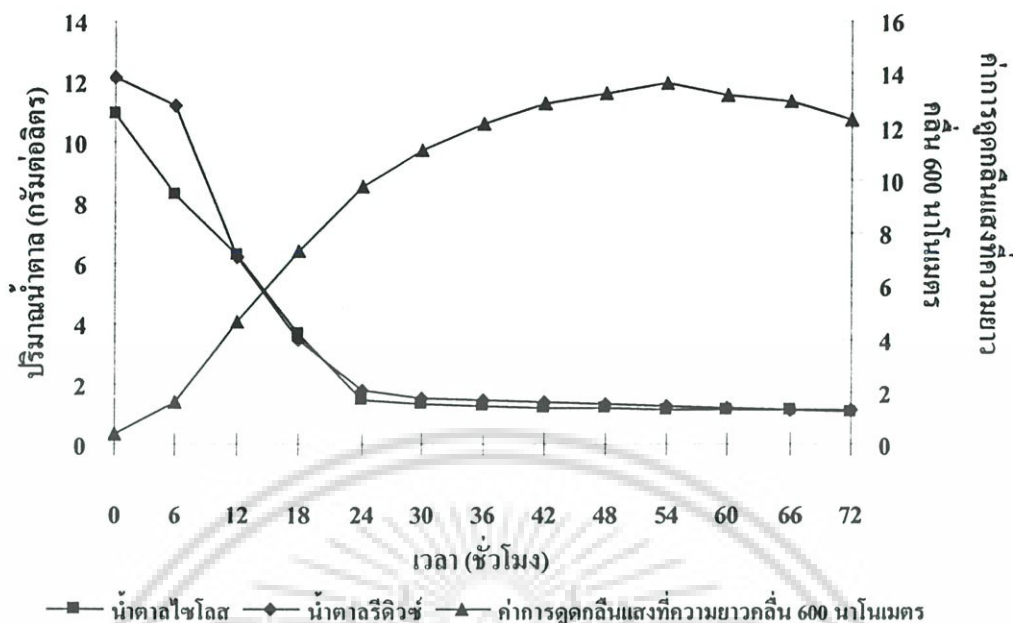
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladisch and Svarczkopf (1991) พบว่าการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสด้วยกรดหรือเอนไซม์ นอกจากจะให้สารประกอบของน้ำตาลคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม แล้วยังมีสารประกอบที่สำคัญ จำนวนหนึ่งของกรดยูโรนิก อะซิเตด เฟอฟูรอลและสารประกอบอะโรมาติกอื่น ๆ ด้วย

Weigert *et. al.* (1988) พบว่าเฟอฟูรอลจะยับยั้งการเจริญและกระบวนการหมักของ เซลล์ยีสต์โดยเอนไซม์ alcoholdehydrogenase จะสามารถตอบสนองต่อการลดลงของเฟอฟูรอล (มีผลในการยับยั้งอัตราการหายใจ) ไปเป็นเฟอฟูรอลแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อการเจริญ

ตารางที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณ สารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	10.9321	12.1218	0.346
6	8.2595	11.2294	1.600
12	6.2367	6.1899	4.610
18	3.6891	3.4695	7.350
24	1.4449	1.7670	9.780
30	1.3486	1.5233	11.150
36	1.2809	1.4516	12.120
42	1.2181	1.3799	12.850
48	1.1866	1.3154	13.266
54	1.1497	1.2545	13.650
60	1.1190	1.1753	13.216
66	1.1067	1.1541	12.933
72	1.0862	1.1362	12.283



ภาพที่ 4.12 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิง

### 4.3 ผลการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์

#### 4.3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์

จากผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในการลดปริมาณสารพิษด้วยอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทเป็น 1 ต่อ 100 โดยแปรผันระยะเวลาในการลดปริมาณสารพิษเป็น 0, 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าเมื่อนำไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการโอเวอร์ไลมิงที่ได้จากข้อ 4.2 มาทำการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ตามระยะเวลาดังกล่าว มาเตรียมเป็นอาหารและเปรียบเทียบอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 โดยเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 (ในอาหารไฮโดรไลเสทที่ไม่มีการลดสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์จะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 54) โดยดูได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยเรียงจากระยะเวลาเวลาน้อยไปมากเป็นดังนี้ 13.650, 15.683 (ตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.13) 15.500 (ตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.14) 15.783 (ตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.15) 15.76 (ตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.16) และ 15.9 (ตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.17) ตามลำดับ นำมาเปรียบเทียบอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารไฮโดรไลเสทที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการลดปริมาณสารพิษ (ภาพที่ 4.18) และเมื่อทำการวิเคราะห์อัตราการเจริญสูงสุดดังกล่าวเมื่อนำมาวิเคราะห์ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าที่ระยะเวลาในการลดสารที่ 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงพบว่าให้อัตราการเจริญสูงสุดของเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดังตารางที่ 4.21) จึงเลือกระยะเวลาในการลดสารพิษที่ 1 ชั่วโมง

Dominguez *et. al.* (1996) พบว่าเชื้อยีสต์ที่เลี้ยงในไฮโดรไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายชานอ้อยที่ผ่านการทำให้เป็นกลางและดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ จะใช้น้ำตาลไซโลสและผลิตน้ำตาลไซลิตอลได้ดีกว่าในไฮโดรไลเสทที่ผ่านการทำให้เป็นกลางเพียงอย่างเดียว

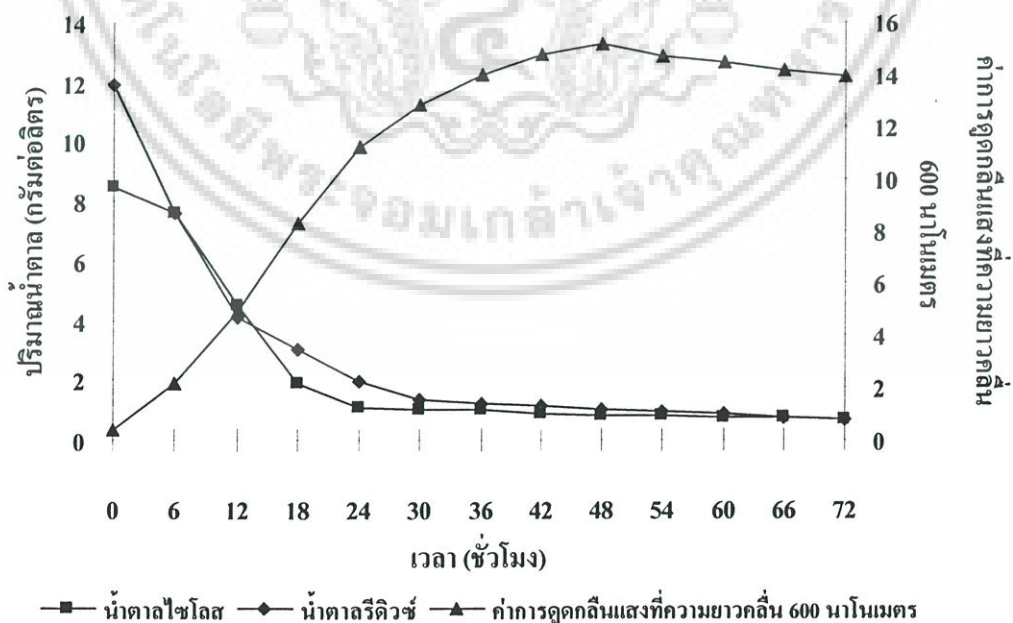
Tran and Chambers (1986) รายงานว่าการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์จะลดความเข้มข้นได้ทั้งกรดอะซิติกและสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการย่อยสลายไม้ด้วยสารละลายกรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.5137	11.8853	0.352
6	7.5893	7.6344	2.150
12	4.4761	4.1039	4.920
18	1.8568	3.0179	8.310
24	1.1063	1.9247	11.200
30	1.0124	1.3512	12.850
36	0.9884	1.2437	14.000
42	0.8915	1.1326	14.800
48	0.8259	1.0394	15.683
54	0.7911	0.9140	14.683
60	0.7685	0.8817	14.500
66	0.7501	0.7706	14.133
72	0.6886	0.7025	13.900

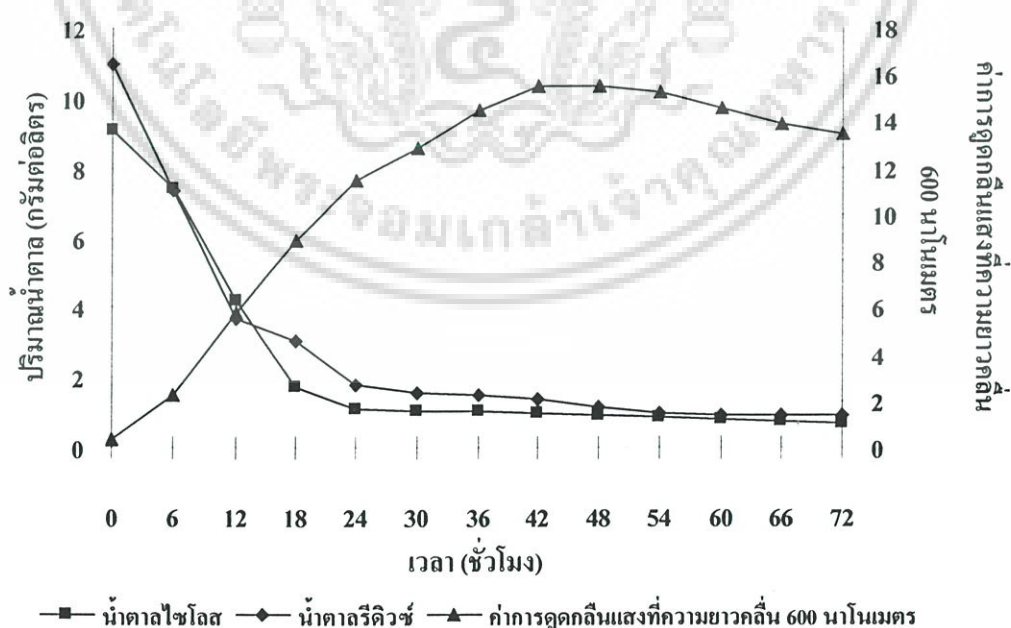


ภาพที่ 4.13 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิซ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	9.0793	10.9534	0.351
6	7.3864	7.3763	2.240
12	4.1646	3.6559	5.770
18	1.7503	3.0573	8.870
24	1.0719	1.7921	11.450
30	1.0493	1.5340	12.800
36	1.0206	1.4946	14.470
42	0.9530	1.3660	15.501
48	0.9099	1.1434	15.500
54	0.8341	1.0001	15.233
60	0.7870	0.9426	14.533
66	0.7624	0.9391	13.850
72	0.7071	0.9140	13.466

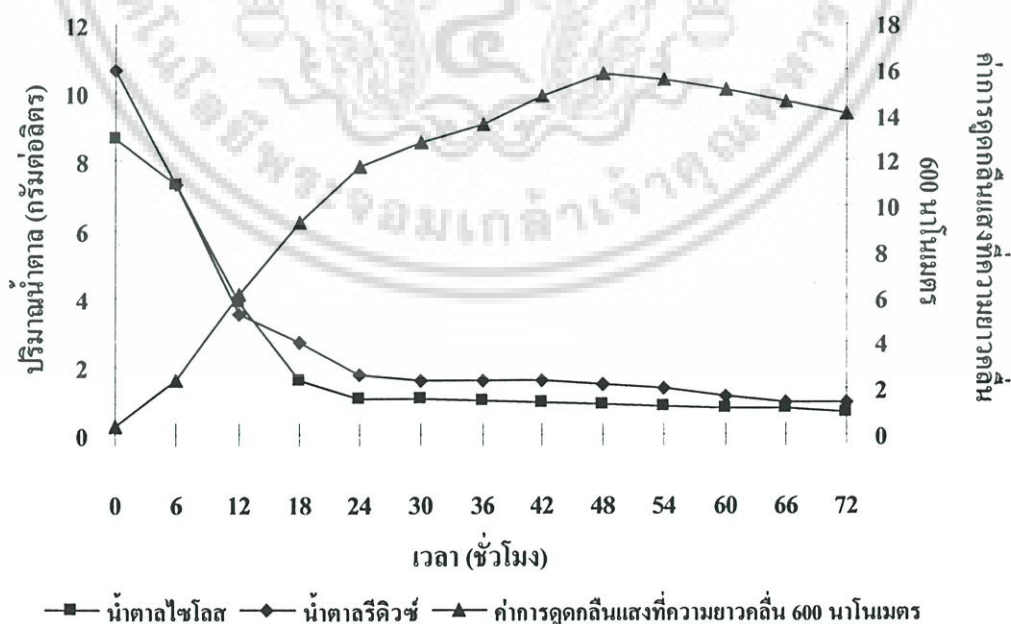


ภาพที่ 4.14 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิซ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.6510	10.6452	0.350
6	7.3393	7.3226	2.401
12	3.8428	3.5376	6.150
18	1.5658	2.7025	9.310
24	1.0473	1.7527	11.770
30	1.0329	1.5842	12.800
36	1.0022	1.5735	13.600
42	0.9099	1.5555	14.800
48	0.8854	1.4767	15.783
54	0.8280	1.3620	15.566
60	0.7788	1.1362	15.133
66	0.7399	0.9391	14.583
72	0.6722	0.9175	14.083

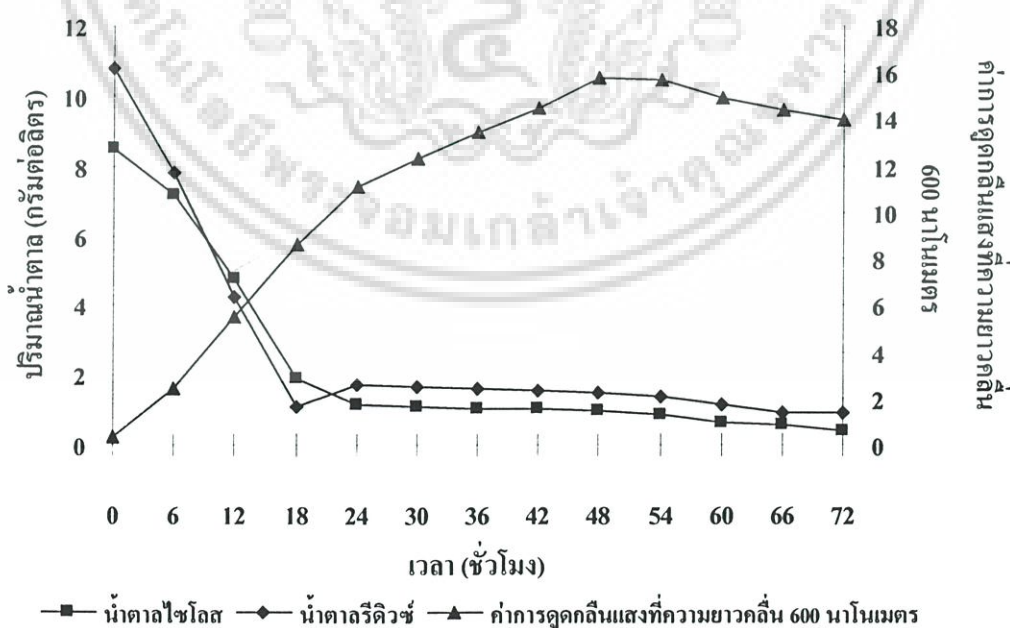


ภาพที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงมติให้รับการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.4993	10.7849	0.356
6	7.1487	7.81360	2.400
12	4.7733	4.2760	5.510
18	1.8773	1.1003	8.610
24	1.1231	1.7419	11.110
30	1.0985	1.6380	12.320
36	1.0350	1.6308	13.466
42	1.0206	1.5233	14.483
48	0.9878	1.4731	15.760
54	0.8874	1.3800	15.666
60	0.6353	1.1398	14.933
66	0.5964	0.9426	14.416
72	0.3976	0.9032	13.916

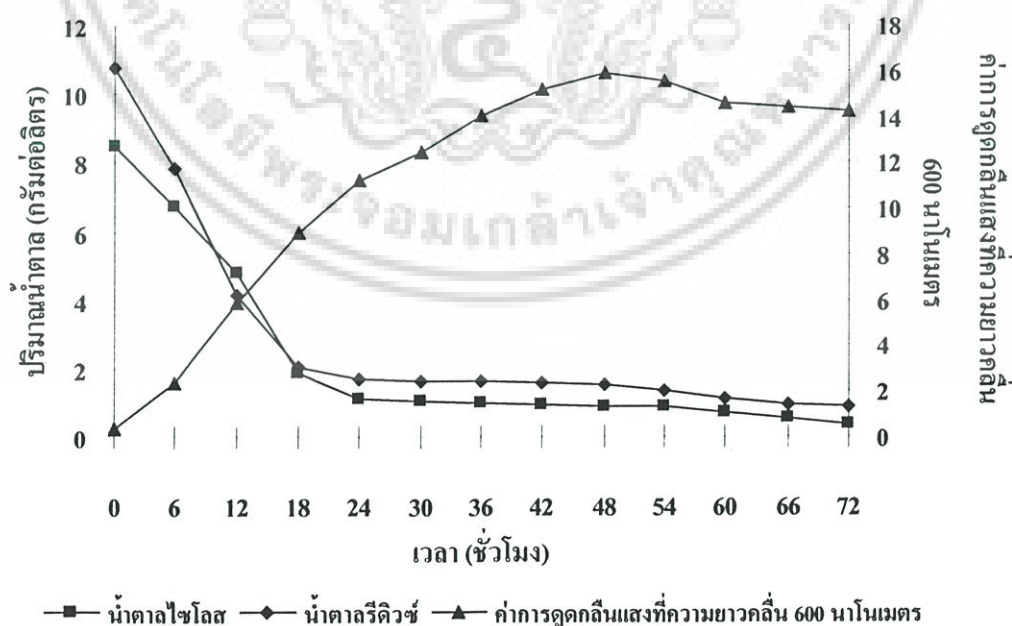


ภาพที่ 4.16 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

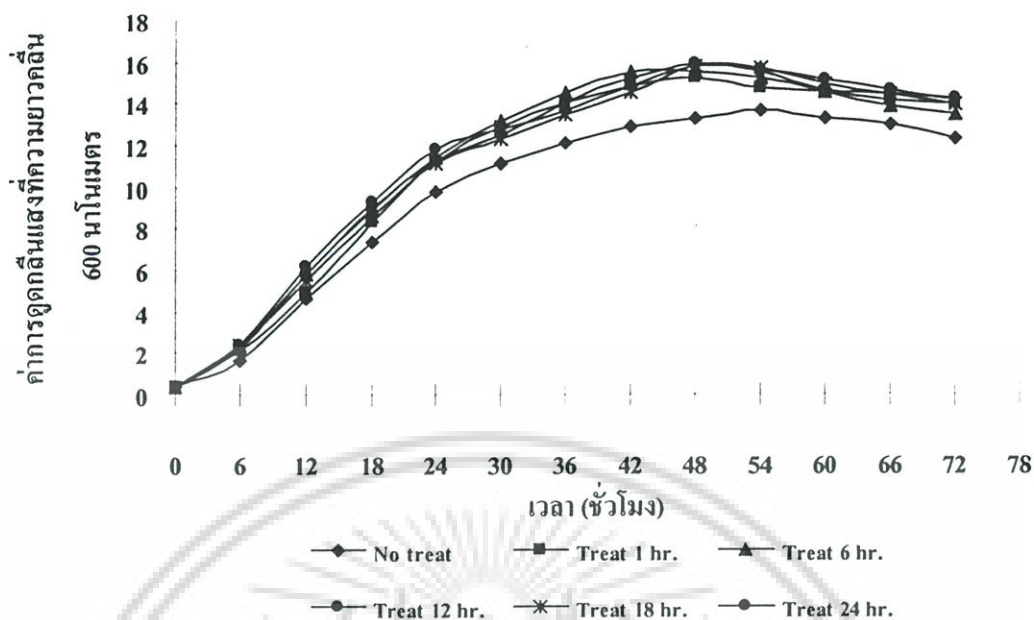
ตารางที่ 4.20 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.4604	10.7419	0.356
6	6.7326	7.8459	2.400
12	4.7795	4.1756	5.846
18	1.8876	2.0322	8.960
24	1.0985	1.7025	11.200
30	1.0555	1.6559	12.470
36	1.0227	1.6559	14.050
42	0.9468	1.5771	15.200
48	0.8936	1.5233	15.900
54	0.8505	1.3548	15.516
60	0.6743	1.1218	14.566
66	0.4980	0.9462	14.400
72	0.3730	0.9068	14.183



ภาพที่ 4.17 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่ 0, 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบเวลาที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์

เวลาในการลดปริมาณสารพิษ (ชั่วโมง)	อัตราการเจริญสูงสุด (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	13.6500 <sup>c</sup>
1	15.6833 <sup>ab</sup>
6	15.5000 <sup>b</sup>
12	15.7833 <sup>ab</sup>
18	15.8167 <sup>a</sup>
24	15.9000 <sup>a</sup>

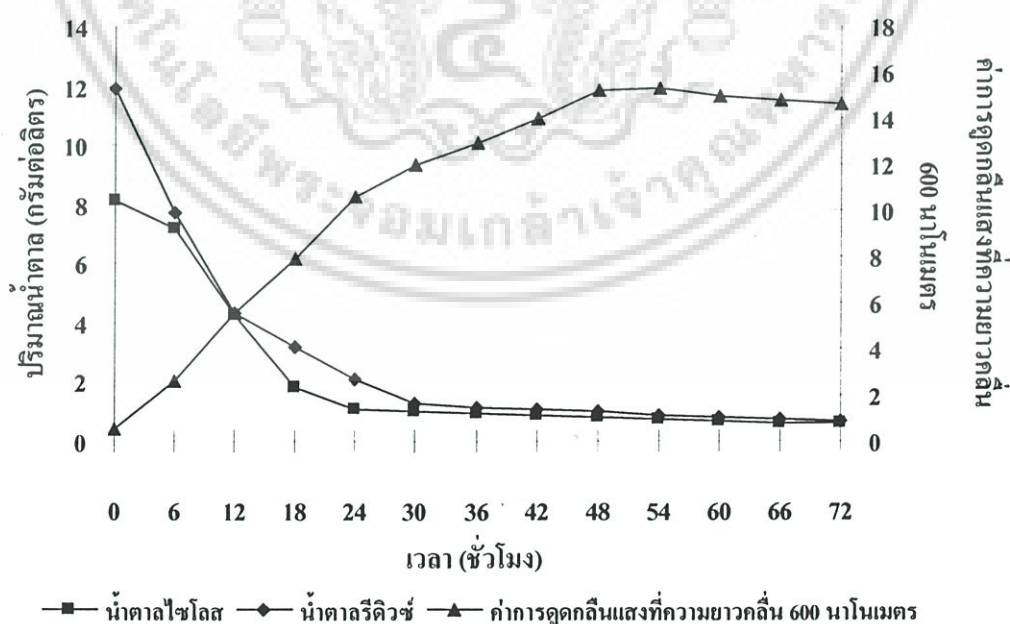
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์

จากผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์และไฮโดรไลเซตที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 1 ต่อ 25 1 ต่อ 50 1 ต่อ 100 และ 1 ต่อ 200 โดยใช้ระยะเวลาในการลดปริมาณสารพิษเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลจากการศึกษาในข้อ 4.3.1 ซึ่งเมื่อนำไฮโดรไลเซตที่ผ่านการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สิ่งที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนคือสีของไฮโดรไลเซตจะมีความแตกต่างกัน โดยที่ไฮโดรไลเซตที่มีอัตราส่วนระหว่างผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเซตน้อยจะใสกว่าอัตราส่วนที่มาก หลังจากนั้นนำมาเตรียมเป็นอาหารเพื่อคู่อัตราการเจริญของเชื้อ *C.tropicalis* TISTR 5045 โดยเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในสถานะที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 โดยดูได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยมีค่าอัตราการเจริญเป็น 15.300 (ตารางที่ 4.22 และภาพที่ 4.19) 15.183 (ตารางที่ 4.23 และภาพที่ 4.20) 15.166 (ตารางที่ 4.24 และภาพที่ 4.21) และ 13.866 (ตารางที่ 4.25 และภาพที่ 4.22) โดยเรียงลำดับจากค่าอัตราส่วนน้อยไปหามาก นำมาเปรียบเทียบอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารไฮโดรไลเซตที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในการลดปริมาณสารพิษ (ภาพที่ 4.23) เมื่อนำค่าอัตราการเจริญสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนมาวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าที่อัตราส่วน 1 ต่อ 100 1 ต่อ 50 และ 1 ต่อ 25 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 200 ให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดังตารางที่ 4.26) จึงเลือกอัตราส่วนในการลดสารพิษของซังข้าวโพดด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 100 (ผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเซต)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.1017	11.8853	0.514
6	7.1876	7.6882	2.600
12	4.2404	4.3190	5.580
18	1.8240	3.2043	7.880
24	1.0534	2.0824	10.580
30	1.0145	1.2545	12.002
36	0.9284	1.1362	12.950
42	0.8792	1.0932	14.001
48	0.8013	0.9892	15.200
54	0.7317	0.8889	15.300
60	0.7071	0.8315	15.001
66	0.6394	0.7598	14.800
72	0.5964	0.6667	14.566

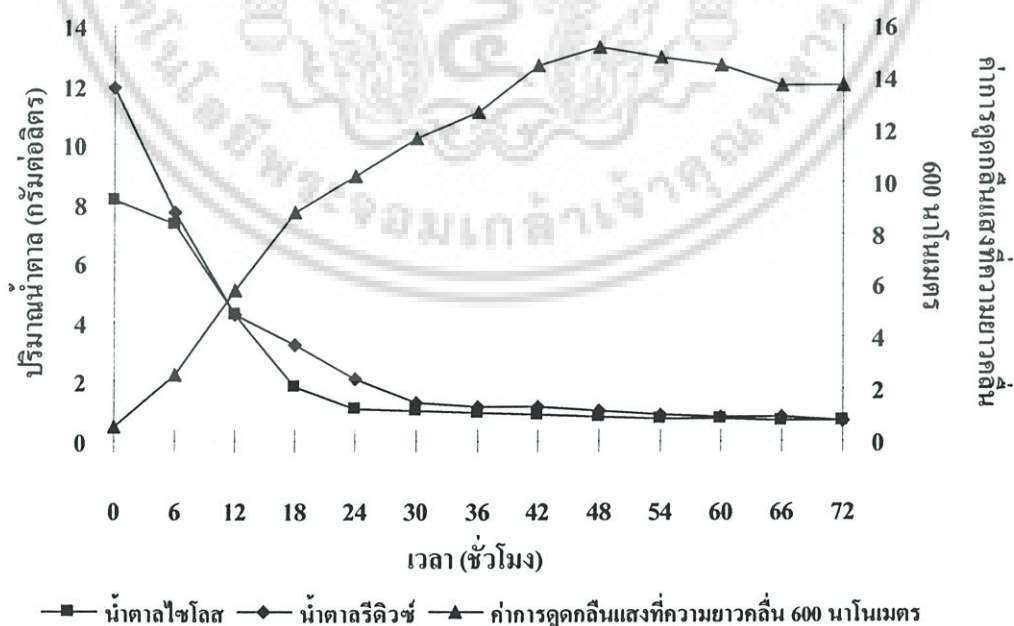


ภาพที่ 4.19 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.1427	11.9247	0.514
6	7.3085	7.7204	2.540
12	4.2363	4.2724	5.770
18	1.8568	3.2652	8.850
24	1.0616	2.1111	10.206
30	1.0329	1.3154	11.633
36	0.9182	1.1577	12.666
42	0.9099	1.1398	14.483
48	0.7952	1.0466	15.183
54	0.7255	0.9104	14.750
60	0.7153	0.8208	14.483
66	0.6517	0.7957	13.690
72	0.6789	0.6810	13.690

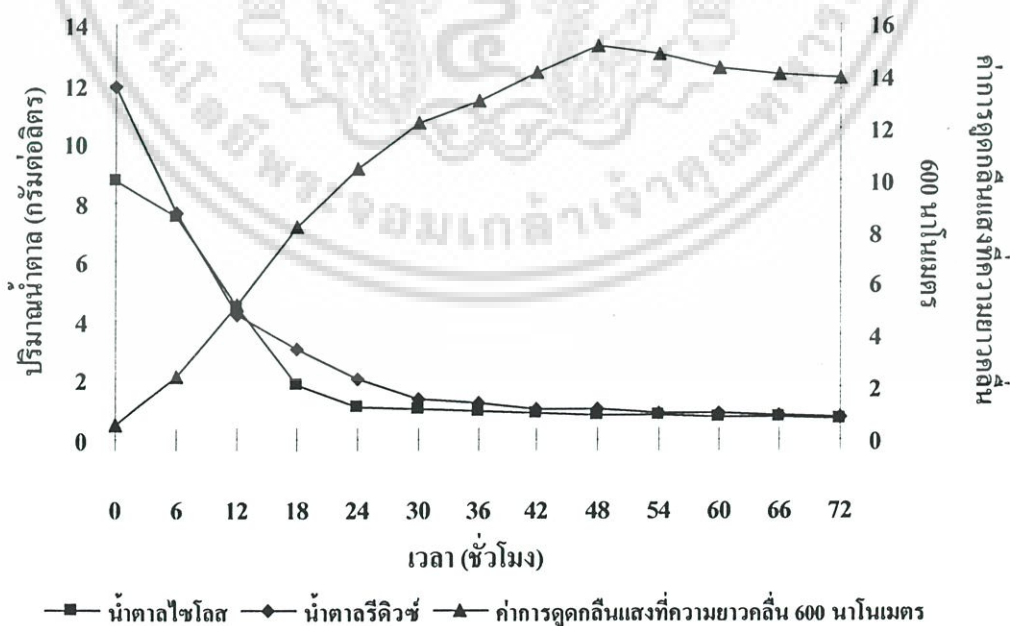


ภาพที่ 4.20 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิคซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิซ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.6981	11.9211	0.509
6	7.5340	7.6236	2.401
12	4.4700	4.1935	5.200
18	1.8076	3.0573	8.230
24	1.0760	2.0358	10.460
30	1.0125	1.3441	12.202
36	0.9325	1.1935	13.080
42	0.8874	1.0320	14.150
48	0.8239	1.0358	15.166
54	0.7788	0.9068	14.833
60	0.7665	0.8996	14.266
66	0.7522	0.8136	14.083
72	0.6866	0.7419	13.920

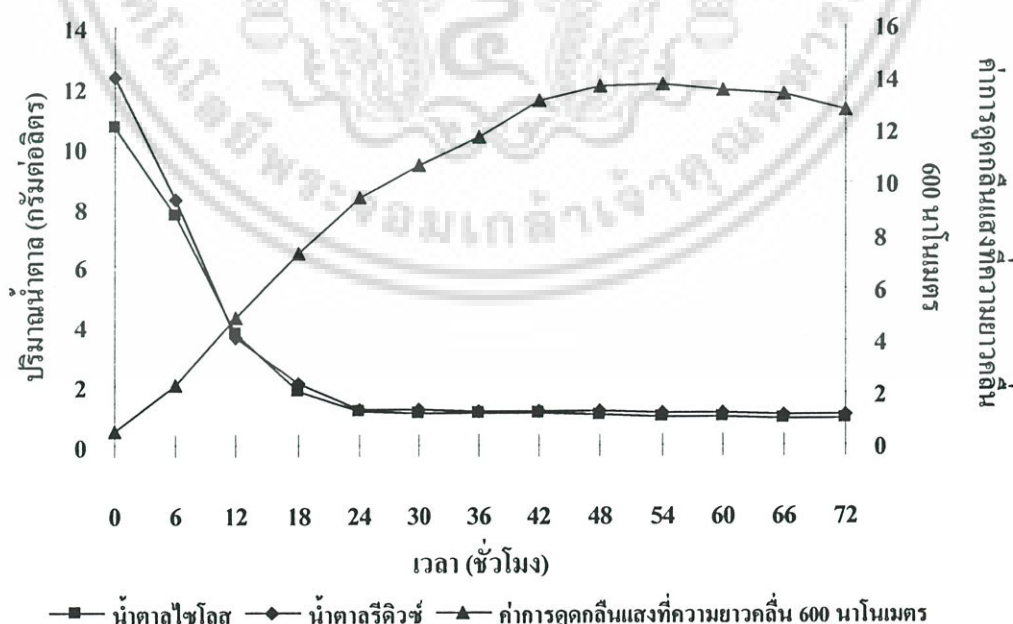


ภาพที่ 4.21 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

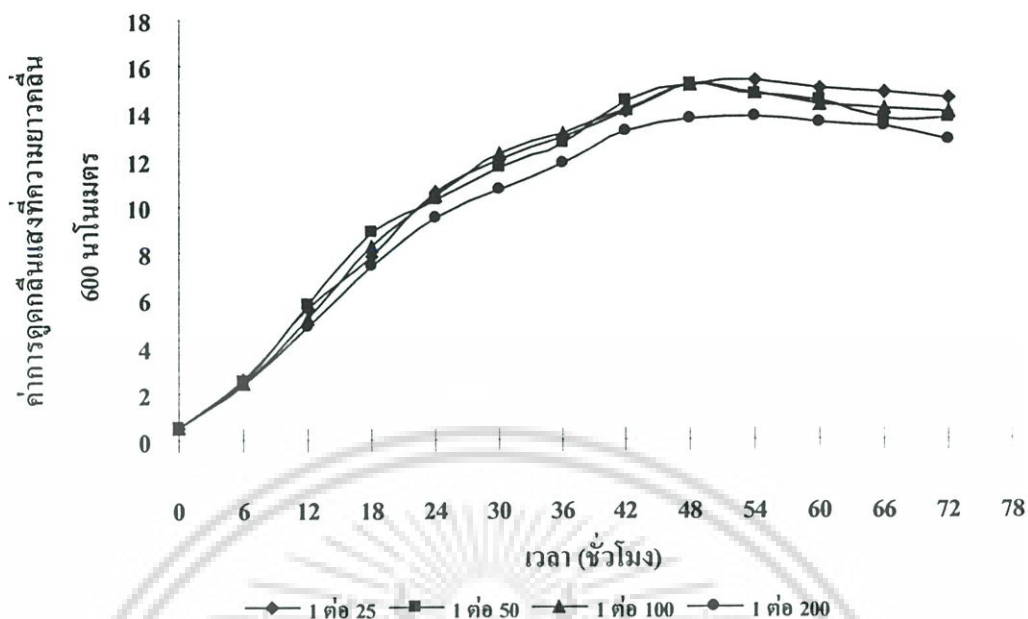
ตารางที่ 4.25 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 200

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	10.6636	12.3226	0.511
6	7.7082	8.2186	2.310
12	3.7444	3.6093	4.866
18	1.7995	2.0968	7.380
24	1.1252	1.2330	9.460
30	1.0760	1.1971	10.690
36	1.0575	1.1648	11.770
42	1.0452	1.1398	13.201
48	1.0288	1.1183	13.866
54	0.9674	1.1003	13.783
60	0.9223	1.0842	13.516
66	0.8956	1.0358	13.383
72	0.8710	1.0251	12.783



ภาพที่ 4.22 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ และอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบอัตราการเจริญจากการศึกษาการลดปริมาณสารพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25, 1 ต่อ 50, 1 ต่อ 100 และ 1 ต่อ 200

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์

อัตราส่วน ผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลสัท (กรัมต่อมิลลิลิตร)	อัตราการเจริญสูงสุด (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
1 ต่อ 25	15.2000 <sup>a</sup>
1 ต่อ 50	15.1833 <sup>a</sup>
1 ต่อ 100	15.1667 <sup>a</sup>
1 ต่อ 200	13.1850 <sup>b</sup>

#### 4.4 ผลการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ (YM medium)

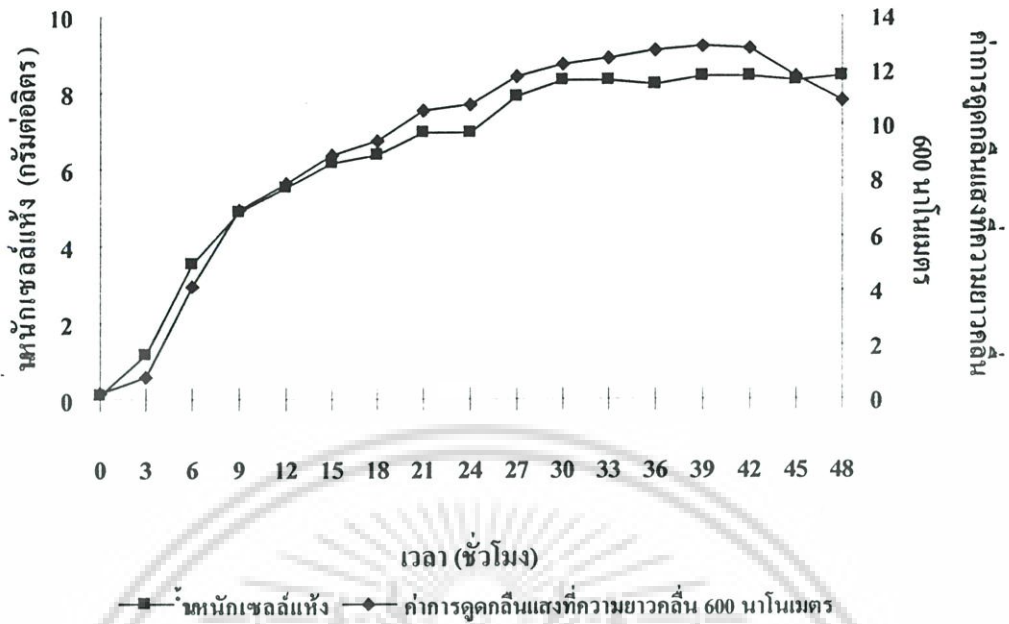
ผลของการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ (สูตรอาหารดังภาคผนวก ก.) โดยนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 39 โดยดูได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร เป็น 12.9 และค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 8.4118 กรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.27 ภาพที่ 4.24 และ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

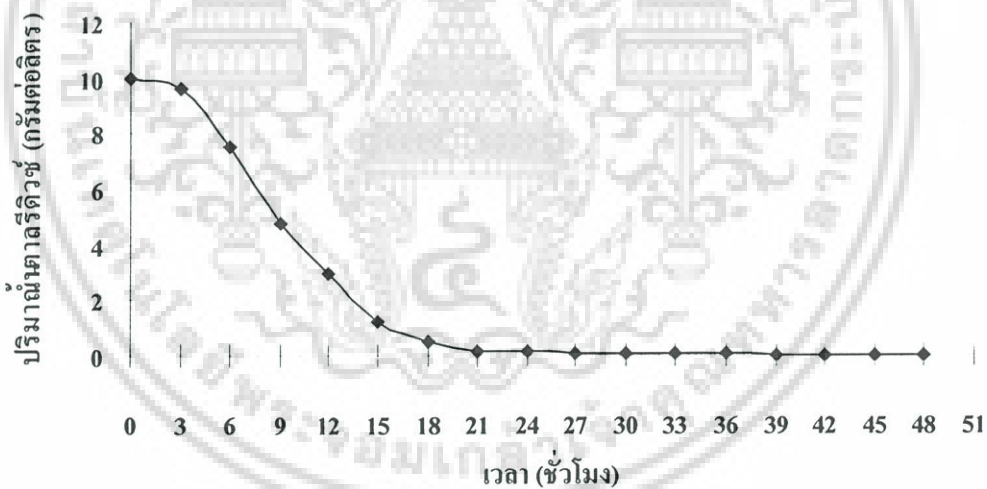
ตารางที่ 4.27 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *C.tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	9.9856	0.1002	0.216
3	9.6380	1.1333	0.795
6	7.5201	3.5333	4.100
9	4.8011	4.9003	6.950
12	2.9603	5.5333	7.883
15	1.2105	6.1333	8.933
18	0.5116	6.3667	9.433
21	0.1326	6.9333	10.516
24	0.1111	6.9667	10.783
27	0.0824	7.9011	11.783
30	0.0609	8.3103	12.216
33	0.0466	8.3127	12.450
36	0.0394	8.2021	12.750
39	0.0322	8.4118	12.900
42	0.0288	8.4124	12.850
45	0.0287	8.3333	11.800
48	0.0143	8.4011	10.933

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์



ภาพที่ 4.25 ค่าน้ำตาลรีดิคซ์จากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์

#### 4.5 ผลการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท

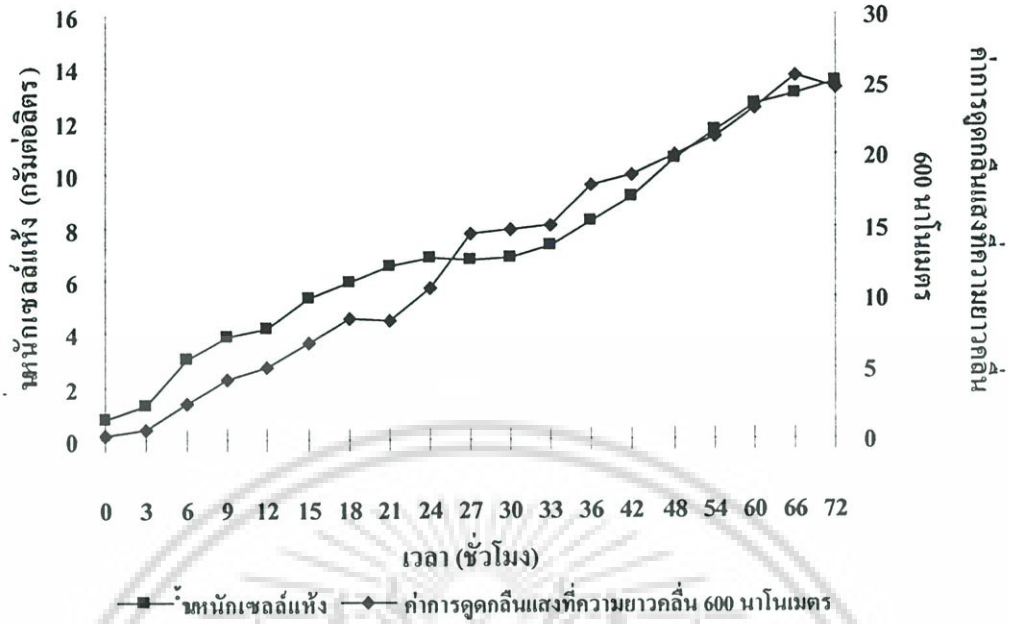
ผลของการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *C. tropicalis* TISTR 5045 โดยนำไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการโอเวอร์ไลมิงและการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ระยะเวลาและเอกสาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.3.1 และ 4.3.2 มาเตรียมเป็นอาหารเพื่อเลี้ยงเชื้อว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*C.tropicalis* TISTR 5045 บนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง จนครบ 72 ชั่วโมง พบว่าจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 66 โดยคู่ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร เป็น 25.555 และค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 12.9333 กรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.28 ภาพที่ 4.26 และ 4.27

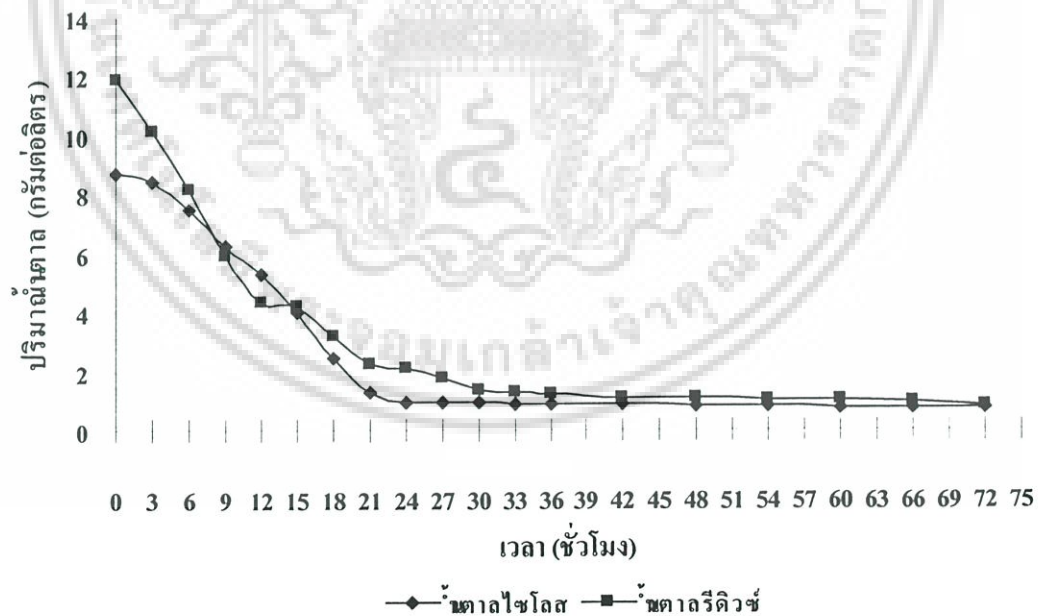
ตารางที่ 4.28 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *C.tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโครไลสเสท

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาล ไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	8.6879	11.9104	0.7333	0.318
3	8.4481	10.1290	1.2667	0.703
6	7.4930	8.1756	3.0003	2.593
9	6.2756	5.8925	3.8333	4.234
12	5.3103	4.3226	4.1334	5.153
15	4.0027	4.2437	5.3333	6.813
18	2.4574	3.1720	5.9330	8.587
21	1.2666	2.2365	6.5200	8.366
24	0.9387	2.0753	6.8011	10.700
27	0.9489	1.7455	6.7502	14.500
30	0.9345	1.3261	6.8014	14.733
33	0.8895	1.2867	7.2800	15.134
36	0.8587	1.2258	8.1913	17.917
42	0.8628	1.0932	9.1333	18.666
48	0.8054	1.0788	10.5333	20.050
54	0.7911	1.0179	11.5667	21.350
60	0.7808	1.0071	12.5667	23.250
66	0.7726	0.9247	12.9333	25.555
72	0.7542	0.8172	13.4333	24.783

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.26 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท



ภาพที่ 4.27 ค่าน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลรีดิวซ์จากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำตาลไซลิทอลระหว่างอาหารสังเคราะห์และอาหารไฮโดรไลเสท

จากการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญและการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ระหว่างอาหารสังเคราะห์และอาหารไฮโดรไลเสท ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลไซโลสเริ่มต้นใกล้เคียงกันคือ 60 กรัมต่อลิตร โดยเลี้ยงบนเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นลดความเร็วลงเหลือ 120 รอบต่อนาที เพื่อจำกัดการให้ออกซิเจน เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 90 ชั่วโมง พบว่าในอาหารสังเคราะห์สามารถผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ 21.0258 กรัมต่อลิตร โดยใช้น้ำตาลไซโลสไป 48.4485 กรัมต่อลิตร คิดเป็นผลได้เท่ากับ 0.4381 กรัมน้ำตาลไซลิทอลต่อกรัมน้ำตาลไซโลส ดังตารางที่ 4.29 และภาพที่ 4.28

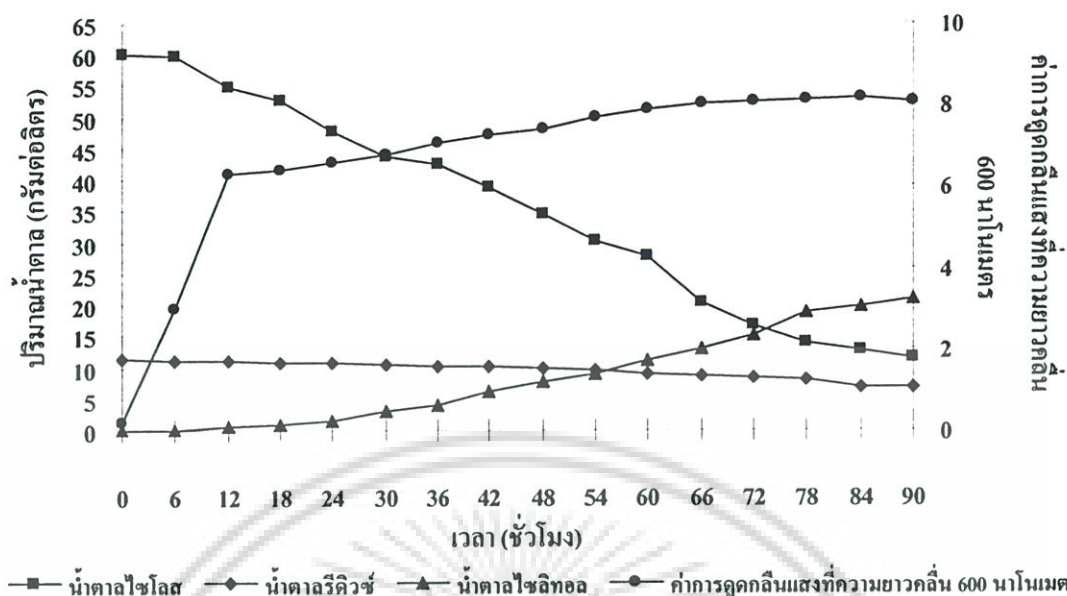
Kazunori *et. al.* (2000) ได้ศึกษาการนำระบบ fuzzy control เข้ามาช่วยควบคุมปริมาณออกซิเจนเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อ *Candida magnoliae* ซึ่งขั้นแรกได้ศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลดังกล่าวใน 3 สภาวะคือ สภาวะที่มีอากาศเต็มที สภาวะที่ไม่มีอากาศ และสภาวะ microaerobic พบว่าใน 2 สภาวะแรกไม่มีการส่งเสริมการผลิตน้ำตาลไซลิทอล แต่ในสภาวะที่มีการจำกัดอากาศ จะส่งเสริมให้มีการผลิตน้ำตาลไซลิทอลมาก โดยในแต่ละสภาวะจะมีการผลิตน้ำตาลไซลิทอลเท่ากับ 10, 8 และ 56 กรัมต่อลิตร

Hahn-Hagerdal *et. al.* (1994) รายงานว่าภายใต้สภาวะการขาดออกซิเจน น้ำตาลไซลิทอลจะถูกขับออกมาจำนวนมากเพราะ NADH ที่ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ไม่สามารถเปลี่ยนเป็น NAD<sup>+</sup> ได้สมบูรณ์ซึ่งตรงข้ามกับภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน เนื่องจากจะผลิตมวลเซลล์เป็นหลัก

ตารางที่ 4.29 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาล ไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาล ไซลิทอล (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	59.9873	11.3011	0.0000	0.175
6	59.6614	11.1003	0.1470	2.981
12	54.8245	10.9462	0.4718	6.310
18	52.6111	10.7900	0.8667	6.376
24	47.7947	10.7920	1.5795	6.590
30	43.8801	10.4444	3.2257	6.796
36	42.4659	10.2831	3.9897	7.040
42	38.9203	10.1505	6.0718	7.250
48	34.6163	9.8853	7.6513	7.400
54	30.1894	9.5985	9.0000	7.660
60	27.8119	9.0752	10.9559	7.880
66	20.4746	8.7240	12.7846	8.000
72	16.6830	8.4552	15.1436	8.050
78	13.7522	8.0537	18.6821	8.126
84	12.5840	6.80000	19.7078	8.150
90	11.5388	6.7849	21.0258	8.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



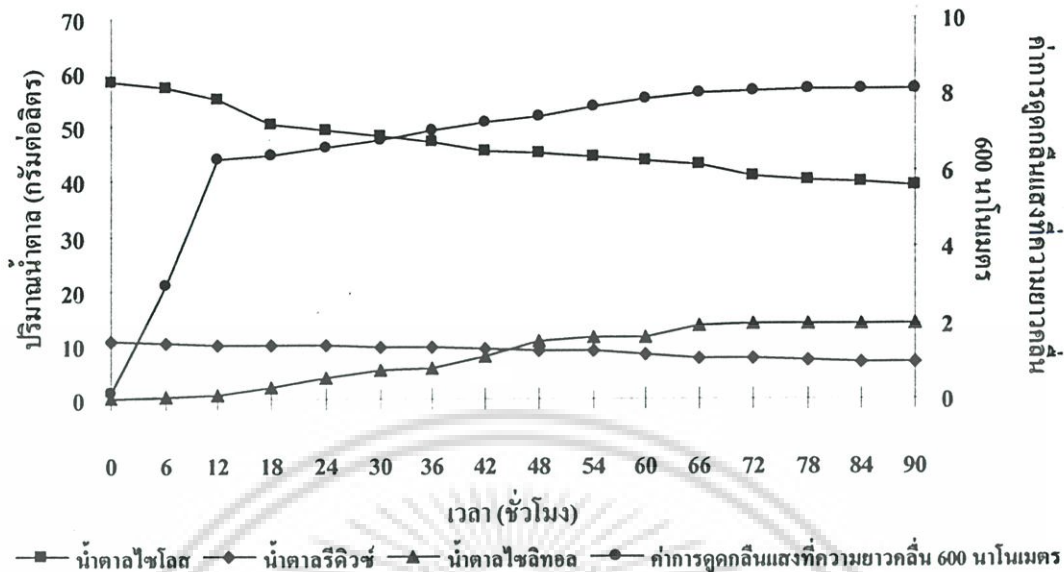
ภาพที่ 4.28 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร

ผลการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอลในอาหารไฮโดรไลสเมือเลี้ยงเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 เป็นเวลา 90 ชั่วโมง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการศึกษาสามารถให้ผลผลิตน้ำตาลไซลิทอลเท่ากับ 13.8616 กรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณน้ำตาลไซโลสทั้งสิ้น 19.3679 กรัมต่อลิตร คิดเป็นผลได้เท่ากับ 0.5311 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส ดังตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.29

ตารางที่ 4.30 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิวิซ์ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลสที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญ (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	58.2882	10.5484	0.0011	0.175
6	57.3045	10.3763	0.3675	2.978
12	55.0910	9.9283	0.8034	6.310
18	50.6025	9.9175	2.2188	6.376
24	49.4343	9.8423	3.7744	6.590
30	48.4505	9.7455	5.2975	6.797
36	47.2825	9.5304	5.6052	7.040
42	45.4992	9.2616	7.6445	7.250
48	45.0688	8.8459	10.5197	7.400
54	44.5155	8.7347	11.3214	7.660
60	43.6547	8.1541	11.5299	7.880
66	42.8554	7.5448	13.4017	8.000
72	41.0108	7.3584	13.8017	8.050
78	40.2115	7.0394	13.8445	8.113
84	39.7119	6.7957	13.8667	8.120
90	38.9203	6.6344	13.8616	8.106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 ปริมาณน้ำตาลไซโลส น้ำตาลรีดิซ น้ำตาลไซลิทอล และอัตราการเจริญจากการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารไฮโดรไลเสทที่มีน้ำตาลไซโลส 60 กรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาถึงความสามารถในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลของเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์และอาหารไฮโดรไลเสทที่มีปริมาณน้ำตาลไซโลสเริ่มต้นใกล้เคียงกันคือ 60 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลได้ของน้ำตาลไซลิทอล พบว่าในอาหารไฮโดรไลเสทให้ผลได้น้ำตาลไซลิทอล 0.5311 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส สำหรับในอาหารสังเคราะห์จะให้ผลได้น้ำตาลไซลิทอล 0.4381 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส อาจเกิดจากในอาหารไฮโดรไลเสทจะมีองค์ประกอบของน้ำตาลหลายชนิดเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งต่างจากอาหารสังเคราะห์ที่มีเพียงน้ำตาลไซโลสและกลูโคส อาจเป็นเหตุให้เชื่อมีการใช้น้ำตาลตัวอื่นในการรักษาเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Kull and Inglett (1980) พบว่าในไฮโดรไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสจะมีสารประกอบหลักคือ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และยังมีน้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลแลคโตสเป็นองค์ประกอบด้วย

Ladisch and Svarczkopf (1991) รายงานถึงการย่อยเฮมิเซลลูโลสด้วยกรดหรือเอนไซม์จะให้สารประกอบของน้ำตาลหลายชนิดซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ น้ำตาลไซโลสและอะราบิโนส และคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกาแลคโตส

Girio *et. al.* (1999) ศึกษาการผลิตน้ำตาลแอลกอฮอล์ระหว่างใช้สับเสตรชนิดเดี่ยวและสับเสตรผสม พบว่าในอาหารที่มีน้ำตาลอะราบิโนสเพียงชนิดเดียวสามารถผลิตน้ำตาลได้สองชนิดคือ น้ำตาลอะราบิโนสและน้ำตาลไซลิทอล แต่จะผลิตน้ำตาลอะราบิโนสมากกว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 โดยการย่อยสลายวัตถุดิบ 3 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อย ชังข้าวโพค และจุกสับประรด พบว่าชังข้าวโพคให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสสูงที่สุดในสภาวะการย่อยสลายคือที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 270 นาที โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.6 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบและสารละลายกรด 1 ต่อ 20 ได้น้ำตาลไซโลส 49.2703 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือจุกสับประรด ซึ่งมีสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ที่สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.1 โมลต่อลิตร โดยได้น้ำตาลไซโลส 37.3012 กรัมต่อลิตรที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 และน้อยที่สุดคือชานอ้อยโดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 270 นาที ซึ่งใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ได้น้ำตาลไซโลส 34.2269 กรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงเลือกชังข้าวโพคมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล ด้วยเหตุที่ชังข้าวโพคให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสมากกว่าชานอ้อย 1.44 เท่า และมากกว่าจุกสับประรด 1.32 เท่า แม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการย่อยสลายสูงกว่าชานอ้อยในระยะเวลาที่เท่ากันแต่ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้มีมากกว่าค่อนข้างมาก และแม้ว่าสภาวะในการย่อยสลายของจุกสับประรดจะใช้เวลาน้อยกว่าแต่ก็ให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสต่ำกว่าด้วย และยังใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกสูงกว่าชังข้าวโพค ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเลือกชังข้าวโพคเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการศึกษาการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

จากนั้นนำไฮโดรไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายชังข้าวโพคในสภาวะที่เหมาะสมข้างต้นมาศึกษาการลดปริมาณสารพิษด้วยกระบวนการ โอเวอร์ไลมิงและผงถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาจากอัตราการเจริญของเชื้อ *C.tropicalis* TISTR 5045 พบว่าไฮโดรไลเสทที่ผ่านกระบวนการ โอเวอร์ไลมิงจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 54 และจากการศึกษาการลดพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ พบว่าการใช้ระยะเวลาการลดปริมาณสารพิษ 1 ชั่วโมง ในอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสทเป็น 1 ต่อ 100 โดยมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 โดยมีอัตราการเจริญสูงสุดเท่ากับ 15.166 และเมื่อศึกษาการเจริญของเชื้อ *C.tropicalis* TISTR 5045 ในอาหารสังเคราะห์ และอาหาร ไฮโดรไลเสท พบว่าในอาหารสังเคราะห์จะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 39 โดยมีค่าการเจริญเท่ากับ 12.900 และในไฮโดรไลเสทจะมีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 66 โดยมีค่าการเจริญเท่ากับ 25.555 และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญ และการผลิตน้ำตาลไซลิทอลระหว่างอาหารสังเคราะห์กับอาหารไฮโดรไลเสทพบว่าในอาหารสังเคราะห์จะได้ผลได้น้ำตาลไซลิทอลเป็น 0.4381 กรัมต่อกรัม

น้ำตาลไซโลส แต่ในอาหารไฮโครไลสจะได้ออกซิเจนได้เท่ากับ 0.5311 กรัมต่อกรัมน้ำตาลไซโลส ซึ่งจากการศึกษาในขั้นสุดท้ายพบว่าในอาหารไฮโครไลสนั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้สูงกว่าในอาหารสังเคราะห์

#### ข้อเสนอแนะ

ถ้าจากค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำตาลไซลิทอล 1 กรัม ที่ได้จากการศึกษาด้วยกระบวนการทางชีวภาพพบว่ายังไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการผลิตและต้องใช้เครื่องมือเข้ามาควบคุมปริมาณการให้ออกซิเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการผลิตน้ำตาลไซลิทอลโดยจุลินทรีย์ แต่จากผลการศึกษาก็นำไปสู่แนวคิดในการพัฒนากระบวนการผลิตได้หลายประการเช่น 1. ศึกษาการผลิตในกระบวนการหมักที่สามารถควบคุมอัตราการให้ออกซิเจนได้ดี 2. ใช้ระบบการหมักแบบต่อเนื่องเพื่อให้มีการผลิตน้ำตาลไซลิทอลได้ตลอดเวลา 3. ใช้จุลินทรีย์แบบตรึงเซลล์ (โดยเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถทนความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสสูง) เพื่อให้สามารถนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้หากมีการศึกษาพัฒนาที่มากขึ้นกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพอาจทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำตาลไซลิทอลลดลงตลอดทั้งช่วยแก้ปัญหาขยะที่เกิดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรรวมถึงลดการใช้โลหะหนักในการผลิตน้ำตาลไซลิทอลด้วยกระบวนการทางเคมีอีกด้วย

## บรรณานุกรม

- นรินทร์ เรืองพานิชย์. 2541. “ผลของกลูโคสต่อการผลิตไซลิทอลจากไซโลสภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน.” เทคนิควิจัย ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิเชียร สีสุข. 2532. “การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยเอนไซม์จาก *Aspergillus fumigatus* fresenius รหัส 4-45-1F.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรสิทธิ์ โทจำปา. 2541. “การผลิตไซลิทอลโดยการหมวนเวียนเซลล์ Hollow fiber.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2537. “สารให้ความหวานจากฟางข้าว.” รายงานการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2537. “ไซลิทอล.” วารสารจารย์พา. 11 : 18-21.
- สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2537. “ไซลิทอล.” วารสารจารย์พา. 12 : 28-32.
- สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2537. “ไซลิทอล.” วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 5(3) : 13-27.
- Adams, G.A. 1965. “Xylan : Arabinoglucuronoxylan, Arabinoxylan and Xylan : Purification Using a Copper Complex and Purification by Fractional Precipitation of Acetales.” *Method in Carbohydrate Chemistry*. 5 : 170-175.
- Adler, L. and Gustafsson, L. 1980. “Polyhydric Alcohol Production and Intracellular Amino Acid Pool in Relation to Halotolerance of the Yeast *Debaryomeces hansenii*.” *Arch. Microbiol.* 124 : 123-130.
- Amaral-Collaco, M.T. et. al. 1990. “Advances of Biological Treatment of Lignocellulosic Materials.” Elsevier Applied Science. London.
- Angell, S. and Morris, F.W. 1936. “Hemicellulose V. Additional Notes on the Hemicelluloses of Maize Cobs.” *J. Biochem.* 30 : 2,155-2,165.
- Arron, M.A. 1993. *Low Caloric Food Handbooks*. Georgetown University School of Medicine Washinston DC. USA.
- Aspinall, G.O. 1959. “Structural Chemistry of Hemicellulose.” *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.* 14 : 429-468.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Aspinall, G.O. et. al. 1969. "The Degradation of Xylan by Alkali." **J. Chem. Soc.** 3,667-3,674.
- Aspinall, G.O. and McKay, J.E. 1959. "The Hemicellulose of European Larch (*Larix decidua*), The Constitution of a Xylan." **J. Chem. Soc. I.** 1,059-1,066.
- Avgerinos, G.C. and Wang, D.I.C. 1983. "Selective Solvent Delignification for Fermentation Enhancement." **Biotech. Bioeng.** 25 : 67-83.
- Barbosa, M.F.S. et. al. 1988. "Screening of Yeasts For Production of Xylitol from D-Xylose and Some Factors which Effect Xylitol Yield in *Candida guilliermondii*." **J. Ind. Microbial. Biotechnol.** 3 : 241-251.
- Barnett, J.A. 1976. "The Utilization of Sugars by Yeast." **Adv. Carbohydrate. Chem. Biochem.** 32 : 125-234.
- Biely, P. 1985. "Microbial Xylanolytic System." **Trends in Biotechnol.** 3 : 286-290.
- Bisaria, B.S. 1991. "Bioprocess of Agro-Residues to Glucose and Chemicals." 187-223. in Martin, A.M. **Bioconversion of Waste Material to Industrial Products.** London : Elsevier. Appl. Science.
- Barber, S. and C. Benedito de Barder. 1974. "Basic and Applied Research Needs for Optimizing Utilization of Rice Bran as Food and Feed." Proceedings of the Rice By-Product Utilization International Conference. **Institute of Agrochemistry and Food Technology.** Valencia. 4 : 1-99.
- Cao, N.J. et. al. 1994. "The Effect of Cell Density on the Production of Xylitol from D-Xylose by Yeast." **Appl. Biochem. Biotechnol.** 45-46 : 515-9.
- Chanda, S.K. et. al. 1950. "The Constitution of Xylan from Esparto Grass (*Stipa tenacissimes*)." **J. Chem. Soc.** 1,289-1,297.
- Chen, L.F. and Gong, S.S. 1985. "Fermentation of Sugarcane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate to Xylitol by a Hydrolysate Acclimatized Yeast." **J. Food Sci.** 50 : 226-228.
- Chiang, C. and Knight, S.G. 1960. "Metabolism of D-Xylose by Molds." **Nature.** 188 :79-81.
- Coughlan, P.M. and Hazlewood, P.M. 1993. " $\beta$ -1,4-D-Xylan-Degradating Enzyme Systems : Biochemistry, Molecular Biology and Application." **Biotechnol. and Appl Biochem.** 17 : 259-289.
- Cowling, E.B. and Kirk, T.K. 1976. "Properties of Cellulose and Lignocellulose Materials as Substrate for Enzymatic Conversion Process." **Biotech. Bioeng. Symp.** 6 : 95-123.

- Dahiya, J.S. 1991. "Xylitol Production by *Petromyces albertensis* Grown on Medium Containing D-Xylose." **Can. J. Microb.** 37 : 14-18.
- Deschatelets, L. and Yu, E.K.C. 1986. "A Simple Pentose Assay for Biomass Conversion Studies." **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 24 : 379-397.
- Dominguez, J.M. et. al. 1996. "Pretreatment of Sugar Cane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate for Xylitol Production by Yeasts." **Appl. Biochem. Biotechnol.** 57/58 : 49-56.
- Dominguez, J.M. et. al. 1997. "Dilute Acid Hemicellulose Hydrolysates from Corn Cobs for Xylitol Production by Yeast." **Biores. Technol.** 61(1) : 85-90.
- Dominguez, J.M. 1998. "Xylitol Production by Free and Immobilized *Debaryomyces hansenii*." **Biotechnol. Lett.** 20 : 53-56.
- Du Preez, J.C. 1994. "Process Parameters and Environmental Factors Affecting D-Xylose Fermentation by Yeasts," **Enzyme Microb. Technol.** 16 : 944-956.
- Dutton, G.G.S. and Smith, F. 1956. "The Constitution of the Hemicellulose of Western Hemlocks (*Tsuga heterophylla*) II. Hydrolysis of the Methylated Hemicellulose." **J. Amer. Chem. Soc.** 78 : 3,477-3,748.
- Dwyer, O. 1939. "The Hemicellulose of the Wood of the English Oak IV. The Structure of Hemicellulose A." **Biochem. J.** 33 : 713-717.
- Emodi, A. 1982. "Xylose : It's Properties and Food Applications." **Food Technol.** Jan : 28-32.
- Evan, C.T. and Ratledge, C. 1984. "Induction of Xylulose-5-phosphate phosphoketolase in a Variety of Yeast Grown on D-Xylose : The key of Efficient Xylose Metabolism." **Arch. Microbiol.** 139 : 48-52.
- Evan, C. 1987. "Lignin Degradation." **Process Biochem.** 22 (4) : 102-105.
- Felipe, M.G.A. et. al. 1997. "Environmental Parameters Affecting Xylitol Production from Sugar Cane Bagasse Hemicellulosic Hydrolysate by *Candida guilliermondii*." **J. Ind. Microb. Biotechnol.** 18 : 251-254.
- Fiechter, A. 1986. "Biodegradation of Lignocellulose Material. Microbial Utilization of Renewable Resources." **Biotech. Bioeng.** 28 : 283-290.
- Furlan, S.A. et. al. 1991. "Study of Xylitol Formation under Oxygen Limited Condition." **Biotechnol. Lett.** 13 : 203-206.
- Furlan, S.A. et. al. 1994. "Influence of Oxygen on Ethanol and Xylitol Production by Xylose Fermenting Yeasts." **Process Biochem.** 29 : 657-662.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Girio, F.M. et. al. 1999. "Polyals Production During Single and Mixed Substrate Fermentation in *Debaryomyces hansenii*." **Biores. Technol.** 71 : 245-251.
- Goldschmid, H. and Perlin, A.S. 1963. "Interbranch Sequences in the Wheat Arabino Xylan, Selective Enzymolysis Studies." **Canadian Journal of Chemistry.** 41 : 2,272-2,277.
- Gong, C.S. et. al. 1981. "Quantitative Production of Xylitol from D-Xylose by Hgh-Xylitol Producing Yeasts Mutant *Candida tropicalis* HXP2." **Biotechnol. Bioeng.** 25 : 85-102.
- Gong, C.S. et. al. 1983. "D-Xylose Metabolism by Mutant Strains of *Candida sp.*" **Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.** 27 : 33-55.
- Gupta, A. and Madamwar, D. 1997. "Solid State Fermentation of Licnocellulosic Waste for Cellulose and  $\beta$ -Glucosidase Production By Cocultivation of *Aspergillus ellipticus* and *Aspergillus fumigatus*." **Biotech. Progress.** 13 (2) : 166-169.
- Hagglund, E. et. al. 1956. "Dimethylsulphoxide, A Solvent for Hemicellulose." **Acta. Chem. Scan. B.** 10 :1,160-1,164.
- Hamilton, J.K. et. al. 1958. "The Behaviour of Wood Hemicellulose, During Pulping I, Examination of the Xylose Containing Hemicellulose Associated with Hard Wood and Soft Wood Pulps. Part II the Structure of the 4-O-Methylglucuronoxylan, Arabinoxylan and Xylan of Southern Pine Pulps." **Tappi.** 41 : 803-816.
- Hofer, M.A. et. al. 1971. "Metabolism of the Obligatory Aerobic Yeast *Rhodotorular gracilis* : Introduction of an Enzyme Necessary for D-Xylose Catabolism." **Biochem. Biophys. Acta.** 252 : 1-12.
- Hollmann, S. and Touster, O. 1957. "L-Xylulose-Xylitol Enzyme and Other Polyoldehydrogenase of Guinea Pig Liver Mitochondria." **J. Biol. Chem.** 225 : 87-102.
- Horitsu, H. et. al. 1992. "Production of Xylitol form D-Xylose by *Candida tropicalis* : Optimization of Production Rate." **Biotechnol. Bioeng.** 40 : 1,085-1,091.
- Hyvoenen, L. et. al. 1982. "Food Technological Evaluation of Xylitol." **Adv. Food Res.** 18 : 373-403.
- Jackson, M.G. 1977. "The Alkali Treatment of Straws." **Animal Feed Science and Technol.** 2 (2) : 105-130.
- Jayme, G. and Satee, M. 1942. "Oxidation of Xylan with Periodic Acid I. Use of Buttered Periodic Acid." **Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 75B.** 1,840-1,850.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jeffries, T.W. 1983. "Utilization of Xylose by Bacteria, Yeasts and Fungi." **Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.** 27 : 1-32.
- Kastner, J.R. et. al. 1996. "Effect of Xylitol on the Metabolism and Viability of *Candida shehatae*." **Biotechnol. Lett.** 18 : 31-34.
- Kazunori, N. et. al. 2000. "Production of Highly Concentrated Xylitol by *Candida magnoliae* Under a Microaerobic Condition Maintained by Simple Fuzzy Control." **J. of Biosci. And Bioeng.** 89 (4) : 372-376.
- Kim, S.Y. et. al. 1997. "Improvement of Xylitol Production by Controlling Oxygen Supply in *Candida parapsilosis*." **J. Ferment and Bioeng.** 83 : 267-270.
- Kirk, K. 1983. "Degradation and Conversion of Lignocellulose." 226-295. in Smith, J.E. et. al. **The Filamentous Fungi. Fungal Technology.** New York : John Wiley and Sons Inc.
- Kuhad, R.C. 1999. "Lignocellulose biotechnology : Current and future prospects." **Critical Rev. in Biotechnol.** 13 : 151-172.
- Ladisch, M.R. and Svarezkopf, J.A. 1991. "Ethanol Production and the Cost of Fermentable Sugars for Bionass." **Biores. Technol.** 36 : 83-95.
- Lee, C.W. and Chang, H.W. 1987. "Kinetics of Ethanol Fermentation in Membrane Cell Recycle Fermentors." **Biotechnol. Bioeng.** 29 : 1,150-1,112.
- Leathers, T.D. and Gupta, S.C. 1997. "Xylitol and Riboflavin Accumulation in Xylose-Grown Cultures of *Pichia guilliermondii*." **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 47 : 58-61.
- Lu, J. et. al. 1995. "Effect of Nitrogen Sources on Xylitol Production from D-Xylose by *Candida sp. L-102*." **Biotechnol. Lett.** 17 : 167-170.
- Makinen, K.K. and Scheinin, A. 1975. "Turku Sugar Studies VI : The Administration of the Trial and the Control of the Dietary Regimen. **Acta. Odont. Scand.** 33 Suppl. 70 : 105-127.
- Manz, U. et. al. 1973. "Xylitol : Its Properties and Use as a Sugar Substitute in Foods." **Food Symposium on Sugar and Sugar Replacements.** London.
- Marsden, W.L. and Gray, P.P. 1986. "Enzymatic Hydrolysis of Cellulose in Lignocellulosic Material." **Critical Review in Biotech.** 3 (3) : 235-276.
- Meyrial, V. et. al. 1991. "Xylitol Production from D-Xylose by *Candida guilliermondii* : Fermentation Behaviour." **Biotech. Lett.** 13 : 281-286.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nelson, N. 1952. "A Photometric Adaptation of the Somogyi Method for the Determination of Glucose." **J. Biol. Chem.** 154 : 375-380.
- Nigam, J.N. 2001. "Ethanol Production from Wheat Straw Hemicellulose Hydrolysate by *Pichia stipitis*." **J. Biotechnol.** 87 : 17-27.
- Nigam, P. and Singh, D. 1995. "Process for Fermentative Production of Xylitol a Sugar Substitute." **J. Pro. Biochem.** 30 : 117-124.
- Nolleau, V. et. al. 1993. "Xylitol Production from Xylose by Two Yeast Strains : Sugar Tolerance." **Curr. Microb.** 27 : 191-197.
- Norkrans, B. 1967. "Cellulose and Cellulolysis." **Adv. Appl. Microbiol.** 9 : 91-130.
- Ojamo, H. 1994. "Yeast Xylose Metabolism and Xylitol Production." PhD thesis, Helsinki University of Technology. Finland.
- Onishi, H. and Suzuki, T. 1980. "Mechanism of Fermentation Conversion from Polyalcohol Fermentation to Ethanol by *Pichia miso*." **Agr. Biol. Chem.** 44 : 1,829-1,834.
- Palnitkar, S.S. and Lachke, A.H. 1990. "Efficient Simultaneous Saccharification and Fermentation of Agricultural Residues by *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida shehatae*. The D-Xylose Fermenting Yeast." **Appl. Biochem. Biotechnol.** 26 : 2 ,151-2,158.
- Parajo, J.C. et. al. 1997. "Improved Xylitol Production with *Debaryomyces hansenii* Y-7426 from Raw or Detoxified Wood Hydrolysates." **Enzyme Microb. Technol.** 21(1) : 18-24.
- Parajo, J.C. et. al. 1998. "Biotechnological Production of Xylitol. Part 1 : Interest of Xylitol and Fundamentals of Its Biosynthesis." **Biores. Technol.** 65(3) : 191-201.
- Parajo, J.C. et. al. 1998. "Biotechnological Production of Xylitol. Part 2 : Operation in Culture Media Made with Commercial Sugars." **Biores. Technol.** 65(3) : 203-212.
- Parajo, J.C. et. al. 1998. "Biotechnological Production of Xylitol. Part 3 : Operation in Culture Media Made from Lignocellulose Hydrolysates." **Biores. Technol.** 66(1) : 25-40.
- Pfeifer, M.J. et. al. 1996. "Effect of Culture Conditions on Xylitol Production by *Candida guilliermondii* FTI 20037." **Appl. Biochem. Biotechnol.** 57-58 : 423-430.
- Prior, B.A. et. al. 1989. "Fermentation of D-Xylose by the Yeast *Candida shehatae* and *Pichia stipitis*." **Process Biochem.** 24 : 2-32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rodrigues, D.C.G.A. et. al. 1999. "Fed-batch Culture of *Candida guilliermondii* FTI 20037 for Xylitol Production from Sugar Cane Bagasse Hydrolysate" **The Socie. for Appl. Micro.** 29 : 359-363.
- Roseio, J.C. et. al. 1991. "The Effect of Oxygen Transfer Coefficient and Substrate Concentration on the Xylose Fermentation by *Debaryomeces hansenii*." **Arc. Microb.** 156 : 484-490.
- Roudier, A. 1958. "Composition of Hemicelluloses." **Bulletin Association Technique de Industrie Papetiere.** 4 : 99-121.
- Schneider, H. et. al. 1981. "Conversion of n-Xylose into Ethanol by the Yeast *Pachysolen tannophilus*." **Biotechnol. Lett.** 3 : 89-92.
- Schulze, E. 1891. "In Formation Regarding Chemical Composition of Plant Cell Membrane." **Berichte der Deutschen Chemischem Gesellschaft.** 24 : 2,277-2,287.
- Silva, S.S. and Afschar, A.S. 1994. "Microbial Production of Xylitol from D-Xylose Using *Candida tropicalis*." **Bioproc. Eng.** 11 : 129-134.
- Sirisansaneeyakul, S. et. al. 1992. "Microbial Production of Xylitol from Wheat Straw Hydrolysates." **DECHEMA Biotechnology conference** vol. 5(B) : 541-544.
- Sirisansaneeyakul, S. et. al. 1995. "Screening of Yeasts for Production of Xylitol from D-Xylose." **J. Ferment. Bioeng.** 80 : 565-570.
- Sjostrom, F. 1981. **Wood Chemistry (Fundamentals and Application).** New York : Academic Press.
- Slininger, P.J. et. al. 1987. "*Pachysolen tannophilus* : Properties and Process Consideration for Ethanol Production from D-xylose." **Enzyme Microb. Technol.** 9 : 5-15.
- Smiley, K.L. and Bolen, P.L. 1982. "Demonstration of D-Xylose Reductase and D-Xylitol Dehydrogenase in *Pachysolen tannophilus*." **Biotechnol. Lett.** 4 : 607 - 610.
- Smith, M.G. 1962. "Polyol Dehydrogenases. 4. Crystallization of the L-Iditol Dehydrogenase of Sheep Liver." **J. Biochem.** 83 : 135-144.
- Sreenath, H.K. and Jeffries, T.W. 1996. "Effect of Corn Steep Liquor on Fermentation of Mixed Sugars by *Candida shehatae* FPL 860402702." **Appl. Biochem Biotechnol.** 57/58 : 551-561.
- Sreenath, H.K. et. al. 1986. "Ethanol Production from D-Xylose Fermentations with *Candia shehatae* : Process Variables." **Appl. Microb. Biotechnol.** 24 : 294-299.

- Tsao, G.T. et. al. 1982. "Production of Ethanol and Chemical from Cellulosic Material." **Process Biochem.** September/October : 34-38.
- Tran, A.N. and Chambers, R.P. 1986. "Ethanol Fermentation of Red Oak Acid Prehydrolysate by the Yeast *Pichia stipitis* CBS 5776." **Enz. Microb. Technol.** 8 : 439-444.
- Ueng, P.P. and Gong, C.S. 1982. "Ethanol Production from Pentoses and Sugar Cane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate by *Mucor* and *Fusarium* Species." **Enzyme Microb. Technol.** 4 : 169-172.
- Vandeska, E. et. al. 1995. "Xylitol Formation and Key Enzyme Activities in *Candida boidinii* under Different Oxygen Transfer Rates." **J. Ferment. Bioeng.** 80 :513-516.
- Vongsuvanlert, V. and Tani, Y. 1989. "Xylitol Production by a Methanol Yeast *Candida boidinii* (*Kloechers sp.*) No. 2201." **J. Ferment. Bioeng.** 67 : 35-39.
- Washuttl, J. et. al. 1973. "A Qualitative and Quantitative Study of Sugar-alcohol in Several Foods." **J. Food Sci.** 38 : 1,262-1,263.
- Weigest, B. et. al. 1988. "Xylose Fermentation by Yeasts." **Biotech Lett.** 10 : 895-900.
- Whistler, R.L. 1950. "Xylan." **Adv. Carbohydr. Chem.** 5 : 269-290.
- Wilkie, K.C.B. 1979. "The Hemicellulose of Grasses and Cereals." **Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.** 36 : 215-262.
- Xu, J. and Taylor, K.B. 1993. "Characterization of Ethanol Production from Xylose and Xylitol by a Cell-Free *Pachysolen tannophilus* System." **Appl. Envir. Microb.** 59 : 231-235.
- Yahashi, Y. et. al. 1996. "Production of Xylitol from D-Xylose by *Candida tropicalis* : The Effect of D-Glucose Feeding." **J. Ferment. Bioeng.** 81(2) : 148-152.

ภาคผนวก ก.  
อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับจุลินทรีย์

อาหารเพื่อการเก็บรักษาเชื้อ

YM agar มีสูตรดังนี้

ยีสต์สกัด	3	กรัม
มอลต์สกัด	3	กรัม
เปปโตน	5	กรัม
กลูโคส	10	กรัม
วุ้น	15	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร
ปรับพีเอชเป็น 4.0		

อาหารเพื่อการเจริญเติบโต

ยีสต์สกัด	3	กรัม
มอลต์สกัด	3	กรัม
เปปโตน	5	กรัม
กลูโคส	10	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร
ปรับพีเอชเป็น 4.0		

อาหารเพื่อการผลิตน้ำตาลไซลิทอล

ยีสต์สกัด	5	กรัม
มอลต์สกัด	3	กรัม
เปปโตน	5	กรัม
กลูโคส	10	กรัม
ไซโลส	100	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร
ปรับพีเอชเป็น 4.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

## สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

## สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคส) โดยวิธี Somogyi Nelson's (1952)

## 1. สารละลายคอปเปอร์รีเอเจนต์ (Copper reagent) ประกอบด้วย

A : สารละลาย 10% คอปเปอร์ซัลเฟตไฟไฮเดรต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) เตรียมโดยชั่งคอปเปอร์ซัลเฟตไฟไฮเดรต 10 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

B : สารละลายฟอสเฟตทาร์เตรต (Phosphate-tartrate solution) เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) 28 กรัม [หรือโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตทเวตไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) 70.5495 กรัม] ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติมโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เตรต (เตตระไฮเดรต) [Sodium potassium tartrate (Tetrahydrate)] 40 กรัม ทำให้ละลายแล้วเติม 1N NaOH 100 มิลลิลิตร ตามด้วย โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส [ $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Anhydrous)] 120 กรัม เมื่อละลายดีแล้วปรับปริมาตรเป็น 900 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน ถ้ามีตะกอนให้กรองเอาตะกอนทิ้งด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4

ผสมสารละลาย A (100 มิลลิลิตร) และ B (900 มิลลิลิตร) เข้าด้วยกัน

## 2. สารละลาย Nelson's Arsenomolybdate color reagent ประกอบด้วย

A : สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ] เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 25 กรัม ในน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) 21 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

B : สารละลายไดโซเดียมอาร์ซีเนต ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) เตรียมโดยละลายไดโซเดียมอาร์ซีเนต 3 กรัม ในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

ผสมสารละลาย A และ B เข้าด้วยกัน ใส่ในขวดสีชาแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง

## วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคส) โดยวิธี Somogyi Nelson's method

1. เติมตัวอย่างที่ต้องการหาน้ำตาลรีดิวซ์ 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายคอปเปอร์รีเอเจนต์ 1 มิลลิลิตร คั้นในน้ำเดือดนาน 5 นาที ควรใช้ลูกแก้วปิดปากหลอดเพื่อลดการระเหยของสาร

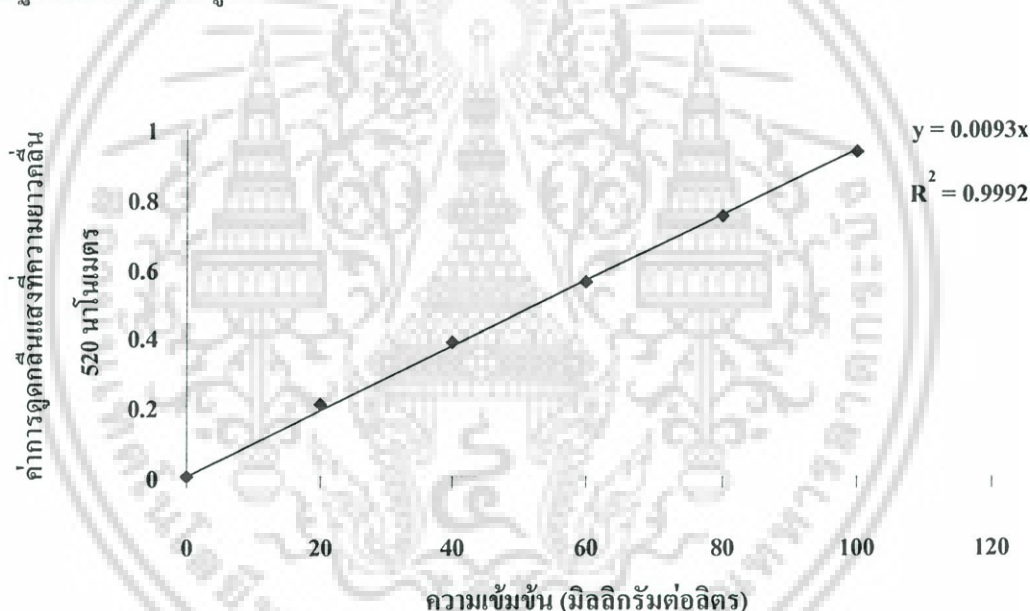
2. ทำให้เย็นโดยแช่ในอ่างน้ำ เติมสารละลายอาร์เซนโมลิบเดตรีเอเจนต์ (Arsenomolybdate reagent) ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที จะเห็นเป็นสีเขียว หรือสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาล รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมน้ำ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร
4. นำค่าที่วัดได้เทียบกับกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสโดยคำนวณได้จาก

$$\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร}) \times (\text{อัตราการใช้จาง})}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$

การทำกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ใช้สารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแทนตัวอย่าง จากนั้นทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.1-2.3 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ที่ได้และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานมาสร้างกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล (Adler and Gustafsson. 1980)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลอาศัยปฏิกิริยาการออกซิเดชันของน้ำตาลไซลิทอลไปเป็นฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเปอร์ไอโอเดตในสารละลายกรดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ แล้วหยุดปฏิกิริยาด้วยบิวเทน-2,3-ไดออล (butane-2,3-diol) จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายเพนแทน-2,4-ไดโอน (pentane-2,4-dione) ได้สารละลายสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

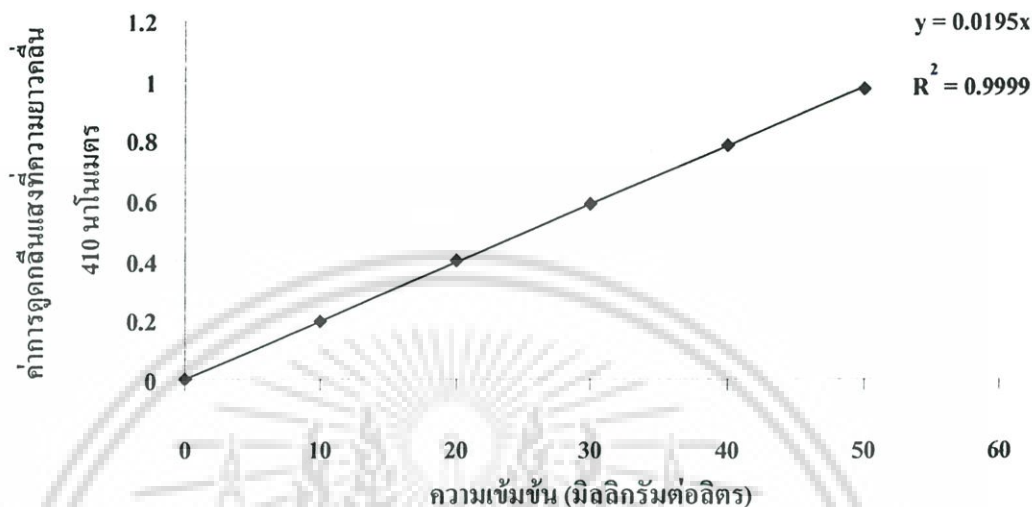
1. สารละลายเพอร์ไอโอดีเอเจนต์ (periodate reagent ;  $\text{NaIO}_4$  0.015 M ใน  $\text{HCl}$  0.16 M) เตรียมโดยละลายโซเดียมเมตาเพอร์ไอโอดีเตต ( $\text{NaIO}_4$ ) 3.0284 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงไป 13.3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร
2. บิวเทน-2,3-ไดออกไซด์ 0.02 M เตรียมโดยปิเปตต์ บิวเทน-2,3-ไดออกไซด์ 1.8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร
3. สารละลายเพนเทน-2,4-ไดโอน (เตรียมใช้ทันที) เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 154.16 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วเติม เพนเทน-2,4-ไดโอน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร
4. สารละลายมาตรฐานน้ำตาลไซลิทอล เตรียมโดยละลายน้ำตาลไซลิทอล 0.1000 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร) แล้วเจือจางให้ได้สารละลายน้ำตาลไซลิทอลความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซลิทอลตามวิธีของ Adler and Gustafsson method

1. ปิเปตต์สารละลายตัวอย่างหรือสารละลายน้ำตาลไซลิทอลมาตรฐาน (ความเข้มข้นน้ำตาลไซลิทอล 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมเพอร์ไอโอดีเอเจนต์ลงไป 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 นาที
3. เติมสารละลายบิวเทน-2,3-ไดออกไซด์ ความเข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร ลงไป 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. เติมสารละลายเพนเทน-2,4-ไดโอน ลงไป 2.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
6. ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร
7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร และความเข้มข้นของน้ำตาลไซลิทอลไปสร้างกราฟมาตรฐานน้ำตาลไซลิทอล
8. การหาปริมาณของน้ำตาลไซลิทอลในสารละลายตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำตาลไซลิทอล (มิลลิกรัมต่อลิตร) =  $\frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร} \times (\text{อัตราการเจือจาง})}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$



ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลไซลิทอล

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซโลส (Deschatelets and Yu. 1986)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลไซโลสอาศัยการเกิดเฟอฟูรัล (furfural) จากน้ำตาลเพนโตส ในสารละลายกรดอะซิดิกที่มีไทโอยูเรีย (thiourea) อยู่ แล้วเติม 4-โบรโมแอนิลีน (4-bromoaniline) เพื่อทำปฏิกิริยากับเฟอฟูรัล ได้เป็นสารละลายสีชมพู

1. สารละลาย 4 โบรโมแอนิลีนรีเอเจนต์ (4-bromoaniline reagent) เตรียมโดยละลาย thiourea ปริมาณ 4 กรัม ในกรดอะซิดิกเข้มข้นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วแยกส่วนใส่ออกมา (กรดอะซิดิก อิ่มตัวด้วยไทโอยูเรีย) จากนั้นละลาย 4 โบรโมแอนิลีนลงในส่วนใส่นั้น
2. สารละลายน้ำตาลไซโลสมาตรฐาน เตรียมโดยละลายน้ำตาลไซโลส 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1.0 กรัมต่อลิตร) แล้วเจือจางให้ได้สารละลายน้ำตาลไซโลสเข้มข้น 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 กรัมต่อลิตร

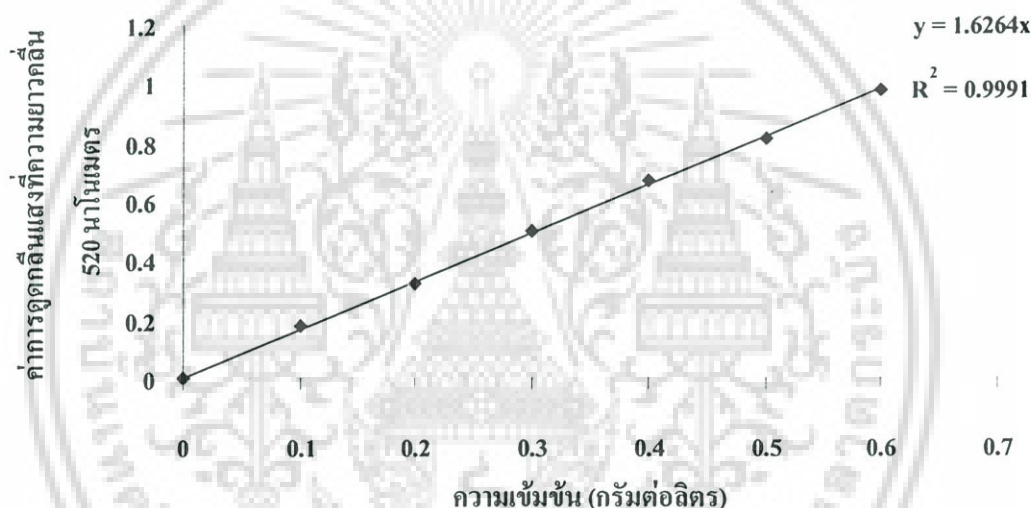
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไซโลสตามวิธีของ Deschatelets and Yu method

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง หรือสารละลายน้ำตาลไซโลสมาตรฐานปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลาย 4 โบรโมแอนิลีนรีเอเจนต์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงไปแล้วเขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
4. ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วบ่มต่อในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 70 นาที
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
6. นำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสในสารละลายตัวอย่างหรือคำนวณได้จาก

$$\text{ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร}) \times (\text{อัตราการเจือจาง})}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$



ภาพที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลไซโลส

#### วิธีการหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (Cell dry weight)

1. เติมห้วเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR 5045 ที่มีความขุ่นเซลล์เท่ากับ 0.5 โดยเติมห้วเชื้อประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ลงในพลาสติกที่บรรจุอาหารเพื่อการเจริญเติบโต 75 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 พลาสติก
2. เลี้ยงบนเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส จนได้ปริมาณเซลล์สูงสุด (ชั่วโมงที่ 12)
3. เขียนหมายเลขที่กระดวยกรองเบอร์ 5 และนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปใส่ในโถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนักเมื่อกระดวยกรองเย็นลงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้ปริมาณเซลล์สูงสุดให้เจือจางให้มีความขุ่นเซลล์ต่าง ๆ กันอยู่ในช่วง 0.1-0.8 ประมาณ 5 ค่า
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาทำการกรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
6. นำกระดาษกรองไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปใส่ในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนักเมื่อกระดาษกรองเย็นลงแล้ว
7. คำนวณน้ำหนักเซลล์แห้ง = น้ำหนักกระดาษก่อนกรอง - น้ำหนักกระดาษหลังกรอง
8. นำน้ำหนักเซลล์แห้งและค่าอัตราการเจริญเซลล์ไปสร้างกราฟ

#### วิธีเตรียมผงถ่านกัมมันต์

นำผงถ่านกัมมันต์แช่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.4 โมลต่อลิตร จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

#### ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำตาลไซโลสต่อวัตตุดิบ (กรัมต่อกรัม)

ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 (ชั่งข้าวโพด 5 กรัม ในสารละลายกรด 50 มิลลิลิตร)

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร จะมีปริมาณน้ำตาลไซโลส	62.5512	กรัม
ถ้าในสารละลาย 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณน้ำตาลไซโลส	$\frac{62.5512 \times 50}{1000}$	= 3.12756 กรัม
∴ ในชั่งข้าวโพด 5 กรัม ก็จะมีปริมาณน้ำตาลไซโลส	3.12756	กรัม
ถ้าในชั่งข้าวโพด 1 กรัม ก็จะมีปริมาณน้ำตาลไซโลส	$\frac{3.12756}{5}$	= 0.625512 กรัม

ในชั่งข้าวโพด 100 กรัม จะมีส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส 35 กรัม  
น้ำตาลไซโลสเป็นส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส

∴ ชั่งข้าวโพด 100 กรัม ที่มีส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส 35 กรัม จะมีน้ำตาลไซโลส  
$$= \frac{0.625512 \times 35}{100}$$

∴ ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 จะมีผลได้ของน้ำตาลไซโลสต่อชั่งข้าวโพด = 0.2189 กรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

## การวิเคราะห์ทางสถิติ

## Complete Randomized Design (CRD)

เป็นแบบแผนการทดลองที่มีการจัดสิ่งทดลองทั้งหมดในหน่วยทดลอง (experimental unit) โดยวิธีสุ่ม โดยให้หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสได้รับสิ่งทดลองแต่ละชนิดเท่า ๆ กัน สำหรับ CRD ความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองหลาย ๆ หน่วยที่ได้รับสิ่งทดลองเดียวกันเรียกว่า “ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error)” ดังนั้น CRD จึงเหมาะสำหรับงานทดลอง ที่มีหน่วยสม่ำเสมอทั้งหมด ได้แก่งานทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมให้สม่ำเสมอได้ง่าย

การวิเคราะห์ความแปรปรวน การตรวจดูความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองที่ศึกษากระทำ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดยที่แหล่งความแปรปรวนของ CRD แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง (treatment variation) และความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error) แสดงเป็นรูปตารางได้ดังนี้

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean of Squares	F Value
Treatment				
Error				
Total				

## วิธีคำนวณ

ให้  $t$  คือจำนวนชนิดของตัวอย่างและ  $r$  คือจำนวนซ้ำ

## 1. คำนวณค่า Degree of Freedom (df)

$$\text{Total df} = (t \times r) - 1$$

$$\text{Treatment df} = t - 1$$

$$\text{Error df} = \text{by subtraction} = \text{total df} - \text{treatment df}$$

## 2. คำนวณค่า Sum of Squares (SS) ขั้นแรกคำนวณค่า correction facton (CF) ก่อนดังนี้

$$CF = \text{total}^2 / t \times r$$

$$\text{Total SS} = X_1^2 + X_2^2 + \dots - CF$$

$$\text{Treatment SS} = \text{total treatment 1}^2 + \text{total treatment 2}^2 + \dots - CF$$

$$\text{Error SS} = \text{total SS} - \text{treatment SS}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. คำนวณค่า Mean of Squares (MS)

$$\text{Treatment MS} = \frac{\text{Treatment SS}}{\text{Treatment df}}$$

$$\text{Error MS} = \frac{\text{Error SS}}{\text{Error df}}$$

$$\text{Error MS} = \frac{\text{Error SS}}{\text{Error df}}$$

$$\text{Error df}$$

## 4. คำนวณค่า F value

$$\text{F value} = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}}$$

$$\text{Error MS}$$

## 5. เปิดตาราง F ที่ Treatment df และ Error df ที่นัยสำคัญ 5% และ 1%

## 6. นำค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดตั้งแต่ 1-5 ใส่ในตารางวิเคราะห์

## 7. เปรียบเทียบค่า F value ที่คำนวณได้กับค่า F ที่ได้จากราย

ถ้า F value น้อยกว่าค่า F จากตารางที่ 5% แสดงว่า treatment ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงโดยเขียนสัญลักษณ์ ns เชื่อบนค่า F value

ถ้า F value มากกว่าค่า F จากตารางที่ 5% แสดงว่า treatment มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงโดยเขียนสัญลักษณ์ \* เชื่อบนค่า F value

ถ้า F value มากกว่าค่า F จากตารางที่ 1% แสดงว่า treatment มีความแตกต่างกันมากทางสถิติ แสดงโดยเขียนสัญลักษณ์ \*\* เชื่อบนค่า F value

## ภาคผนวก ง.

## ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อย  
ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	14.271	3.568	64.345 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.554	0.55	
ผลรวม	14	14.825		

ตารางที่ ง.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 110 องศา  
เซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
180	25.0451 <sup>d</sup>
210	26.4797 <sup>c</sup>
240	27.2995 <sup>b</sup>
270	27.8734 <sup>a</sup>
300	27.2176 <sup>b</sup>

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อย  
ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	110.033	27.508	67.043 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	4.103	0.410	
ผลรวม	14	114.136		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส
180	33.5301 <sup>c</sup>
210	37.4242 <sup>b</sup>
240	37.6701 <sup>b</sup>
270	41.0313 <sup>a</sup>
300	40.6624 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	117.614	29.403	216.048 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	1.361	0.136	
ผลรวม	14	118.975		

ตารางที่ ง.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
180	34.022 <sup>d</sup>
210	37.2602 <sup>c</sup>
240	37.9980 <sup>b</sup>
270	41.6462 <sup>a</sup>
300	41.2363 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายชานอ้อย  
ที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	2	363.197	181.598	1286.679 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	0.847	0.141	
ผลรวม	8	364.044		

ตารางที่ ง.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายชานอ้อยที่อุณหภูมิ 110, 121  
และ 126 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
110	27.8734 <sup>b</sup>
121	41.0313 <sup>a</sup>
126	41.6462 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซัง  
ข้าวโพคที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	90.331	22.583	1006.781 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.224	0.022	
ผลรวม	14	90.556		

ตารางที่ ง.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพคที่อุณหภูมิ 110  
องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
180	18.5891 <sup>c</sup>
210	18.5686 <sup>c</sup>
240	23.1800 <sup>b</sup>
270	23.3030 <sup>b</sup>
300	24.1433 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	105.688	26.422	782.326 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.338	0.034	
ผลรวม	14	106.026		

ตารางที่ ง.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส
180	28.3653 <sup>d</sup>
210	30.6402 <sup>c</sup>
240	33.7760 <sup>b</sup>
270	35.0262 <sup>a</sup>
300	36.3584 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	106.786	26.696	357.855 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.746	0.075	
ผลรวม	14	107.532		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
180	30.8657 <sup>d</sup>
210	33.0792 <sup>c</sup>
240	36.6863 <sup>b</sup>
270	37.3012 <sup>a</sup>
300	38.1415 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	2	296.744	148.372	5606.714 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	0.159	0.026	
ผลรวม	8	296.903		

ตารางที่ ง.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
110	24.1433 <sup>c</sup>
121	35.0262 <sup>b</sup>
126	37.3012 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจุกสับประรดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	145.444	36.361	9016.977 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.040	0.004	
ผลรวม	4	145.484		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจากสับประรดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
120	6.3740 <sup>c</sup>
150	10.9239 <sup>d</sup>
180	14.6950 <sup>a</sup>
210	14.2544 <sup>b</sup>
240	13.824 <sup>c</sup>

ตารางที่ ง.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจากสับประรดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	102.805	25.701	4079.065 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.063	0.006	
ผลรวม	14	102.868		

ตารางที่ ง.20 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจากสับประรดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส
120	15.5353 <sup>c</sup>
150	19.2859 <sup>d</sup>
180	22.3705 <sup>a</sup>
210	22.2065 <sup>b</sup>
240	21.9196 <sup>c</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจาก  
สับประรดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	4	31.309	7.827	1613.357 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.049	0.005	
ผลรวม	14	31.358		

ตารางที่ ง.22 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจากสับประรดที่อุณหภูมิ 126  
องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
	อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
120	19.1015 <sup>c</sup>
150	21.6634 <sup>d</sup>
180	23.0366 <sup>a</sup>
210	22.8214 <sup>b</sup>
240	22.5549 <sup>c</sup>

ตารางที่ ง.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจาก  
สับประรดที่อุณหภูมิ 110, 121 และ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อุณหภูมิ	2	128.937	64.469	13952.523 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	0.028	0.005	
ผลรวม	8	128.965		

ตารางที่ ง.24 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของเวลาในการย่อยสลายจากสับประรดที่อุณหภูมิ 110,  
121 และ 126 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (กรัมต่อลิตร)
110	14.6950 <sup>c</sup>
121	22.3705 <sup>b</sup>
126	23.0365 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรด  
ซัลฟูริกในการย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
ความเข้มข้นกรด	4	132.986	33.246	270.316 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	1.230	0.123	
ผลรวม	14	134.216		

ตารางที่ ง.26 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกในการย่อย  
สลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก (โมลต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
0.1	40.4984 <sup>c</sup>
0.2	44.8024 <sup>b</sup>
0.3	48.3686 <sup>a</sup>
0.4	45.4173 <sup>b</sup>
0.5	40.7854 <sup>c</sup>

ตารางที่ ง.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรด  
ซัลฟูริกในการย่อยสลายขังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
ความเข้มข้นกรด	4	1258.798	314.700	5889.877 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	10	0.534	0.053	
ผลรวม	14	1259.333		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.28 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริกในการย่อย  
สลายซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
0.2	38.5719 <sup>d</sup>
0.4	48.7375 <sup>c</sup>
0.6	61.8134 <sup>a</sup>
0.8	61.4035 <sup>a</sup>
1.0	60.1738 <sup>b</sup>

ตารางที่ ง.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรด  
ซัลฟิวริกในการย่อยสลายจุกสับประดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
ความเข้มข้นกรด	5	195.248	39.050	341.778 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	12	1.371	0.114	
ผลรวม	17	196.619		

ตารางที่ ง.30 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลไซโลสของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริกในการย่อย  
สลายจุกสับประดที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลิตร)	ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส
0.5	48.3686 <sup>f</sup>
0.7	50.4181 <sup>d</sup>
0.9	53.7383 <sup>c</sup>
1.1	57.4684 <sup>a</sup>
1.3	55.6239 <sup>b</sup>
1.5	49.7213 <sup>c</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญสูงสุดในการลดปริมาณสารพิษด้วย  
ผงถ่านกัมมันต์ในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่เวลา 0, 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อัตราการเจริญสูงสุด	5	11.168	2.234	83.758 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	12	0.320	0.027	
ผลรวม	17	11.488		

ตารางที่ ง.32 ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญสูงสุดในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ในการย่อย  
สลายซังข้าวโพดที่เวลา 0, 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

เวลาในการลดปริมาณสารพิษ (ชั่วโมง)	อัตราการเจริญสูงสุด (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
0	13.6500 <sup>c</sup>
1	15.6833 <sup>ab</sup>
6	15.5000 <sup>b</sup>
12	15.7833 <sup>ab</sup>
18	15.8167 <sup>a</sup>
24	15.9000 <sup>a</sup>

ตารางที่ ง.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญสูงสุดในการลดปริมาณสารพิษด้วย  
ผงถ่านกัมมันต์ในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อัตราส่วนผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไล  
เสท

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
อัตราการเจริญสูงสุด	3	4.002	1.334	94.157 <sup>*</sup>
ความคลาดเคลื่อน	8	0.113	0.014	
ผลรวม	11	4.115		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.34 ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญสูงสุดในการลดปริมาณสารพิษด้วยผงถ่านกัมมันต์ในการย่อยสลายซังข้าวโพดที่อัตราส่วนผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสท

อัตราส่วน ผงถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเสท (กรัมต่อมิลลิเมตร)	อัตราการเจริญสูงสุด (ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร)
1 ต่อ 25	15.2000 <sup>a</sup>
1 ต่อ 50	15.1833 <sup>a</sup>
1 ต่อ 100	15.1667 <sup>a</sup>
1 ต่อ 200	13.1850 <sup>b</sup>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายพงศธร กิมเฮง เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ในปี พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษา  
 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน  
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร จากนั้นเข้าศึกษาต่อ  
 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะ  
 วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้