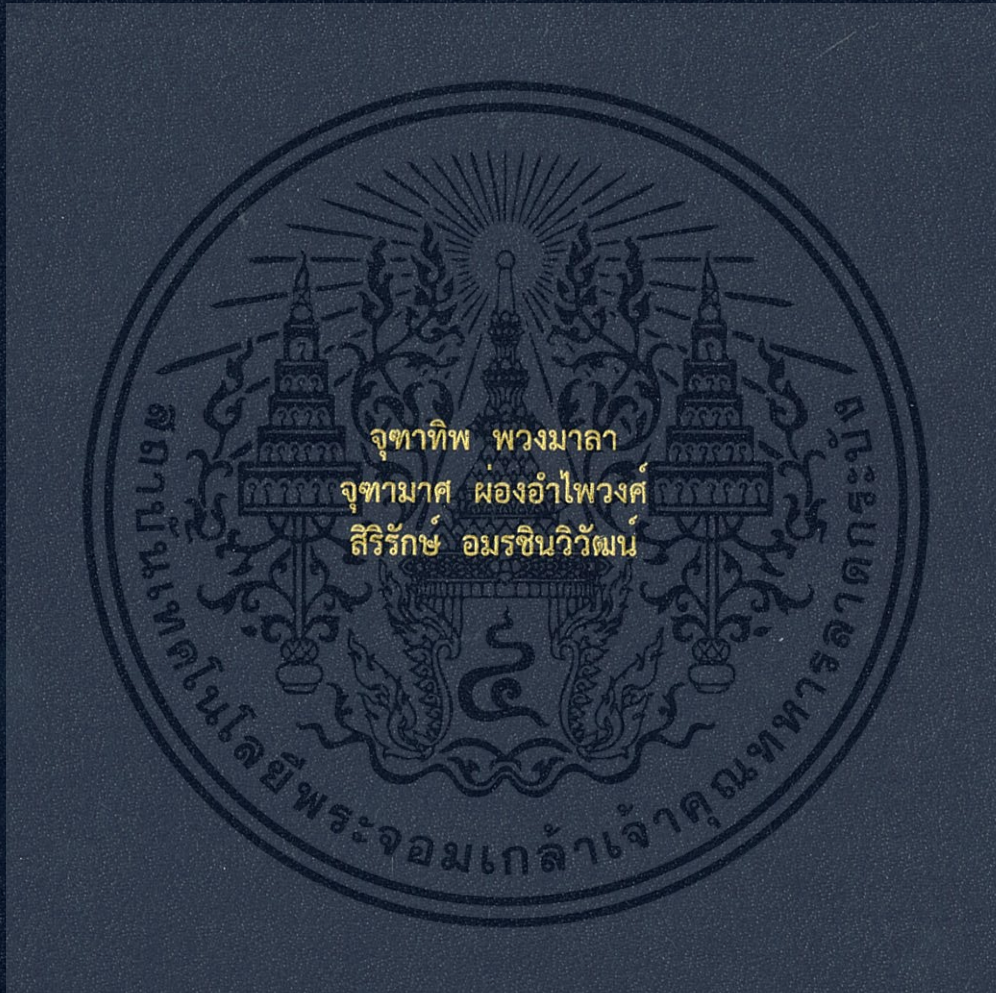


การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการ
ตรึงหิวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบ

Vinegar production in packed-bed bioreactor by
immobilized-luffa *Acetobacter aceti* WK



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการ
ตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบ
Vinegar production in packed-bed bioreactor by
immobilized-luffa *Acetobacter aceti* WK



T148890

จุฑาทิพ พวงมาลา
จุฑามาศ ผ่องอำไพวงศ์
สิริรักษ์ อมรชินวิวัฒน์

เลขหมู่.....148890
ลงทะเบียน.....
วันเดือนปี.....30 ธ.ค. 2560

b.18879062
.....
.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัว
เชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบัว

Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa
Acetobacter aceti WK

จัดทำโดย

จุฑาทิพ พวงมาลา

รหัสนักศึกษา 55080081

จุฑามาศ ผ่องอำไพวงศ์

รหัสนักศึกษา 55080082

สิริรักษ์ อมรชินวิวัฒน์

รหัสนักศึกษา 55080130

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(รศ.ดร.วราวุฒิ ครูสง)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

R 100, 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยไยบวบ
ชื่อนักศึกษา	จุฑาทิพ พวงมาลา รหัสนักศึกษา 55080081
	จุฑามาศ ผ่องอำไพวงศ์ รหัสนักศึกษา 55080082
	สิริรักษ์ อมรชินวิวัฒน์ รหัสนักศึกษา 55080130
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ ครุสง

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูในถังปฏิกรณ์แบบแพคเบด โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยไยบวบที่สภาพระดับความเข้มข้นทั้งหมด (Total concentration ; ผลรวมของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำหมักตามที่กำหนด) เท่ากับ 80 gl^{-1} ให้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำหมักเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 % และ 3.5 % ตามลำดับ จากการศึกษาการหมักสถานะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* WK โดยการตรึงเซลล์ด้วยไยบวบ ในถังหมัก Packed-bed bioreactor ที่มีไยบวบเป็นวัสดุช่วยในการตรึงเซลล์ โดยทำการศึกษาค่าผลผลิตไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2 2.5 และ 3 ลิตรและไม่มีไยบวบ พบว่าปริมาณไยบวบที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดอะซิติกของ *Acetobacter aceti* WK คือ 3 ลิตร โดยมีอัตราการผลิตกรดต่อวัน 0.59 \%day^{-1} ใช้ระยะเวลาในการหมัก 20 วัน และขั้นต่อมาได้ทำการศึกษา อัตราการหมักนํ้าหมักที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู โดยทำการศึกษาค่าผลของระดับหมักนํ้าหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที่ พบว่าอัตราการหมักนํ้าหมักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดอะซิติกของ *Acetobacter aceti* WK คือที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่ โดยมีอัตราการผลิตกรดต่อวัน 0.76 \%day^{-1} ใช้ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน และจึงศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู โดยทำการศึกษาอัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที่ พบว่าการให้อากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดอะซิติกของ *Acetobacter aceti* WK คือที่ระดับ 9 ลิตรต่อนาที่ โดยมีอัตราการผลิตกรดต่อวัน 0.85 \%day^{-1} ใช้ระยะเวลาในการหมัก 13 วัน

คำสำคัญ: ไยบวบ น้ำส้มสายชู ถังปฏิกรณ์แบบแพคเบด

Special problem title	Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa <i>Acetobacter aceti</i> WK	
Student name	Jutathip Phaungmala	Student ID 55080081
	Jutamas Pongampaiwong	Student ID 55080082
	Siriruk Amonchinwiwat	Student ID 55080130
Program	Bachelor of Science in Industrial Fermentation Technology	
Year	2016	
Special problem advisor	Assoc. Prof. Dr.Warawut Krusong	

ABSTRACT

Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa *Acetobacter aceti* WK at total concentration (TC) of $80 \pm 1 \text{ g l}^{-1}$ (the initial concentrations of acetic acid and ethanol were adjusted to $45 \pm 1 \text{ g l}^{-1}$ and $35 \pm 1 \text{ g l}^{-1}$, respectively). Effect adsorbed of acetic acid bacteria (AAB) on luffa with three condition consisting of luffa volume under four level of luffa volume (2, 2.5, 3 L and no luffa), flow rate under three level of flow rate (0.03 0.06 and 0.09 L min^{-1}) and aeration rate under three level of aeration rate (3 6 and 9 L min^{-1}) was investigated. In experiments show the optimum luffa volume was 3 L, obtaining the highest ETA is 0.59 \% day^{-1} in 20 days. The optimum flow rate was 0.03 L min^{-1} , obtaining the highest ETA is 0.76 \% day^{-1} in 15 days. The optimum flow rate was 9 L min^{-1} , obtaining the highest ETA is 0.76 \% day^{-1} in 13 days.

Keywords: Luffa, Vinegar, packed-bed bioreactor

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่อง การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงตัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. วราวุฒิ ครุสงฆ์ ที่ได้โอกาสในการศึกษาปัญหาพิเศษเรื่องนี้ ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ในทุกๆด้าน ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ เป็นแรงผลักดันให้การสนับสนุนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และคอยอยู่เคียงข้างเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ ตลอดระยะเวลา 4 ปีของการศึกษา จนทำให้คณะผู้จัดทำประสบความสำเร็จและสามารถนำความรู้ที่ได้เล่าเรียนมาไปประกอบอาชีพในอนาคตได้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยสปิริท อินดัสทรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ ของการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกคน ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่างๆพร้อมกับคำแนะนำอื่นๆมากมาย

จุฑาทิพ พวงมาลา

จุฑามาศ ผ่องอำไพวงศ์

สิริรักษ์ อมรชินวิวัฒน์

16 พฤษภาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาพิเศษเรื่องการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยไยบวบ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ที่มาและความสำคัญของน้ำส้มสายชู	3
2.2 ถึงปฏิกรณ์แบบแพคเบด (packed-bed reactor)	3
2.3 ไยบวบ	4
2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู	6
2.5 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู	7
2.6 การตรึงเซลล์ <i>Acetobacter aceti</i>	8
2.7 ชนิดของน้ำส้มสายชู	9
2.8 คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูที่ได้มาตรฐาน	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	12
3.2 อุปกรณ์	12
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	17
4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำประปา	17
4.2 ศึกษาผลของปริมาณไยบวบ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู ในถังหมัก Packed-bed bioreactor	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ศึกษาอัตราการหมักที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู ในถังหมัก Packed-bed bioreactor	25
4.4 ศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู ในถังหมัก Packed-bed bioreactor	30
4.5 ศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process ที่ใช้ยีสบวมในการตรึง เซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ	41
ภาคผนวก ข รูปภาพประกอบปัญหาพิเศษ	53
ประวัติผู้เขียน	56



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.03 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	17
4.2 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	18
4.3 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.09 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	19
4.4 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ไม่มีการบรรจุไยบวบโดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	21
4.5 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	21
4.6 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2.5 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	22
4.7 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	22
4.8 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	26
4.9 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.06 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.09 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลส ในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่	27
4.11 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 3 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร และกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่	30
4.12 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 6 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร และกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่	31
4.13 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 9 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร และกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่	31
4.14 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ในการศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process ที่ใช้ไยบวบในการตรึงเซลล์ <i>Acetobacter acetii</i> WK ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่ ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่	34

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภาพแสดงการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor	1
2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู	1
2.2 ลักษณะของโยบวบ	3
2.3 ลักษณะของเส้นใยที่เป็นรูปพรุน	5
2.4 แสดงลักษณะ <i>Acetobacter</i> spp.	6
2.5 การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าวด้วยวิธี Submerged Culture	8
2.6 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู	11
4.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการผลิตหมักที่ 0.03 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	18
4.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการผลิตหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	19
4.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการผลิตหมักที่ 0.09 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที	20
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 0 2 2.5 และ 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการผลิตหมักน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	23
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนโยบวบกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 0 2 2.5 และ 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการผลิตหมักน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	24
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างระดับหมักน้ำหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณโยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร และกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างระดับหมุมนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่	29
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุมนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่	32
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุมนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่	33
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol จากการศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process โดยใช้ปริมาณไยบวบที่ตรึงเซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK ที่ระดับปริมาตร 3 ลิตร อัตราการหมุมนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่และอัตราการให้อากาศที่ระดับ 9 ลิตรต่อนาที่	34
4.11 ตารางแสดงข้อมูลทั้ง 9 cycle สุดท้าย ที่สภาวะ ระดับปริมาตร 3 ลิตร อัตราการหมุมนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่และอัตราการให้อากาศ ที่ระดับ 9 ลิตรต่อนาที่	35
ก-1 อีบลูลิโอมิเตอร์	43
ก-2 แผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์	44
ก-3 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนาม รุ่น HI 9146	46
ก-4 ลักษณะของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง	49
ก-5 ลักษณะของเครื่อง Centrifuge	51
ก-6 ลักษณะของเครื่อง Versatile multipurpose SEM	52
ข-1 ไยบวบที่ใช้ในการตรึงเซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK	53
ข-2 ไยบวบที่ตรึงเซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK ในการผลิตน้ำส้มสายชู	53
ข-3 ท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสขนาด 2 2.5 และ 3 ลิตร ตามลำดับ	54

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-4 การผลิตน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงตัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยไยบวบ	54
ข-5 เซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK ที่ตรึงที่ผิวหน้าของไยบวบ ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก กำลังขยาย X5000 เท่า	55
ข-6 เซลล์ <i>Acetobacter aceti</i> WK ที่ตรึงที่ที่ด้านในของไยบวบ ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก กำลังขยาย X5000 เท่า	55



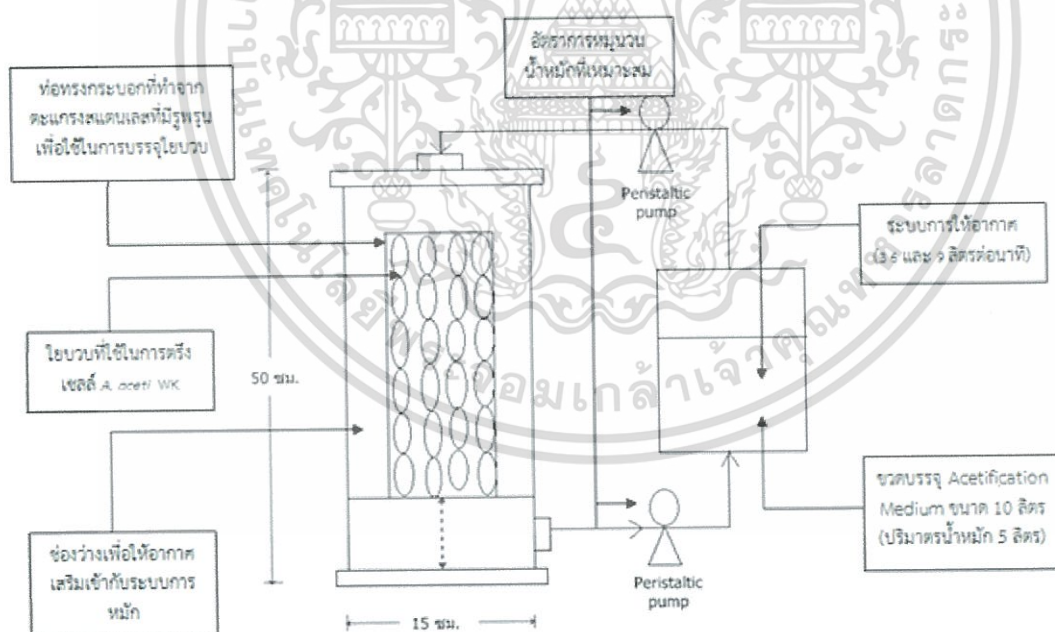
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักในประเทศไทยแต่เดิมเป็นการผลิตในระดับครัวเรือนโดยใช้วิธีการผลิตแบบช้า มักจะพบปัญหาด้านอัตราการผลิตที่ค่อนข้างต่ำซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อ การขยายการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากไม่คุ้มทุนในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก ภาคเอกชนจึงได้นำเข้าเทคโนโลยีมาจากต่างประเทศ เทคโนโลยีจากต่างประเทศนั้นสามารถผลิตน้ำส้มสายชูในระดับความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 8% ขึ้นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการนำเข้าเทคโนโลยีต่างชาติมาใช้ ก็ทำให้ภาคเอกชนต้องใช้จ่ายอย่างต่อเนื่อง และเนื่องจากการหมักน้ำส้มสายชูที่สภาวะปกติใช้เวลาในการหมักแต่ละรอบนาน จึงพัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้วิธีการตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบเพื่อใช้ในการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor



ภาพที่ 1.1 แผนภาพแสดงการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลการตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบ เพื่อใช้ในการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* WK โดยการหมักในถังหมัก Packed-bed bioreactor

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* โดยการตรึงเซลล์ด้วยใยบวบและการหมักที่แตกต่างกัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

1.3.2 ช่วยลดต้นทุนการผลิตน้ำส้มสายชูด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter aceti*

1.3.3 เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงการผลิตน้ำส้มสายชูด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* โดยการตรึงเซลล์ด้วยใยบวบ และ การตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* ด้วยใยบวบในระบบหมวนน้ำหมัก หรือการผลิตน้ำส้มสายชูที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

1.3.4 ปรับปรุงมาตรฐานและคุณภาพของน้ำส้มสายชูให้เป็นที่ยอมรับ รวมทั้งสามารถแข่งขันในตลาดทั้งในและต่างประเทศได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาและความสำคัญของน้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชูเป็นเครื่องปรุงรสอาหาร (seasoning) ที่เรารู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน คำว่า vinegar มาจากคำว่า vin aigre เป็นภาษาฝรั่งเศส แปลว่า ไวน์เปรี้ยว เพราะน้ำส้มสายชู ในสมัยเริ่มต้นได้จากการหมัก (fermentation) เอทิลแอลกอฮอล์ในไวน์ด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม Acetobacter และ Gluconobacter ทำให้ได้กรดน้ำส้ม (acetic acid) ซึ่งมีรสเปรี้ยว

น้ำส้มสายชูเป็นเครื่องปรุงรสอาหารที่มีประจำทุกครัวเรือน เพื่อเพิ่มรสเปรี้ยวหรือแต่งกลิ่น มีกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่ง คือกรดน้ำส้ม (Acetic Acid) เป็นองค์ประกอบสำคัญ นอกจากนี้อาจมีกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ ปนอยู่ด้วยเป็นส่วนน้อย เช่น กรดมาลิก (Malic Acid) กรดแลคติก (Lactic Acid) เอสเทอร์ (Ester) แอลกอฮอล์ (Alcohol) อัลดีไฮด์ (Aldehyde) ฯลฯ ซึ่งเกิดขึ้นจากธรรมชาติของการผลิตน้ำส้มด้วยกรรมวิธีหมัก โดยปฏิกิริยาเหล่านี้มีหลายขั้นตอน และขั้นตอนเหล่านั้นก็ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ



ภาพที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู

ที่มา : <http://www.healthcarethai.com/น้ำส้มสายชู-vinegar/>

2.2 ถังปฏิกรณ์แบบแพคเบด (packed-bed reactor)

ถังปฏิกรณ์แบบแพคเบด (packed-bed reactor) เป็นถังปฏิกรณ์ที่ใช้งานมากในอุตสาหกรรม โดยการใช้งานมีหลายรูปแบบ ส่วนมากใช้ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของไหล ถังแพคเบดมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีหลายประการแต่การสะสมความร้อนภายในเบด เป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตของระบบ

ถังปฏิกรณ์แบบแพคเบด (packed-bed reactor) มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกสูง ขนาดของถังขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน โดยพิจารณาสัดส่วนความสูงของเบดต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในถังบรรจุของแข็งอย่างมีรูปแบบ ข้อดีของการใช้ถังแพคเบดมีมาก เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างสาร เพื่อบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่นิ่ง ง่ายต่อการควบคุมสภาวะ หรือประโยชน์ในแง่อื่นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ถังแพคเบดส่วนใหญ่ใช้งานในลักษณะของการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ในปัจจุบันการใช้ถังแพคเบดเพื่อบรรจุสารตั้งต้นที่เป็นของแข็ง เช่น การหมักแบบแห้ง (solid-state fermentation, SSF) มีบทบาทมากขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่เกิดจากการใช้ถังแพคเบดก็คือ การสะสมความร้อนภายในเบดเนื่องจากปฏิกิริยาคายความร้อน ทำให้อุณหภูมิของระบบสูง จนกระทั่งมีผลกระทบต่อ การผลิตหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการใช้งานถังแพคเบดเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการควบคุมความร้อนภายในถังแพคเบดสามารถดำเนินการได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้เนื่องจากมีประสิทธิภาพและใช้งานง่าย มีอยู่ 2 วิธี คือ การควบคุมความร้อนด้วยการนำความร้อน (conductive cooling) เช่น การควบคุมความร้อนโดยใช้น้ำหล่อเย็น (cooling water) ไหลผ่านแจ็กเก็ต (cooling jacket) หรือผ่านท่อขด (cooling coil) และการควบคุมความร้อนด้วยการพาความร้อน (convective cooling) เช่น การควบคุมความร้อนด้วยการพาความร้อนออกจากระบบโดยการเป่าหรือดูดอากาศ หรืออาศัยการระเหยของน้ำที่ใช้พลังงานภายในระบบในการเปลี่ยนสถานะ (เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, 2546)

2.3 โยบวบ

2.3.1 ลักษณะโครงสร้างของโยบวบ

ตามลักษณะโครงสร้างของโยบวบ โยบวบมีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อย ๆ ได้แก่

Outer surface (O) เป็นส่วนบาง ๆ อยู่ด้านนอกสุดรอบ ๆ โยบวบและเป็นตัวเชื่อมระหว่างฟองน้ำกับเปลือก

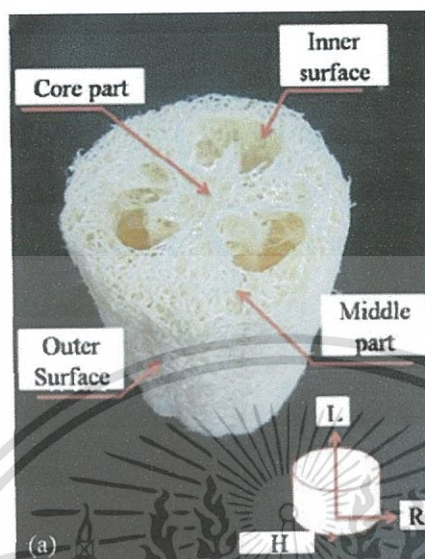
Middle part (M) ประกอบด้วยเส้นใยโครงข่ายย่อย ๆ อย่างซับซ้อน

Inner surface (I) แต่ละเส้นส่วนใหญ่จะวิ่งไปตามทาง เกือบจะขนานกับแกนตามยาวของโยบวบและเป็นที่ยึดเมล็ดพันธุ์ของโยบวบ

Core part (C) เป็นส่วนที่เชื่อมต่ออย่างหลวม ๆ กับ ส่วนอื่น เป็นเส้นใยเดี่ยวหนา วิ่งตามเส้นกลางทั้งหมดของโยบวบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ส่วนแรก (OMI) เป็นวงด้านผนัง (ส่วนที่อยู่ระหว่างวงกลมสีแดงกับเขียว) ความขรุขระจะค่อย ๆ ลดลงจากข้างนอกเข้าข้างในเป็นลำดับ



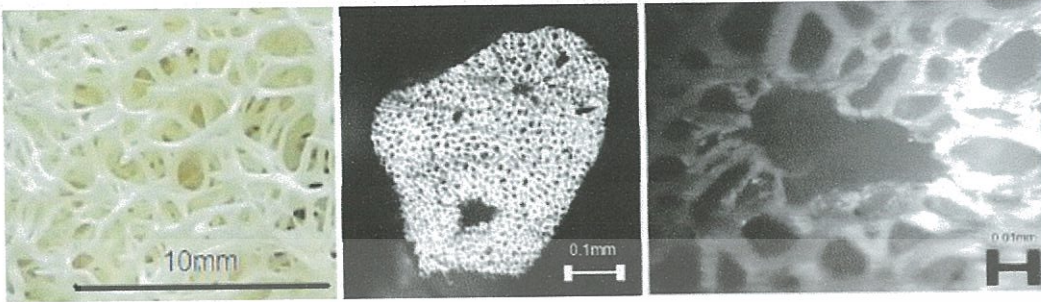
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของโยบวบ
ที่มา: Chen et al. (2014)

2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

โยบวบเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีเส้นใยเชื่อมต่อกันมีลักษณะเป็นรูพรุน เกิดจากสายพันธุ์ *Luffa cylindrical l* ซึ่งอยู่ใน Family *Cucurbitaceae* มีองค์ประกอบหลักทางด้านเคมีของเส้นใยเซลลูโลส, hemicellulose และ lignin ซึ่งช่วยเสริมสร้างความแข็งแรง โยบวบอาจมีโปรตีน กรดอะมิโน polypeptides, glycosides และอื่นๆ ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์อยู่ในปริมาณเล็กน้อยที่น่าสนใจคือ ในระหว่างที่โยบวบมีการเจริญเติบโต โครงสร้างเซลล์เริ่มต้นของโยบวบจะเป็นเส้นใยเดี่ยว ๆ ที่ระยะแรกและสุดท้ายเส้นใยจะแตกแขนงเป็นรูปร่าง ในระยะที่ยังอ่อนมาก ๆ (เส้นผ่าศูนย์กลางของผลบวบจะอยู่ราว ๆ 1 mm.) นั้นยังไม่เป็นเส้นตาข่าย แต่ต่อไปสามารถมองเห็นเส้นใยได้จากการสะสมของ protoplasm จนเป็นเซลล์เนื้อเยื่อถาวรเชิงเดี่ยว (parenchyma) เส้นใยที่สานต่อกันจะแยกจาก parenchyma cells ต่อมาจะแบ่งตัวยืดออกมาเป็นเส้นเล็ก ๆ จากนั้นเส้นใยจะปรับตัวให้ขนานกัน (Sinnot and Bloch, 1943) กระบวนการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการแบ่งเซลล์ในช่วง half-grown โยบวบเป็นผลไม้ที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เซลล์มีการขยายยาวอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้น แต่ทางกว้างผลจะขยายช้าและใช้เวลานานและเซลล์หนึ่งชุดจะยาวเชื่อมต่อกันโดยเส้นใย นอกจากนี้ยังเป็นเส้นใยที่มีลวดลายซับซ้อนเป็นร่างแห เนื่องจากการแตกแขนงของเส้นใย เมื่อโยบวบเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต็มที (เส้นผ่าศูนย์กลางของผลจะอยู่ราว ๆ 100 mm.) ก็จะเริ่มมี lignified (Sinnot and Bloch, 1943) ในขณะที่เนื้อเยื่ออ่อนและน้ำในผลไม้ค่อย ๆ หายไป และผลไม้กลายเป็นโครงสร้างแห้ง



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของเส้นใยที่เป็นรูพรุน
ที่มา: Chen et al. (2014)

2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู

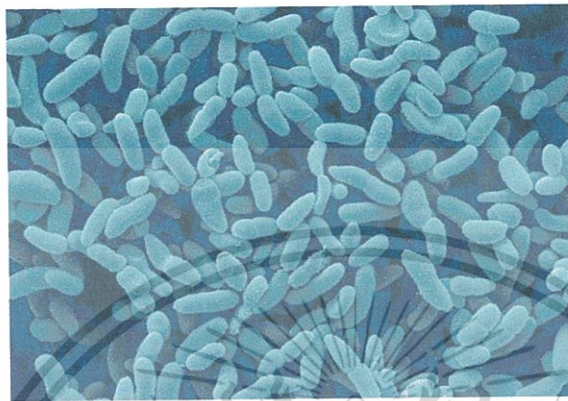
Acetobacter spp. เป็นแบคทีเรียในตระกูลของแบคทีเรียที่ผลิตกรดน้ำส้ม ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนแอลกอฮอล์(เอทานอล)ไปเป็นกรดอะซิติกในสภาวะที่มีออกซิเจน เซลล์ของ *Acetobacter* spp. มีลักษณะปกติรูปร่างค่อนข้างรีจนกระทั่งเป็นท่อนชัดเจน อาจพบเป็นเซลล์เดี่ยวๆจับเป็นคู่หรือต่อกันเป็นลูกโซ่ เมื่อนำมาย้อมสีพบว่าเซลล์ของ *Acetobacter* spp. ในระยะแรกของการเจริญเติบโต Gram negative เมื่อมีอายุมากขึ้นจะติดสี Gram variable ไม่พบการสร้างสปอร์ภายในเซลล์ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของ *Acetobacter* spp. จะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เจริญได้ดีคือ 29-34 องศาเซลเซียส (Lee, 2006) ตามปกติ *Acetobacter* spp. ชอบพีเอชค่อนข้างต่ำ พบว่าเจริญได้ที่พีเอช 4.0-4.5 และเจริญได้ดีที่พีเอช 5.4-6.3 ในระดับพีเอช 7-8 จะเจริญได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เชื้อ *Acetobacter* ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มสายชูจำเป็นต้องได้รับการคัดเลือกมาเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดี ดังนี้

- สามารถทนต่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกในระดับสูง
- สามารถทนต่อความเข้มข้นทั้งหมดของกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในน้ำหมักได้สูง
- ต้องการสารอาหารเพิ่มเติมเพียงเล็กน้อย
- ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา over-oxidation ซึ่งจะเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติกนี้ไม่ขึ้นกับการเพิ่มจำนวนเซลล์ของเชื้อ *Acetobacter* กล่าวคือหลังจากเซลล์หยุดการเจริญเติบโต เซลล์จะเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติกในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จนกระทั่งความเข้มข้นของกรดอะซิติกสูงสุดแล้วเซลล์จะตายอย่างรวดเร็วและทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดลงทันทีเช่นกัน (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532)



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะ *Acetobacter* spp.

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/varticle/44073>

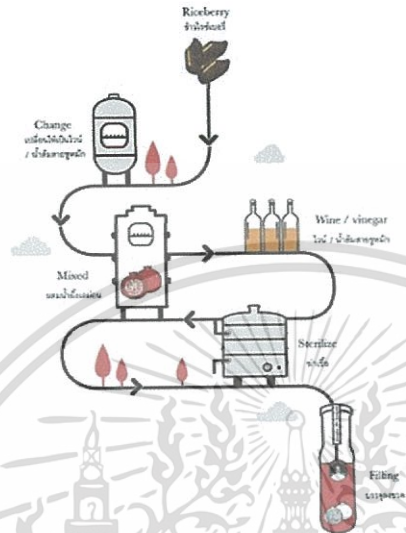
2.5 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู

เนื่องจากกระบวนการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชู จะต้องมีการให้อากาศอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น กระบวนการหมักที่เหมาะสมจึงเป็นกระบวนการหมักในสภาพอาหารเหลว (submerged fermentation) การหมักในสภาพนี้จำเป็นต้องใช้ถังหมักและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับถังหมักที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูในสภาพอาหารเหลว จำเป็นจะต้องใช้ถังหมักที่จะได้รับการออกแบบที่เฉพาะ เพื่อให้การหมักเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ที่สุด (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

กระบวนการหมักน้ำส้มสายชูเริ่มจากการเตรียมน้ำหมัก (mashes) ที่ประกอบด้วยเอทานอล น้ำ และสารอาหารสำหรับ acetic acid bacteria น้ำส้มสายชูส่วนมากจะเป็นน้ำส้มสายชูกลั่นซึ่งผลิตจากเอทานอลบริสุทธิ์ที่เจือจางหรือจาก fusel oil ที่มี crude spirit วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูได้แก่ เอทานอล เอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักเอทานอลและกรดอะซิติก นอกจากนี้ น้ำหมัก (mashes) ที่ได้จากกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากของเหลว ที่มีน้ำตาลตามธรรมชาติก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบได้ น้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำหมัก จะต้องใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอยยกเว้นตะกอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีเกลือแร่ต่างๆ เจือปนและปราศจากแบคทีเรีย มีกลิ่นหอมตามกลิ่นของวัตถุดิบ มีรสชาติดี มีรสหวานของน้ำตาลที่ตกค้างมีกลิ่นของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ความเข้มข้นขึ้นอยู่กับ ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปริมาณน้ำตาลของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก และมีปริมาณกรดน้ำส้ม (acetic acid) ไม่น้อยกว่า 4% และสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูผสมน้ำผักหรือผลไม้ ได้แก่ ไชเดอร์รสทับทิม และ น้ำผึ้งมะนาว โดยมีสารเสริมสุขภาพ (Health supplement) เช่น สาร anthocyanin และ bioflavonoid



ภาพที่ 2.5 การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าวด้วยวิธี Submerged Culture
ที่มา: <http://www.lanicha.com/store-th/riceberry-cider>

2.6 การตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti*

การตรึง *A. aceti* เป็นกระบวนการหมักแบบเร็ว โดยให้ไวน์ไหลอย่างช้าๆ ลงผ่านวัสดุที่มีเซลล์ที่สามารถผลิตกรดอะซิติกถูกตรึงอยู่ เช่น เศษไม้เศษหิน เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งจะถูกรเรียกว่า วัณฟิล์มจุลินทรีย์อากาศก็เคลื่อนที่ผ่านอย่างอิสระจากทางด้านล่างของแผ่นฟิล์มที่มีเซลล์แบคทีเรียเกาะอยู่เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายออกซิเจน แอลกอฮอล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกอย่างรวดเร็ว ขณะที่ไวน์ซึ่งเป็นวัตถุดิบไหลลงมายังแผ่นฟิล์มที่มีแบคทีเรียเกาะอยู่อย่างช้าๆ ขณะนี้จะเกิดอุณหภูมิจึงขึ้นซึ่งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย ข้อดีของการใช้วิธีการตรึงเซลล์คือ ปริมาณออกซิเจนที่สัมผัสกับไวน์ต่อเวลามากขึ้น (อัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนสูง)

แอลกอฮอล์สามารถสัมผัสกับแบคทีเรียได้เร็วขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการไหลไปตามวัสดุที่นำมาใช้ตรึง และมีเซลล์แบคทีเรียปริมาณมากขึ้นในการทำปฏิกิริยาด้วย สรุปคือ น้ำหมักที่มีเซลล์ของแบคทีเรียที่ผลิตกรด

จะไหลอย่างช้าๆลงมาสู่แผ่นวัสดุที่ใช้จริง จากนั้นจะถูกดูดเข้าสู่ส่วนรูและใยของวัสดุ เมื่อเซลล์แบคทีเรียถูกยึดติดอยู่กับเส้นใยเหล่านั้นแล้ว เซลล์จะมีการเจริญและฟอร์มตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆที่บริเวณผิวของวัสดุ

2.7 ชนิดของน้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชูจัดเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 204) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำส้มสายชู ประเภทของน้ำส้มสายชูนั้นแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.7.1 น้ำส้มสายชูหมัก คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมัก เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ผลไม้ เช่น สับปะรด แอปเปิล หรือ น้ำตาล กากน้ำตาล (molass) วัตถุดิบที่มีน้ำตาล (sugar) เช่น ผลไม้ต่างๆ เป็นอาหารของยีสต์ได้โดยตรง ส่วนวัตถุดิบที่มีแป้ง (starch) เช่น ข้าวจะต้องเปลี่ยนเป็นโมเลกุลของน้ำตาลก่อน

การผลิตน้ำส้มสายชูหมัก เป็นการหมักสองขั้นตอน คือ การหมักน้ำตาล ให้เกิดแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) โดยใช้ยีสต์ (yeast) ตามด้วยการหมักแอลกอฮอล์ให้เกิดกรดแอซิกติก (acetic acid fermentation) ด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม Acetobacter และ Gluconobacter ในภาวะที่มีออกซิเจน

2.7.2 น้ำส้มสายชูกลั่น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอทิลแอลกอฮอล์กลั่นเจือจาง (dilute distilled alcohol) มาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชู หรือเมื่อหมักแล้วนำไปกลั่น (distillation) หรือได้จากการนำน้ำส้มสายชูหมักมากลั่น น้ำส้มสายชูกลั่นจะต้องมีลักษณะใส ไม่มีตะกอน และมีปริมาณกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4%

2.7.3 น้ำส้มสายชูเทียม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอกรัดน้ำส้ม (acetic acid) ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นทางเคมี เป็นกรดอินทรีย์มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนมีความเข้มข้นประมาณ 95% มาเจือจางจนได้ปริมาณกรด 4-7% ลักษณะใส ไม่มีสี กรดน้ำส้มที่นำมาเจือจางจะต้องมีความบริสุทธิ์สูงเหมาะสมที่จะนำมาเป็นอาหารได้ และน้ำที่ใช้เจือจางต้องเหมาะสมที่จะใช้ดื่มได้

2.8 คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูที่ได้มาตรฐาน

2.8.1 มาตรฐานน้ำส้มสายชูหมักหรือน้ำส้มสายชูกลั่น ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

2.8.1.1 มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 27 องศาเซลเซียส

2.8.1.2 ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินปริมาณกำหนด ดังต่อไปนี้

- สารหนู ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- ทองแดงและสังกะสี ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- เหล็ก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม

2.8.1.3 ไม่มีกรดน้ำส้มที่มีได้มาจากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักหรือน้ำส้มสายชูกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.8.1.4 ไม่มีกรดกำมะถัน (sulfuric acid) หรือกรดแร่หรือสระอย่างอื่น
- 2.8.1.5 ใสไม่มีตะกอน เว้นแต่น้ำส้มสายชูหมักตามธรรมชาติ
- 2.8.1.6 ไม่มีหนอนน้ำส้ม (Vinegar Eel)
- 2.8.1.7 ใช้น้ำสะอาดเป็นส่วนผสม
- 2.8.1.8 ให้อัตราเจือปนอาหาร (food additive) ได้ ดังต่อไปนี้
- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - กรดแอล-แอสคอร์บิกไม่เกิน 400 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- 2.8.1.9 มีแอลกอฮอล์ตกค้าง (residual alcohol) ไม่เกิน 0.5%
- 2.8.1.10 การแต่งสี ให้น้ำตาลเคี้ยวใหม่หรือสีคาราเมล (caramel)
- 2.8.2 มาตรฐานน้ำส้มสายชูเทียม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้
- 2.8.2.1 มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัม และไม่เกิน 7 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 27 องศาเซลเซียส
- 2.8.2.2 ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังต่อไปนี้
- สารหนู ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - ทองแดงและสังกะสี ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - เหล็ก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- 2.8.2.3 ใสไม่มีตะกอน
- 2.8.2.4 ไม่มีกรดกำมะถันหรือกรดแร่หรือสระอย่างอื่น
- 2.8.2.5 ไม่ใช่สี
- 2.8.2.6 ไม่มีการแต่งกลิ่นหรือรส
- 2.8.2.7 ใช้น้ำสะอาดเป็นส่วนผสม

น้ำส้มสายชูปลอมได้จากน้ำกรดน้ำส้มชนิดเข้มข้น (glacial acetic acid) หรือ "หัวน้ำส้ม" ซึ่งปกติจะใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สิ่งพิมพ์ สิ่งทอ มาเจือน้ำ น้ำส้มดังกล่าวแม้ว่าจะเป็กรดน้ำส้มแต่ไม่มีความบริสุทธิ์เพียงพอที่จะนำมาบริโภคได้ ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นอาหาร มีโลหะหนัก หรือวัตถุเจือปนอื่นๆ มีราคาถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสายชูที่เป็นอาหารได้ และหากปริมาณกรดน้ำส้มสูงเกินไปจะเกิดอันตรายต่อผู้บริโภค อาจทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง เนื่องจากผนังลำไส้ไม่ดูดซึมอาหารรวมทั้งได้มีการนำเอากรดแร่หรือสระบางอย่าง เช่น กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟูริก (sulphuric acid) ซึ่งเป็นกรดแก่ มาเจือจางด้วยน้ำมากๆ แล้วบรรจุขวดขาย นับว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งเพราะกรดกำมะถันเป็นกรดที่มีสรรพคุณกัดกร่อนรุนแรง จะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินอาหารและตับ น้ำส้มสายชูเหล่านี้จึงไม่ปลอดภัยที่จะนำมาบริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู

ที่มา: <http://www.chiangmainews.co.th/page/?p=429666>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัสดุดิบ

ไวน์จากบริษัท ไทยสปิริตอินดัสทรี จำกัด

น้ำส้มสายชูจากไวน์สับปรดจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมัก คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

น้ำกรอง

น้ำกลั่น

น้ำสเตอไรซ์

โยบวบปลอดเชื้อ

หัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ได้รับจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมักคณะ

อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1.2 สารเคมี

แอลกอฮอล์ 95%

ฟีนอล์ฟทาลิน 0.5%

NaOH 1N

กลูโคส

ไดแอมโมเนียมเฟออสเฟส (DAP)

แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

Yeast Extract

3.2 อุปกรณ์

ขวด Durant ขนาด 10 ลิตร

อีบูลลิโอมิเตอร์

เครื่อง High speed Centrifuge

บริษัท แอปเพนดอร์ฟ (ประเทศไทย) จำกัด

รุ่น 3804R

ประเทศ เยอรมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Vis spectrophotometer	บริษัท Thermo Fisher Scientific รุ่น Genesys20 ประเทศ สหรัฐอเมริกา
Dissolved oxygen meter	บริษัท Hanna Instruments Inc. รุ่น HI 9146 ประเทศ โรมาเนีย
เครื่อง SEM	บริษัท CARL ZEISS CO., LTD. รุ่น EVO MA 10 ประเทศ อังกฤษ
เครื่องเขย่าแบบ Reciprocal	
Hot air oven	
เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง	
โถดูดความชื้น	
หลอด Centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร	
คีมเวต	
ถ้วยฟอยล์	
บิวเรต 50 มิลลิลิตร	
Tong	
ลูกยาง	
ปิเปต 10 มิลลิลิตร	
ปิเปต 5 มิลลิลิตร	
หลอดทดลอง	
กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร	
บีกเกอร์ 5000 มิลลิลิตร	
บีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร	
บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร	
บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร	
Flask 100 มิลลิลิตร	
กรวยแก้ว	
ไฟแช็ก	
เทอร์โมมิเตอร์	
หม้อแอสตนเลส	
เครื่องกรองน้ำส้มสายชู	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Pump

สายยางซิลิโคน ขนาด 9×6 มิลลิเมตร

Air filter

Thermocouple

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมน้ำหมักและการหมักน้ำส้มสายชู

3.3.1.1 การเตรียมน้ำหมัก

นำน้ำส้มสายชูหมักและไวน์น้ำสับประรดที่ทราบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นกรดและแอลกอฮอล์ที่มาผสมกัน จนได้ผลรวมความเข้มข้นของกรดอะซิติกและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำหมักตามที่ไว้ คือ TC8 โดยให้ความเข้มข้นกรดเริ่มต้นอยู่ที่ 4.5% และค่าแอลกอฮอล์อยู่ที่ 3.5%

3.3.1.2 การหมักน้ำส้มสายชู

นำหัวเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมลงเติมน้ำหมักที่เตรียมไว้ พร้อมกับสารอาหาร (0.1% Glucose, 0.1% Yeast Extract, 0.005%DAP และ 0.002%MgSO₄) จากนั้นทำการหมักในระบบหมวนวนน้ำหมัก และติดตามการลดลงของปริมาณแอลกอฮอล์จนถึงประมาณ 0.3 – 0.5% จึงค่อยทำการดึงน้ำหมักออกจากระบบ (Discharge) ที่ 40% ของปริมาตรน้ำหมัก แล้วทำการเติมไวน์และสารอาหารใหม่ (Charge) เข้าไปในระบบให้มีปริมาตรเท่าเดิม

3.3.2 การตรวจวิเคราะห์น้ำส้มสายชูหมัก

3.3.2.1 การตรวจวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์กรด (AOAC, 2000)

นำตัวอย่างน้ำส้มสายชูมาทำการไตเตรทด้วย NaOH ความเข้มข้น 1 N. จนเกิดจุดยุติ คือ เปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน (ปฏิบัติตามขั้นตอนของ AOAC, 2000)

3.3.2.2 วิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

นำตัวอย่างน้ำส้มสายชู 50 มิลลิลิตร ทำการต้มด้วยอีบูลลิโอมิเตอร์

3.3.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก

นำหัววัด Dissolved oxygen meter รุ่น HI 9146 Hanna Instrument made in Romania จุ่มลงในถังหมักน้ำส้มสายชูเพื่อหาค่า Dissolved oxygen (OD)

3.3.2.4 วิเคราะห์อุณหภูมิในน้ำหมัก

จุ่มหัวเครื่องวัดอุณหภูมิลงในน้ำหมักและอ่านค่าที่ปรากฏ

3.3.2.5 ผลของปริมาณเชื้อที่หมักน้ำส้มสายชู

โดยหาค่ากราฟมาตรฐานของปริมาณเชื้อจากความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (Cell Weight) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 nm การทำกราฟมาตรฐานแสดงปริมาณเซลล์แบคทีเรีย *Acetobacter aceti* โดยวิธีการนำเอาหมักที่มีเซลล์แบคทีเรียอยู่มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 nm และนำมาเหวี่ยงด้วยเครื่อง Hi speed Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 8500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปหาค่าน้ำหนักเซลล์แห้งนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เป็นกราฟในการหาปริมาณเชื้อที่หมักน้ำส้มสายชู

1. วิเคราะห์ Cell Dry Weight (น้ำหนักเซลล์แห้ง) จากน้ำหมัก

นำตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่มีแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* เจริญอยู่ในช่วง log phase ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แบ่งใส่หลอด centrifuge 5 หลอด หลอดละ 50 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Hi speed Centrifuge ด้วยอัตราเร็ว 8500 rpm เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เมื่อบั่นเหวี่ยงเสร็จจะเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับตะกอนเซลล์แบคทีเรีย เทส่วนใสทิ้งแล้วนำตะกอนเซลล์แบคทีเรียที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมาทำการล้างด้วยน้ำเสตอโรซ์ 2 ครั้ง จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นใส่หลอดทดลอง ที่อัตราการเจือจาง 100:0 80:20 60:40 40:60 20:80 นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge และดูดใส่ฟอยล์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ส่วนที่เหลือนำไปวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 660 nm แล้วนำค่าทั้งสองมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับน้ำหนักแห้งของเซลล์แบคทีเรีย *Acetobacter aceti* สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักแห้ง คือ

$$\text{น้ำหนักแห้งของเซลล์ (กรัมต่อลิตร)} = \left| \frac{(B-A) \times 1000}{(\text{ปริมาณที่ใช้ในการเจือจาง})} \right|$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของฟอยล์

B คือ น้ำหนักของฟอยล์ หลังอบ

2. วิเคราะห์ Cell Dry Weight (น้ำหนักเซลล์แห้ง) จากโยบวบ

นำโยบวบมาใส่น้ำกลั่นเสตอโรซ์ปริมาตร 1:100 มิลลิลิตร จำนวน 5 flask และนำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.3.2.5.1

3. การวิเคราะห์ Optical Density (ความขุ่น)

เก็บตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักในแต่ละวันมาวัดหาค่าความขุ่นด้วยเครื่อง UV spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 660 nm แล้วนำไปแทนค่าในสมการที่ได้จากกราฟ

มาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มชื้นกับน้ำหนักแห้งของเซลล์แบคทีเรีย *Acetobacter aceti* เพื่อหาค่าปริมาณของเซลล์ *Acetobacter aceti* ในแต่ละ cycle ของการหมัก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเซลล์ของแต่ละ cycle} = \left| \frac{(\text{ปริมาณเซลล์แห้งวันสุดท้ายของ cycle} - \text{ปริมาณเซลล์แห้งวันเริ่มต้นของ cycle})}{(24 \times \text{จำนวนวันทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก})} \right|$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

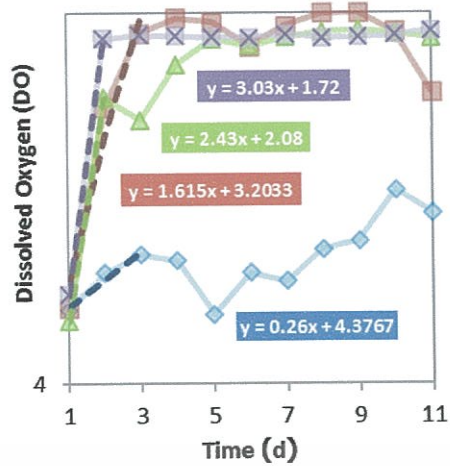
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำประปา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำประปาโดยอาศัยการหมุนวนด้วยเครื่อง Peristaltic pump โดยควบคุมอัตราการหมุนวนในน้ำหมักเท่ากับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาทีและที่ระดับการให้อากาศ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที จากการศึกษพบว่าที่อัตราการหมุนวนที่ 0.03 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ จะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มระดับการให้อากาศ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำก็จะเพิ่มตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มระดับอัตราการหมุนวนเพิ่มขึ้น จะทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถอ้างอิงว่าการให้อากาศมีผลต่อการสร้างกรดของเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจะต่ำลง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.03 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที

เวลา(นาท)	0 ลิตรต่อนาที	3 ลิตรต่อนาที	6 ลิตรต่อนาที	9 ลิตรต่อนาที
0	0	0	0	0
1	4.61	4.63	4.51	4.75
2	4.95	6.81	6.94	7.78
3	5.13	7.86	6.65	7.83
4	5.07	8.09	7.40	7.82
5	4.57	8.03	7.77	7.80
6	4.95	7.66	7.67	7.79
7	4.87	7.97	7.80	7.84
8	5.18	8.17	7.88	7.79
9	5.27	8.18	7.91	7.80
10	5.81	7.89	7.86	7.83
11	5.56	7.01	7.79	7.90



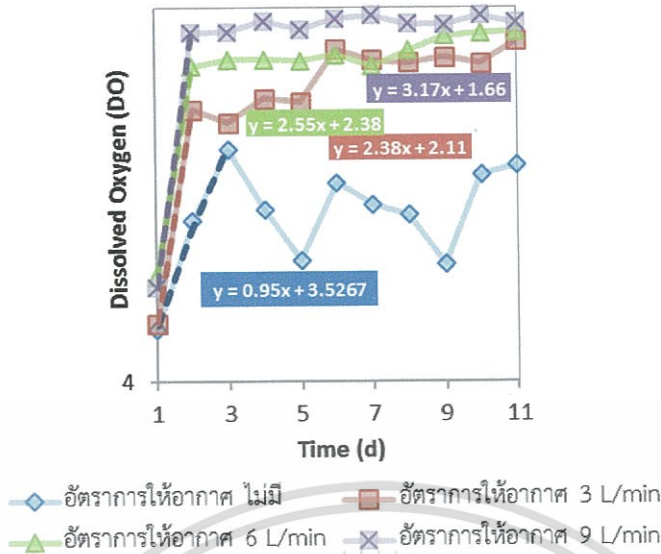
◆ อัตราการให้อากาศ ไม่มี ■ อัตราการให้อากาศ 3 L/min
 ▲ อัตราการให้อากาศ 6 L/min ✕ อัตราการให้อากาศ 9 L/min

ภาพที่ 4.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.03 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที

เวลา(นาที)	0 ลิตรต่อนาที	3 ลิตรต่อนาที	6 ลิตรต่อนาที	9 ลิตรต่อนาที
0	0	0	0	0
1	4.44	4.49	4.93	4.83
2	5.50	6.87	7.48	8.00
3	6.34	6.69	7.58	8.01
4	5.63	7.02	7.58	8.18
5	5.09	6.97	7.56	8.05
6	5.93	7.73	7.65	8.22
7	5.68	7.57	7.48	8.27
8	5.57	7.53	7.71	8.13
9	5.05	7.61	7.94	8.12
10	6.03	7.52	7.99	8.27
11	6.14	7.86	8.01	8.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

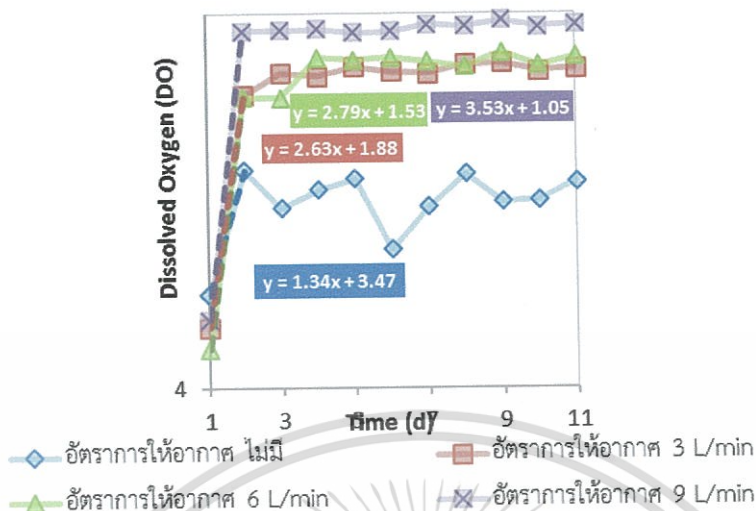


ภาพที่ 4.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.09 ลิตรต่อนาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที

เวลา(นาที)	0 ลิตรต่อนาที	3 ลิตรต่อนาที	6 ลิตรต่อนาที	9 ลิตรต่อนาที
0	0	0	0	0
1	4.81	4.51	4.32	4.58
2	6.15	7.14	7.11	8.11
3	5.71	7.46	7.10	8.12
4	5.92	7.42	7.69	8.14
5	6.05	7.55	7.65	8.08
6	5.26	7.48	7.69	8.10
7	5.72	7.45	7.62	8.21
8	6.11	7.59	7.55	8.18
9	5.78	7.61	7.76	8.28
10	5.80	7.49	7.57	8.17
11	6.01	7.52	7.70	8.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการหมุนวนที่ 0.09 ลิตรต่อวินาทีและระดับการให้อากาศที่ 0 3 6 และ 9 ลิตรต่อวินาที

4.2 ศึกษาผลของปริมาณไยบวบ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor

จากการศึกษาผลของปริมาณไยบวบ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยทำการศึกษาค่าผลผลิตปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2 2.5 และ 3 ลิตรและไม่มีการบรรจุไยบวบ โดยกำหนดให้ใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อวินาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อวินาที โดยมีการเปลี่ยนสับสเตรททั้งสิ้น 6 ครั้ง จากการศึกษาพบว่า ท่อทรงกระบอกที่ไม่มีบรรจุไยบวบมี อัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($\text{ETA}\% \text{day}^{-1}$) เท่ากับ 0.24 \%day^{-1} ซึ่งถ้าเมื่อใช้ท่อทรงกระบอกที่มีการบรรจุไยบวบในระดับ 2 ลิตร จะมีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($\text{ETA}\% \text{day}^{-1}$) เท่ากับ 0.39 \%day^{-1} จากการศึกษาครั้งนี้มีการเพิ่มปริมาณไยบวบถึง 3 ลิตร ซึ่งถ้าดูจากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรจะมีอัตราการสร้างกรดสูงขึ้นเรื่อยๆตามลำดับ จากที่กล่าวมาพบว่าไยบวบมีความสามารถในการตรึงเซลล์ ซึ่งไยบวบเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีเส้นใยเชื่อมต่อกันมีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวในการตรึงเซลล์แบคทีเรียที่สร้าง ซึ่งในการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไยบวบ จะทำให้อัตราการผลิตกรดเพิ่มสูงขึ้น ดังในภาพที่ 4.4 และในภาพที่ 4.5 เป็นปริมาณเซลล์แห้งจะเห็นว่ายังมีปริมาณไยบวบสูงขึ้น จะมีปริมาณเซลล์แห้งสูงขึ้น ทั้งในปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ไม่มีการบรรจุใยบัวโดยกำหนดใช้อัตราการหมยวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาที่และกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบัว (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.30	5.30	0.17	0.0020	0.0024	6
2	4.50	5.60	0.28	0.0018	0.0026	4
3	4.50	5.10	0.10	0.0016	0.0024	6
4	4.45	5.20	0.15	0.0042	0.0048	5
5	4.50	5.50	0.33	0.0060	0.0060	3
6	4.60	6.30	0.43	0.0080	0.0088	4

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณใยบัวที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมยวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาที่และกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์แห้ง ส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบัว (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	5.65	0.38	0.0028	0.0026	3
2	4.50	6.10	0.40	0.0040	0.0044	4
3	4.50	5.50	0.33	0.0028	0.0026	3
4	4.45	6.00	0.39	0.0044	0.0046	4
5	4.60	5.60	0.33	0.0064	0.0068	3
6	4.50	6.40	0.48	0.0100	0.0140	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

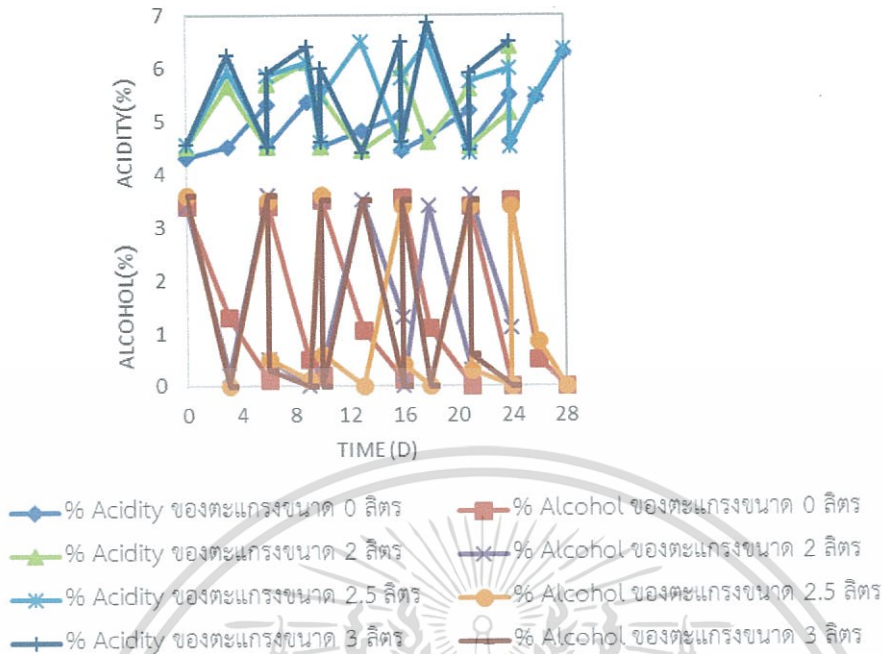
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในต่อ
ทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 2.5 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่
0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนไยบวบ (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.55	5.95	0.47	0.0028	0.0028	3
2	4.60	6.10	0.50	0.0044	0.0048	3
3	4.60	6.50	0.48	0.0062	0.0048	4
4	4.50	6.50	0.67	0.0062	0.0064	3
5	4.40	6.00	0.40	0.0060	0.0060	4
6	4.50	6.35	0.46	0.0180	0.0200	4

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในต่อ
ทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่
0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

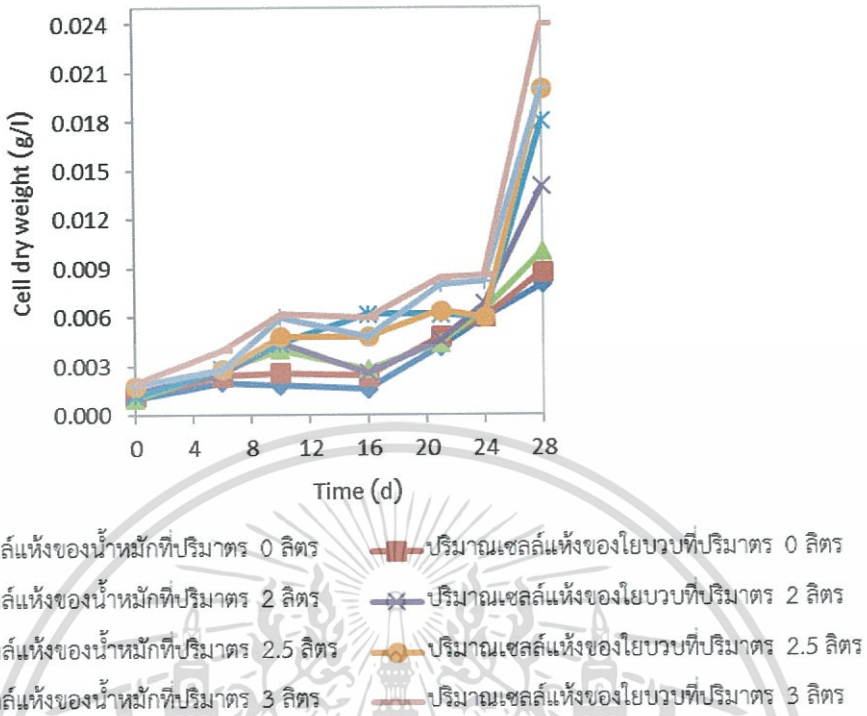
cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนไยบวบ (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.55	6.25	0.57	0.0028	0.0040	3
2	4.50	6.40	0.48	0.0060	0.0062	4
3	4.60	6.00	0.35	0.0048	0.0060	4
4	4.40	6.50	0.70	0.0080	0.0084	3
5	4.60	6.85	0.75	0.0082	0.0086	3
6	4.45	6.50	0.68	0.0200	0.0240	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโยวบาบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 0 2 2.5 และ 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมวนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไยบวที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 0 2 2.5 และ 3 ลิตร โดยกำหนดใช้อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ 0.06 ลิตรต่อนาทีและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

4.3 ศึกษาอัตราการหมวนน้ำหมักที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor

จากการศึกษาอัตราการหมวนน้ำหมักที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยทำการศึกษาผลของระดับหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อ นาที โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณไบโอบวกที่ตรงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่เหมาะสม คือ ระดับปริมาตร 3 ลิตร และกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาทีโดยมีการเปลี่ยนสับสเตรททั้งสิ้น 6 ครั้ง จากการศึกษา พบว่า ที่อัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.76\%day^{-1}$ และเมื่อเพิ่มอัตราการหมวนเพิ่มขึ้น จะมีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) ลดลง โดยที่อัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.06 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.64\%day^{-1}$ และอัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.09 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.44\%day^{-1}$ จากที่กล่าวมาทำให้ทราบว่าที่อัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพราะช่วยลดการสูญเสียปริมาณออกซิเจนได้ดี ระยะเวลาที่ออกซิเจนจากการหมวนช้า เชื้อแบคทีเรียจะทำการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติกได้ในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการหมวนอากาศที่ 0.06 ลิตรต่อนาที และ 0.09 ลิตรต่อนาทีซึ่งสามารถอ้างอิงได้กับ ภาพที่ 4.7 คือ ที่ระดับหมวนที่ 0.03 ลิตรต่อนาที มีปริมาณเซลล์แห้งมากกว่าที่ระดับหมวนอื่นๆ และนอกจากนี้ยังค้นพบจากการวิจัยอื่นว่าการทดลองการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้เครื่องเขย่าเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ (Krusong and Tantratian, 2014) จะทำให้ประสิทธิภาพการหมักแบบหมวนน้ำหมักให้อัตราการผลิตกรดต่อวัน มากกว่าการหมักแบบใช้เครื่องเขย่า เนื่องจากสภาวะการหมวนน้ำหมักเป็นการวางนิ่งทำให้ไม่สูญเสีย น้ำหมักจากการเขย่า ซึ่งการวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาและการพัฒนาเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนใยบัวและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณใยบัวที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบัว (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	6.60	0.53	0.0040	0.0044	4
2	4.50	6.30	0.90	0.0068	0.0080	2
3	4.45	6.30	0.93	0.0064	0.0068	2
4	4.60	6.40	0.60	0.0082	0.0088	3
5	4.40	6.15	0.88	0.0220	0.0280	2
6	4.60	6.05	0.73	0.0300	0.0320	2

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนใยบัวและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.06 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณใยบัวที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่

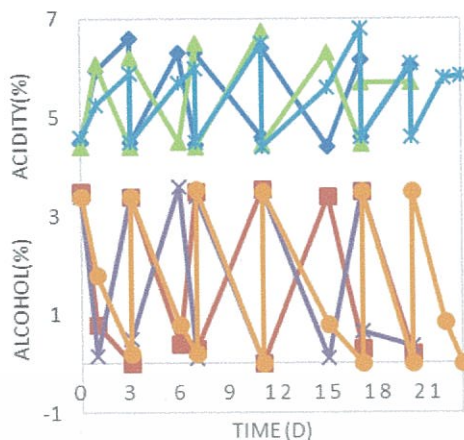
cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบัว (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.40	6.10	0.57	0.0028	0.0042	3
2	4.40	6.20	0.90	0.0064	0.0062	2
3	4.50	6.50	0.67	0.0060	0.0060	3
4	4.40	6.75	0.78	0.0080	0.0086	3
5	4.45	6.30	0.62	0.0084	0.0088	3
6	4.45	5.70	0.31	0.0220	0.0280	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่ระดับหมนนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.09 ลิตรต่ออนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่ออนาที

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนไยบวบ (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.60	5.90	0.43	0.0028	0.0026	3
2	4.50	6.00	0.38	0.0044	0.0046	4
3	4.50	6.50	0.50	0.0042	0.0028	4
4	4.40	6.80	0.40	0.0044	0.0048	6
5	4.60	6.10	0.50	0.0064	0.0068	3
6	4.60	5.85	0.42	0.0140	0.0200	3

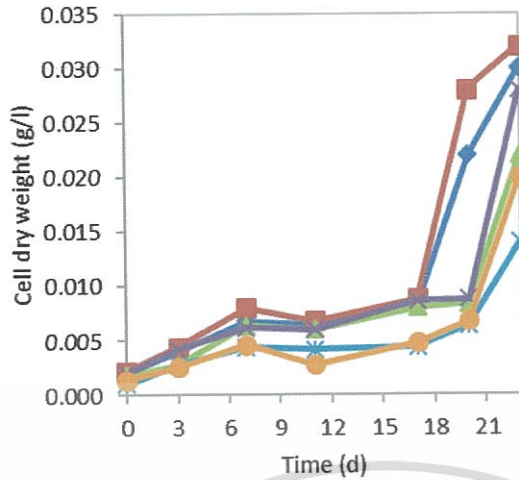
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ◆ % Acidity ของอัตราส่วนผสมที่ 0.03 ลิตรต่อนาที่
- ▲ % Acidity ของอัตราส่วนผสมที่ 0.06 ลิตรต่อนาที่
- ✱ % Acidity ของอัตราส่วนผสมที่ 0.09 ลิตรต่อนาที่
- % Alcohol ของอัตราส่วนผสมที่ 0.03 ลิตรต่อนาที่
- ✱ % Alcohol ของอัตราส่วนผสมที่ 0.06 ลิตรต่อนาที่
- % Alcohol ของอัตราส่วนผสมที่ 0.09 ลิตรต่อนาที่

ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณโยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในพ่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ◆ ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักของระดับหมวนวันที่ 0.03 ลิตรต่อนาที
- ปริมาณเซลล์แห้งส่วนโยวบของระดับหมวนวันที่ 0.03 ลิตรต่อนาที
- ▲ ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักของระดับหมวนวันที่ 0.06 ลิตรต่อนาที
- × ปริมาณเซลล์แห้งส่วนโยวบของระดับหมวนวันที่ 0.06 ลิตรต่อนาที
- ✱ ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักของระดับหมวนวันที่ 0.09 ลิตรต่อนาที
- ปริมาณเซลล์แห้งส่วนโยวบของระดับหมวนวันที่ 0.09 ลิตรต่อนาที

ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนโยวบกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างระดับหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณโยวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดการให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก

Packed-bed bioreactor

จากการศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยทำการศึกษาอัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาทีโดยกำหนดให้ใช้ปริมาณไยบวบที่ตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่เหมาะสม คือ ระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่เหมาะสม ที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาทีโดยมีการเปลี่ยนสับสเตรททั้งสิ้น 6 ครั้ง จากการศึกษาพบว่าที่อัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($\text{ETA}\% \text{day}^{-1}$) เท่ากับ 0.71 $\% \text{day}^{-1}$ และเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศเพิ่มขึ้น คือ 6 และ 9 ลิตรต่อนาที จะมีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($\text{ETA}\% \text{day}^{-1}$) เท่ากับ 0.79 และ 0.85 $\% \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ จากที่กล่าวมาทำให้ทราบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศจะมีอัตราการสร้างกรดสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.8 และมีปริมาณเซลล์แห้งทั้งในน้ำหมักและในไยบวบเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.9 เนื่องจาก *Acetobacter aceti* WK เป็นแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการออกซิโดเซทานอลให้เป็นกรดอะซิติก จึงนำมาอ้างอิงจากผลการทดลอง คือ เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศจะทำให้มีแบคทีเรียมากขึ้น และแบคทีเรีนี้อาจจะไปสามารถสร้างให้สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนไยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 3 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดให้ปริมาณไยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA ($\% \text{day}^{-1}$)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l^{-1})	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนไยบวบ (g l^{-1})	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	6.45	0.98	0.0028	0.0034	2
2	4.50	6.20	0.57	0.0066	0.0068	3
3	4.50	5.85	0.68	0.0068	0.0064	2
4	4.50	6.65	0.72	0.0080	0.0086	3
5	4.50	6.10	0.80	0.0200	0.0260	2
6	4.50	6.05	0.52	0.0280	0.0300	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

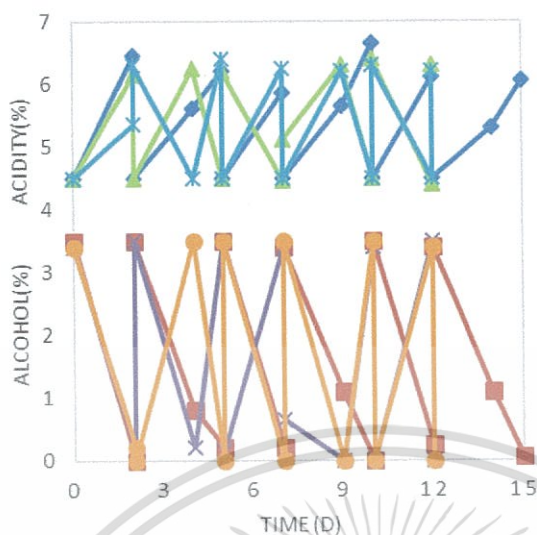
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนใยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 6 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณใยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบวบ (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	6.15	0.83	0.0042	0.0046	2
2	4.50	6.25	0.88	0.0068	0.0082	2
3	4.50	6.20	0.85	0.0066	0.0068	2
4	4.45	6.30	0.62	0.0084	0.0088	3
5	4.50	6.40	0.63	0.0260	0.0300	3
6	4.40	6.30	0.95	0.0320	0.0340	2

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า %ETA ปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมัก ปริมาณเซลล์แห้งส่วนใยบวบและระยะเวลาในการสร้างกรด ที่อัตราการให้อากาศระดับ 9 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณใยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที

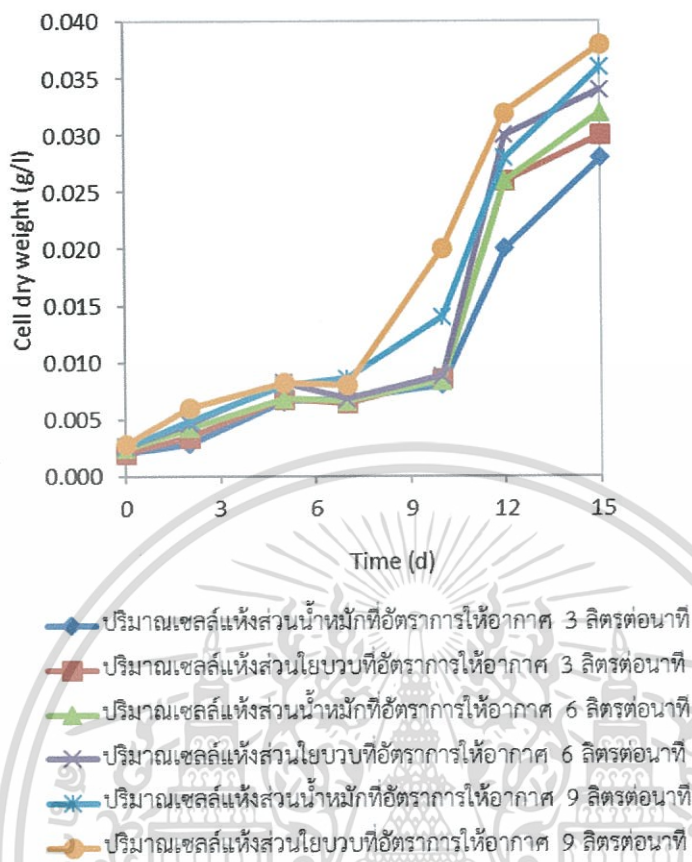
cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนน้ำหมัก (g l ⁻¹)	ปริมาณเซลล์ แห้งส่วนใยบวบ (g l ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	6.30	0.60	0.0048	0.0060	3
2	4.50	6.40	0.95	0.0080	0.0082	2
3	4.50	6.25	0.88	0.0086	0.0080	2
4	4.50	6.20	0.85	0.0140	0.0200	2
5	4.50	6.30	0.90	0.0280	0.0320	2
6	4.50	6.20	0.90	0.0360	0.0380	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการใช้กากที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อหน้าที่ โดยกำหนดใช้ปริมาณเียววบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจาก ตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเซลล์แห้งส่วนน้ำหมักและปริมาณเซลล์แห้งส่วนใยบวบกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการให้อากาศที่ระดับ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดใช้ปริมาณใยบวบที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและกำหนดอัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที

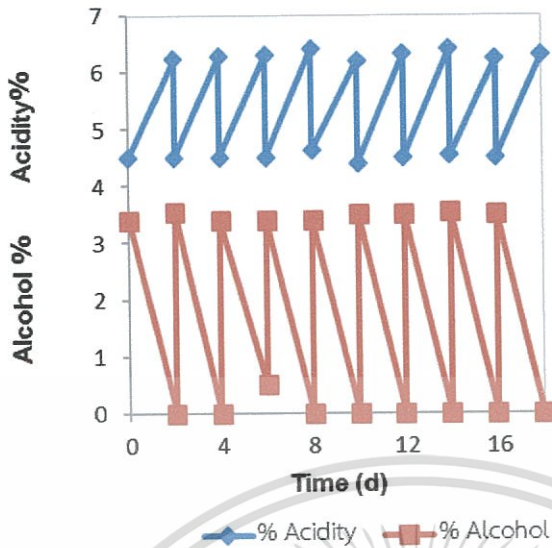
4.5 ศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process ที่ใช้โบบวในการตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK

จากการศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process ที่ใช้โบบวในการตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK โดยใช้ปริมาณโบบวที่ตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่เหมาะสม คือ ระดับ ปริมาตร 3 ลิตร อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่เหมาะสม คือ ที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศที่เหมาะสม คือ ที่ระดับ 9 ลิตรต่อนาที นอกจากนี้จะทำการติดตามลักษณะของการยึดเกาะของเชื้อ *Acetobacter aceti* WK บนโบบวด้วย Scanning electron microscopy โดยทำการดึงตัวอย่างในรูปที่ 3 ดูรูปภาพได้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า %ETA และระยะเวลาในการสร้างกรด ในการศึกษาความคงตัวของระบบ Quick acetification process ที่ใช้โบบวในการตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่ระดับหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที ปริมาณโบบวที่ผ่านการตรึงเซลล์บรรจุในท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสในระดับปริมาตร 3 ลิตรและให้อากาศที่ระดับ 6 ลิตรต่อนาที

cycle	Acidity เริ่มต้น(%)	Acidity สุดท้าย(%)	ETA (%day ⁻¹)	ระยะเวลา ที่สร้างกรด (Day)
1	4.50	6.23	0.55	2
2	4.50	6.28	0.50	2
3	4.50	6.30	0.23	2
4	4.50	6.42	0.43	2
5	4.62	6.20	0.80	2
6	4.40	6.32	0.68	2
7	4.50	6.40	0.55	2
8	4.53	6.23	0.85	2
9	4.50	6.30	0.25	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า acidity กับ alcohol จากการศึกษาคงตัวของระบบ Quick acetification process โดยใช้ปริมาณโยบวบที่ตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่ระดับปริมาตร 3 ลิตร อัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่ออนาทีและอัตราการให้อากาศที่ระดับ 9 ลิตรต่ออนาที

Experiment	Time (d)	Total acidity		Acid production* (gl ⁻¹)	Acetification rate* (gl ⁻¹ d ⁻¹)	Ethanol		Ethanol oxidized* (gl ⁻¹)	Biotransformation Yield (%)
		Initial (gl ⁻¹)	Final (gl ⁻¹)			Initial(gl ⁻¹)	Final(gl ⁻¹)		
Start up	3	45.0±0.0	62.0±0.0	17.0±0.0	5.67±0.1	34.0±0.0	0.0±0.0	34.0±0.0	50.0±0.0
cycle 1	2	45.5±0.0	62.3±0.3	16.8±0.1	8.42±0.1	34.0±0.0	0.0±0.0	34.0±0.0	49.5±0.1
cycle 2	2	45.0±0.0	62.8±0.3	17.8±0.1	8.92±0.2	35.3±0.4	0.0±0.0	35.3±0.2	50.6±0.0
cycle 3	2	45.0±0.0	63.0±0.0	18.0±0.0	9.00±0.1	34.0±0.0	5.3±0.4	28.8±0.2	62.6±0.2
cycle 4	2	45.0±0.0	64.2±0.3	19.2±0.1	9.58±0.0	34.0±0.0	0.0±0.0	34.0±0.0	56.4±0.1
cycle 5	2	46.2±0.3	62.0±0.0	15.8±0.1	7.92±0.1	34.3±0.4	0.0±0.0	34.3±0.2	46.2±0.0
cycle 6	2	44.0±0.0	63.2±0.3	19.2±0.1	9.58±0.1	35.0±0.0	0.3±0.4	34.8±0.2	55.2±0.0
cycle 7	2	45.0±0.0	64.0±0.0	19.0±0.0	9.50±0.0	35.0±0.0	0.0±0.0	35.0±0.0	54.3±0.0
cycle 8	2	45.3±0.1	62.3±0.3	17.0±0.2	8.50±0.0	35.3±0.4	0.0±0.0	35.3±0.2	48.2±0.1
cycle 9	2	45.0±0.0	63.0±0.0	18.0±0.0	9.00±0.0	35.0±0.0	0.0±0.0	35.0±0.0	51.4±0.0
Average					8.94±0.1				52.7±0.0

ภาพที่ 4.11 ตารางแสดงข้อมูลทั้ง 9 cycle สุดท้าย ที่สภาวะ ระดับปริมาตร 3 ลิตร อัตราการหมวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่ออนาทีและอัตราการให้อากาศ ที่ระดับ 9 ลิตรต่ออนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบัว โดยมีการศึกษาปริมาณใยบัว อัตราการหมุนวนและอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชูในถังหมักโดยปริมาตรใยบัวมีการศึกษา 4 ระดับ คือ ไม่มีใยบัว(0 ลิตร) 2 2.5 และ 3 ลิตร ตามลำดับ โดยที่ไม่มีใยบัวหรือ 0 ลิตร มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.24\%day^{-1}$ ต่อมาได้ลองใช้ปริมาตร 2 2.5 และ 3 ลิตร มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ 0.39 0.50 และ $0.59\%day^{-1}$ ตามลำดับและมีเซลล์แห้ง ส่วนน้ำหมักและส่วนใยบัวเพิ่มขึ้นตามลำดับเช่นกัน ซึ่งเป็นอย่างนี้เนื่องจาก ใยบัวซึ่งมีความสามารถในการตรึง เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีเส้นใยเชื่อมต่อกันมีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวในการตรึงเซลล์แบคทีเรียที่สร้างกรด ซึ่งในการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรใยบัว จะทำให้มีอัตราการผลิตกรดเพิ่มสูงขึ้น ต่อมาได้มีการศึกษาอัตราการหมุนวนที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการหมักน้ำส้มสายชู มีการศึกษา 3 ระดับ คือ 0.03 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที โดยที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.76\%day^{-1}$ ต่อมาได้ลองใช้อัตราหมุนวนที่ระดับ 0.06 และ 0.09 ลิตรต่อนาที พบว่า มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ 0.64 และ $0.44\%day^{-1}$ ตามลำดับและพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนวน ปริมาณเซลล์แห้งทั้งในน้ำหมักและในใยบัวจะลดลงตามการเพิ่มของอัตราการหมุนวน ซึ่งเป็นอย่างนี้เนื่องจากที่อัตราการหมุนวนน้ำหมักที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพราะช่วยลดการสูญเสีย ปริมาณออกซิเจนได้ดี ระยะเวลาที่ออกซิเจนจากการหมุนวนช้า เชื้อแบคทีเรียจะทำการออกซิโดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติกได้ในปริมาณที่มากขึ้น ต่อมาได้ทำการศึกษาอัตราการให้อากาศ ซึ่งมีการศึกษา 3 ระดับ คือ 3 6 และ 9 ลิตรต่อนาที โดยที่อัตราการให้อากาศที่ 3 ลิตรต่อนาที นาที่ โดยที่ระดับ 0.03 ลิตรต่อนาที มีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ $0.71\%day^{-1}$ และต่อมาได้ทดลองที่อัตราการให้อากาศที่ 6 และ 9 ลิตรต่อนาที พบว่ามีอัตราการผลิตกรดเฉลี่ยต่อวัน ($ETA\%day^{-1}$) เท่ากับ 0.79 และ $0.85\%day^{-1}$ ตามลำดับและพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศปริมาณเซลล์แห้งทั้งส่วนน้ำหมักและส่วนใยบัวจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้อากาศ เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เนื่องจาก *Acetobacter aceti* WK เป็นแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการออกซิโดซ์เอทานอลให้เป็นกรดอะซิติก จากการทดลองจึงได้สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบัว คือ ที่ ปริมาตรใยบัว 3 ลิตร อัตราการหมุนวน 0.03 ลิตรต่อนาทีและที่อัตราการให้อากาศ 9 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรดูแลและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจากการทดลอง อาทิ เครื่องปั๊มอากาศ เครื่องหมุนวน เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกนี้ ในการทดลองมีการใช้ตลอดเพราะถ้าปล่อยปะละเลย นอกจากผลการทดลอง จะไม่ได้แล้วยังมีการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- คว้น ขาวหนู. 2558. น้ำส้มสายชู. บทความสุขภาพและเคล็ดลับเพื่อสุขภาพที่ดี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.healthcarethai.com/น้ำส้มสายชู-vinegar/>. 12 พฤษภาคม 2559.
- บุญญา จารุรัตน์. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การถ่ายเทความร้อนและมวลแบบลัมป์ของการหมักแห้ง ถั่วเหลืองในถังหมักชนิดแพคเบต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ เกียรติคุณ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. น้ำส้มสายชู. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1183/vinegar-น้ำส้มสายชู>. 12 พฤษภาคม 2559
- เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และ มณีรัตน์ ตีรนนท์กุล. 2541. การทดลองศึกษาการหมักถั่วเหลืองในถังแพคเบต, น. 209-217. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมี และ เคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และ ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล และ สิทธิเดช ชาญบัญชา. 2544. การบ่มโคจิในถังบ่มแบบแพคเบตสำหรับอุตสาหกรรมซีอิ๊วและเต้าเจี้ยว, รายงานวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์.
- วราวุฒิ ครูสง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2532. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 3 พฤศจิกายน 2558.
- วิไลฐู จะวะสิต และ สติมา จิตตินันท์. 2537. น้ำส้มสายชู. นิตยสารหมอชาวบ้าน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.doctor.or.th/article/detail/3350>. 12 พฤษภาคม 2559.
- วสันต์ สิริยาภิวัฒน์. 2545. การสร้างแบบจำลองและการจำลองการถ่ายโอนความร้อนและมวลภายในถังหมักแบบแพคเบตสำหรับการหมักแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุภาภรณ์ พิศพันธ์. 2545. การสร้างแบบจำลองการผลิตเอนไซม์และการจำลองระบบการหมักถั่วเหลืองในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแพคเบต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Chantawongvuti, R. 2010. Immobilization of *Lactobacillus salivarius* ATCC 11741 on agricultural residues for lactic acid fermentation. *Journal of microbiology and biotechnology*. 20: 110-116.
- Chen, Q., Shi, Q., Gorb, and S. N. Li, Z. 2014. A multiscale study on the structural and mechanical properties of the Luffa sponge from Luffa cylindrical plant. *Journal of Biomechanics*. 47: 1332-1339.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kocher, G.S. and Dhillon, H.K. 2013. Fermentative Production of Sugarcane vinegar by Immobilized Cell of *Acetobacter aceti* Under Packed Bed conditions. *Sugar Tech* **15**, 71-76.
- Krusong, W. and Tantratian, S. 2014. Acetification of rice wine by *Acetobacter aceti* using loofa sponge in a low-cost reciprocating shaker. *Journal of Applied Microbiology* **117**, 1348-1357.
- Sinnot, E.W., and Bloch, R., 1943. Development of the fibrous net in the fruit of various races of *Luffacylindrica*. *Bot. Gaz.* **105**, 90-100.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรด (AOAC,1995)

ก.1.1 วิธีเตรียมรีเอเจนต์

ก.1.1.1 น้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เตรียมโดยนำต้มกลั่น 20 นาที ปิดฝาเพื่อป้องกันไม่ให้ CO₂ ละลายลงในน้ำกลั่น แล้วทิ้งให้เย็น

ก.1.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นต้ม

ก.1.2 วิธีเตรียมฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein)

ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) 1% เตรียมโดยชั่งฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) 1 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 95% แอลกอฮอล์

ก.1.3 วิธีทำ Standardization

ก.1.3.1 ออบโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลท ใช้แห้งแก้วค้อยๆกุดให้ผลึกของ KHC₈H₄O₄ ละเอียดเป็นผงใส่ลงในขวดซึ่ง วางขวดซึ่งลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

ก.1.3.2 ชั่ง KHC₈H₄O₄ ที่แห้งแล้วให้น้ำหนักโดยละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่งให้น้ำหนักอยู่ระหว่าง 0.51-0.52 กรัม ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นปราศจาก CO₂ 50 มิลลิลิตร คนจนสารละลายหมด

ก.1.3.3 หยด 1% ฟีนอล์ฟทาเลอิน 3 หยด ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจาก CO₂ 50 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปกรวยโดยไม่ต้องเติม KHC₈H₄O₄ หยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 3 หยด

ก.1.3.4 ไทเทรต blank กับสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้ประมาณ 2-3 หยด เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู ให้อ่าง blank ไว้ข้างบิวเรต

ก.1.3.5 ไทเทรตกับ 1 N NaOH จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูใสต่างๆ

ก.1.3.6 บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (ปริมาตรของ NaOH ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.1 มิลลิลิตร)

ก.1.3.7 คำนวณ Normality ตามสูตร

$$\text{Normality} = \frac{\text{กรัมของ KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \times 1000}{204.22 \times \text{ml ของ NaOH}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ก.1.4.1 ตวงน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 200 มิลลิลิตร เติม 1% ฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด

ก.1.4.2 ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 1 N NaOH จนได้สีชมพูจางๆ หรือฟิเอชเท่ากับ 8.2 ปริมาตรที่ไทเทรตเป็นค่า blank และใช้เป็นสารละลายเทียบสีมาตรฐาน

ก.1.4.3 ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 200 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 500 มิลลิลิตร เติม 1% ฟีนอล์ฟทาลีน 1 มิลลิลิตร

ก.1.4.4 ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 1 N NaOH เทียบสีจุดยุติให้ได้สีเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

ก.1.4.5 ทำการไทเทรตตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำ

ก.1.4.6 คำนวณความเป็นกรดตามสูตร

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{(V)(N)(Eq.Wt)(100)}{(1000)(v)}$$

V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH

N = นอร์มัลลิตีที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน NaOH

v = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้

Eq.Wt = น้ำหนักสมมูลของกรดทาร์ทาริก (tartaric) = 75, มาลิก (malic) = 67, ซิตริก (citric) = 64, แลคติก (lactic) = 90, ซัลฟูริก (sulfuric) = 49, อะซิติก (acetic) = 60

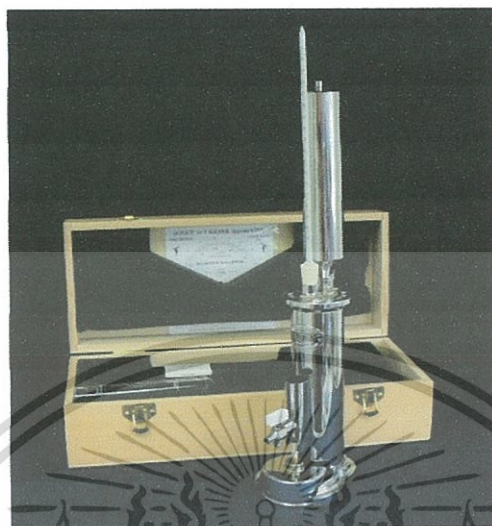
ก.1.4.7 บันทึกค่าที่คำนวณได้

ก.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแอลกอฮอล์โดยวิธี Ebulliometric analysis (Zoecklein และคณะ, 1989)

ก.2.1 หลักการ

ในการหาปริมาณแอลกอฮอล์โดยวิธีนี้อาศัยหลักการวัดจุดเดือด (boiling point) ของสารตัวอย่างที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ โดยถ้าปริมาณของแอลกอฮอล์ในสารตัวอย่างเพิ่มขึ้นจะทำให้จุดเดือดของสารตัวอย่างลดลงจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์มากขึ้น เครื่องมือสำหรับวัดปริมาณแอลกอฮอล์ โดยอาศัยหลักการนี้ เรียกว่า อีบลูลิโอมิเตอร์ ซึ่งมีลักษณะตามภาพที่ ก-1 เครื่องมือนี้นิยมนำไปใช้ในโรงงาน

อุตสาหกรรมผลิตไวน์ ไวน์ผลไม้ สุรากลั่นและอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อื่นๆ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้งานให้ความสะดวก และรวดเร็วในการวิเคราะห์



ภาพที่ ก-1 อีบลูลิโอมิเตอร์

ที่มา: <http://shop-usa.enartis.com/dujardin-salleron-model-360-alcohol-ebulliometer>

ก.2.2 วัสดุอุปกรณ์

2.2.1 ชุดเครื่องอีบลูลิโอมิเตอร์

2.2.2 กระจกบอทดวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

ก.2.3 สารเคมี

2.3.1 น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (double distilled water)

2.3.2 น้ำเย็นหรือน้ำแข็ง


2.3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร)

ก.2.4 วิธีการ

ก.2.4.1 หาจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์

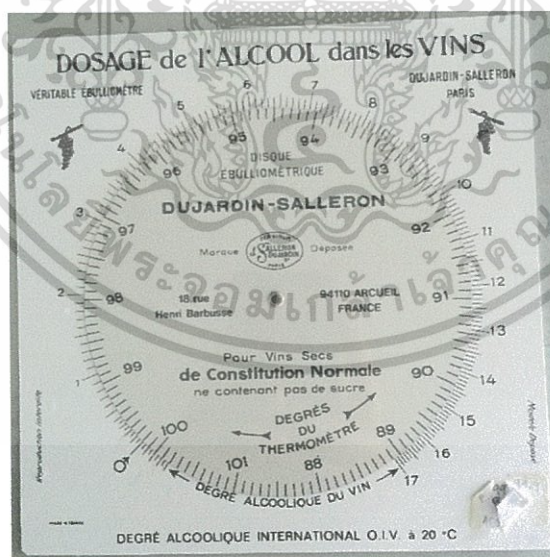
- 1) ตวงน้ำบริสุทธิ์ 30 มิลลิลิตร หรือใช้หลอดที่มากับเครื่องมือ โดยตวงให้ถึง “EAU” ใส่ลงใน Boiling chamber
- 2) ใส่เทอร์โมมิเตอร์ให้ปลายอยู่เหนือน้ำใน Boiling chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ต้มจนกระทั่งเดือดด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol burner) เมื่อถึงจุดเดือดอุณหภูมิจะคงที่ อ่านอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์จากเทอร์โมมิเตอร์
- 4) นำ จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ที่อ่านได้ไปตั้งในแผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (Dosage de 1' Alcohol dans les Vins) โดยตั้งจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ที่อ่านได้ (ตุลกลด้านใน) ให้ตรงกับ 0.0% แอลกอฮอล์(ตุลกลด้านนอก)หรือตำแหน่งที่มีเครื่องหมาย  ดังภาพที่ ก-2

ก.2.4.2 หาจุดเดือดของสารตัวอย่าง

- 1) ตวงสารตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร หรือใช้หลอดที่มากับเครื่องมือ โดยตวงให้ถึงขีด "VIN" ใสลงใน Boiling chamber
- 2) เติมน้ำเย็นหรือน้ำแข็งลงไปในส่วนควบแน่น
- 3) ใส่เทอร์โมมิเตอร์ให้ปลายอยู่เหนือสารตัวอย่างใน Boiling chamber
- 4) ต้มจนกระทั่งเดือดด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ เมื่อถึงจุดเดือดอุณหภูมิจะคงที่ประมาณ 15 – 30 วินาที อ่านจุดเดือดของสารตัวอย่าง
- 5) อ่านเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์ของสารตัวอย่าง (ตุลกลนอก) ที่อยู่ตรงกับจุดเดือดของสารตัวอย่าง (ตุลกลใน) จากแผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ ก-2 แผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.5 ข้อควรปฏิบัติ

ก.2.5.1 ควรล้างทำความสะอาด Boiling chamber ทุกครั้งที่เปลี่ยนวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ก.2.5.2 ในส่วนของ Boiling chamber ถ้ามีคราบของสารตัวอย่างติดอยู่ที่ล้างทำความสะอาดด้วยสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์

ก.2.5.3 ถ้าสารตัวอย่างมีน้ำตาลมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่หาได้ โดยมีผลทำให้จุดเดือดลดลง ซึ่งจะทำให้วัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้มากกว่าที่เป็นจริง วิธีการแก้ไขทำได้โดย

- 1.กลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมาก่อน จากนั้นนำส่วนที่กลั่นได้ (distillate) ไปหาจุดเดือด
- 2.เจือจางสารตัวอย่างให้มีปริมาณของน้ำตาลน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำไปหาจุดเดือด
- 3.หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) แล้วนำมาคูณด้วย 0.05 (ค่าคงที่) จากนั้นนำไปหักลบออกจากเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่หาได้

ก.2.5.4 ในกรณีที่สารตัวอย่างต้มแล้วเกิดฟองให้ป้องกันโดยการเติม Tween 80 หรือสารป้องกันการเกิดฟองชนิดอื่นลงไป 1 – 2 หยด ก่อนเริ่มต้นการหาจุดเดือด

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนาม Microprocessor Dissolved oxygen meter

ก.3.1 Zero Calibration ตามขั้นตอนนี้

ก.3.1.1 ตรวจสอบหัววัดว่าติดตั้งเมมเบรนถูกต้องและต่อเข้ากับตัวเครื่องเรียบร้อยแล้ว

ก.3.1.2 กดปุ่มเปิดเครื่อง

ก.3.1.3 เพื่อความถูกต้องควรเปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้เครื่องและหัววัดปรับเข้าหากัน สังเกตตัวเลขที่หน้าจอหนึ่ง

ก.3.1.4 เนื่องด้วยหัววัดปิดจุกพลาสติกอยู่ ให้ถอดจุกพลาสติกออก

ก.3.1.5 จมหัววัด DO ลงในสารละลาย Zero oxygen (HI 9146) พร้อมทั้งกวน 2-3 นาที

ก.3.1.6 กดปุ่ม “CAL” หน้าจอจะแสดง “X” และ “NOT READY” กระพริบจนหน้าจอหนึ่ง

ก.3.1.7 เมื่อค่าหนึ่งหน้าจอจะแสดง CFM ให้กดปุ่ม CFM

ก.3.1.8 เมื่อปุ่ม CAL เพื่อออกโหมดสอบเทียบ กลับไปสู่โหมดการวัดค่า

ก.3.2 Slope Calibration ตามขั้นตอนนี้

ควรล้างหัววัดด้วยน้ำสะอาดก่อนทำการสอบเทียบ

ก.3.2.1 กด CAL แล้วใช้ปุ่มลูกศร เลือกไปที่ 100% DO Calibration

ก.3.2.2 เช็ดหัวให้แห้งรอจนค่าบนหน้าจอหนึ่ง จะเห็นข้อความ CFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3.2.3 กดปุ่ม CFM ยืนยัน

ก.3.2.4 กดปุ่ม CAL เพื่อออกโหมดสอบเทียบกลับสู่โหมดการวัดค่า

ก.3.2.5 ถ้าผลการสอบเทียบค่าไม่อยู่ในช่วงให้เปลี่ยนเมมเบรน และ อิเล็กโตรดล์

ก.3.2.6 ถ้าไม่สามารถสอบเทียบได้ ให้ทำความสะอาด ที่ขั้วแอโนดด้วยกระดาษทรายขัด AgCl ที่เกาะที่ขั้วออก



ภาพที่ ก-3 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนาม รุ่น HI 9146 Portable Dissolved oxygen meter
ที่มา: <http://hannainst.com/hi9146-portable-dissolved-oxygen-meter.html>

ก.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์ของแบคทีเรียโดยการวัดค่า DO ที่ 660 nm โดยใช้เครื่อง Genesys 20

ก.4.1 รายละเอียดเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (SPN-1 4001-03 Model Genesys 20)

ก.4.1.1 เป็นเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร โดยใช้แสงในช่วงมองเห็น

ก.4.1.2 เลือกความยาวคลื่นแสงในการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 325-1100 นาโนเมตร

ก.4.1.3 มีความถูกต้องของค่าความยาวคลื่น(Wavelength Accuracy) ผิดพลาดไม่เกิน ± 2 นาโนเมตร

ก.4.1.4 มีค่าความกว้างของลำแสง (Spectral Bandwidth) ไม่เกิน 8 นาโนเมตร

ก.4.1.5 ระบบอปติกเป็นแบบลำแสงเดี่ยว (Single beam) และมีระบบโมโนโครเมเตอร์เป็นแบบ Czerny-Turner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.1.6 แสดงผลด้วยตัวเลขไฟฟ้าแบบ LCD ขนาด 2 บรรทัดความยาว 20 ตัวอักษร

ก.4.1.7 มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทังสแตน-ฮาโลเจนและมีอายุการใช้งาน

ประมาณ 1000 ชั่วโมง

ก.4.1.8 ระบบการตรวจจับลำแสงเป็นแบบ Silicon Photodiode

ก.4.1.9 แสดงค่าผลการตรวจวัดเป็นตัวเลขไฟฟ้าได้ดังนี้

1. ค่าปริมาณร้อยละที่แสงผ่าน (% T) 0.0 ถึง 125
2. ค่าหน่วยการดูดกลืนแสง (Abs) -0.1 ถึง 2.5
3. ค่าปริมาณความเข้มข้นของสาร (C) 0 ถึง 1999

ก.4.1.10 มีพลังงานแสงรบกวน (Stray Light) คิดเป็นปริมาณร้อยละของแสงที่ผ่านที่ความยาวคลื่น 340 และ 400 นาโนเมตร มีค่าน้อยกว่า 0.1%T

ก.4.1.11 มีสัญญาณรบกวน (Noise) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001

A ที่ 0A และ 0.004A ที่ 2A

ก.4.1.12 มีค่าความเบี่ยงเบน (Drift) ไม่เกิน 0.003 หน่วยการดูดกลืนแสงต่อชั่วโมง หลังการอุ่นเครื่อง

1. ความถูกต้องของค่าการดูดกลืนแสง (Photometric Accuracy) ผิดพลาดไม่เกิน ± 0.003 A ในช่วง 0 ถึง 0.3 A

ก.4.1.13 ชุดจับหลอดใส่สารตัวอย่างสามารถใช้กับหลอดใส่สารแบบกลม ขนาดความยาวแสงผ่าน 10 มม. และหลอดใส่สารแบบสี่เหลี่ยม ขนาด 10 มม. ได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนชุดจับหลอด

ก.4.1.14 มี Interfaces แบบ RS-232C และ Centronics ports

ก.4.1.15 หลอดแก้วใส่สารแบบกลมขนาดความยาวแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร จำนวน 12 หลอด

ก.4.1.16 หลอดพลาสติกใส่สารแบบเหลี่ยมขนาดความยาวแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร จำนวน 5 หลอด

ก.4.1.17 ถังคลุมเครื่องเพื่อป้องกันฝุ่น จำนวน 1 ใบ

ก.4.1.18 ใช้ได้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์

ก.4.2 หลักการของการดูดกลืนแสง

เมื่อให้แสงผ่านสารละลายของสารที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตั้งไว้ แสงบางส่วนจะถูกสารดูดไว้ ทำให้แสงที่ผ่านออกจากสารละลายมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องวัดปริมาณแสงภายในเครื่องและแสดงออกมาทางหน้าปัด ที่มีสเกลบอกทั้งเปอร์เซ็นต์ที่แสงผ่าน (% Transmission) และการ

ดูดกลืนแสง (absorbance; A) ปริมาณแสงที่ถูกดูดไว้ขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของสารที่ดูดกลืนแสงได้ตั้งตามทีแสงผ่านซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's law) คือ

$$\text{ค่าการดูดกลืนแสง} = -\log \frac{I}{I_0} = Kcl$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มข้นของแสงก่อนผ่านสารละลาย

I = ความเข้มข้นของแสงหลังผ่านสารละลาย

K = ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงซึ่งมีค่าเฉพาะสำหรับสารหนึ่งๆ และช่วงคลื่นหนึ่งๆ

c = ความเข้มข้นของสารละลาย

l = ระยะทางที่แสงผ่านสารละลาย

ค่า K อาจกำหนดเป็น $E_{1\% 1\text{ cm}}$ คือ เป็นการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารที่มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และความยาวของระยะทางที่แสงผ่าน 1 cm หรือกำหนดเป็น E_M หรือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง M คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 gmol l^{-1} และความยาวของระยะทางที่แสงผ่าน 1 cm

นอกจากนี้การดูดกลืนแสงของสารอาจแสดงได้เป็นเปอร์เซ็นต์ที่แสงผ่าน ตามสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์แสงผ่าน} = \frac{I}{I_0} \times 100$$

จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงกับค่าเปอร์เซ็นต์แสงผ่าน ตรงกันข้ามกัน คือ ค่าการดูดกลืนแสง 0 หน่วย เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และค่าการดูดกลืนแสง \propto เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ แสงผ่านสเกลค่าดูดกลืนแสงเป็น log ส่วนเปอร์เซ็นต์แสงผ่านเป็น linear โดยทั่วไปแล้ว มักวัดค่าดูดกลืนแสงซึ่งเป็นปริมาณตรง กับความเข้มข้นของสารละลาย

ก.4.3 วิธีการใช้เครื่องมือ

ก.4.3.1 การวัดค่าดูดกลืนและการส่องผ่าน

1) กดปุ่ม A/T/C เลือกโหมดในการวัดการดูดกลืนแสง การส่องผ่าน ซึ่งจะมีตัวอักษรปรากฏหน้าจอเครื่อง

2) กดปุ่ม nm ▲ หรือ ▼ nm เลือกค่าความยาวคลื่น (หากกดปุ่มค้างไว้ความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว)

3) ใส่ Blank (ตัวทำละลายอ้างอิง) ลงในช่องใส่สารตัวอย่างและปิดฝา (ตำแหน่งของ Cell ที่ส่องผ่านจะมีทิศทางตามลูกศร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) กดปุ่ม 0 ABS/100% T เพื่อตั้งค่า blank 0 A หรือ 100% T
- 5) นำ Blank ออกและใส่ตัวอย่างไปวัด และอ่านค่าที่หน้าจอแสดงผล

4.3.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

- 1) ทำการเปิดเครื่อง เลือกความยาวคลื่นที่ 660 nm ใส่ Blank (น้ำหมัก 0 ชั่วโมง) กดปุ่ม 0 ABS/100% T เพื่อตั้งค่า blank 0 A หรือ 100%T
- 2) นำ Blank ออกและใส่ตัวอย่างไปวัด อ่านค่าแล้วบันทึกผล



ภาพที่ ก-4 ลักษณะของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง
บริษัท Thermo Fisher Scientific รุ่น Genesis 20 ประเทศสหรัฐอเมริกา

ก.5 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณ Cell dry weight โดยการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge

ก.5.1 หลักการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยง

การเหวี่ยงทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้น ทำให้วัตถุหรือสารละลายตกตะกอนลงสู่ก้นหลอดเหวี่ยงได้ อัตราเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นของโมเลกุลของสาร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแรงหนีศูนย์กลางที่ใช้เหวี่ยงอีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องหมุนเหวี่ยงแต่ละชนิดมักแสดงสเกลของแรงเหวี่ยงที่หน้าปัดเป็นอัตราเร็วของหัวหมุนเหวี่ยง มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolution per minute, RPM) แต่ในขั้นตอนการทดลองที่ปรากฏในเอกสารวิชาการทั่วไป อาจกำหนดเป็นค่าของแรงหนีศูนย์กลาง มีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของแรงดึงดูดของโลก (g) หรือแรงหนีศูนย์กลาง เปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของแรงดึงดูดโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Relative centrifugal force, RCF) เช่น RCF เท่า 1000×g หมายความว่า ปั่นตกตะกอนสารด้วยแรง 1000 เท่า ของแรงดึงดูดโลก ซึ่งมีค่าต่างๆจะสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$\text{แรงหนีศูนย์กลาง(คิดเป็นเท่าของแรงดึงดูดโลก)} = 4 \pi^2(\text{RPM})^2 \cdot r$$

- เมื่อ RPM = อัตราเร็วการหมุนเหวี่ยงคิดเป็นรอบต่อนาที
 R = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแกนหมุนถึงอนุภาคสาร มีหน่วยเป็น cm
 RCT = G/g
 G = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 980 cm/sec²

ก.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ก.5.2.1 นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดเหวี่ยง 6 หลอด หลอดละ 50 ml ปิดฝาให้สนิท นำหลอดเหวี่ยงทั้ง 6 หลอด ใส่ลงในกระบอกลอยสำหรับบรรจุหลอดเหวี่ยงอีกทีหนึ่ง จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง Centrifuge ตั้งค่าความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ก.5.2.2 ทำการเปิดเครื่อง Centrifuge ตั้งค่าความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ก.5.2.3 เมื่อครบ 20 นาที จะได้ของเหลวใสแยกส่วนกับตะกอนเซลล์อยู่ โดยส่วนที่เป็นตะกอนเซลล์ตกอยู่ที่ก้นหลอดและส่วนใสจะอยู่ด้านบน

ก.5.2.4 เทส่วนใสออก ทำการล้างเซลล์ด้วยน้ำสเตอร์ แล้วเติมน้ำสเตอร์ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 50 ml

ก.5.2.5 นำไป Centrifuge อีกครั้งที่ความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที

ก.5.2.6 นำตะกอนที่ได้เทลงบน cans ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน จากนั้นนำไปอบจนได้น้ำหนักที่คงที่

ก.5.2.7 นำไปหาน้ำหนักของเซลล์แห้งโดยคำนวณจาก น้ำหนัก cans หลังจากอบ - น้ำหนัก cans ก่อนอบ

ก.5.3 ข้อควรปฏิบัติสำหรับการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

ก.5.3.1 ไม่ควรบรรจุสารละลายในหลอดทดลองหมุนเหวี่ยงเกิน $\frac{3}{4}$ ของหลอด

ก.5.3.2 การบรรจุหลอดหมุนเหวี่ยงลงในหัวเหวี่ยงให้หลอดคู่ที่มีน้ำหนักเท่ากันอยู่ตรงข้ามกันเสมอ

ก.5.3.3 ปิดเกลียวฝาปิดให้แน่น ถ้าเกลียวไม่แน่นขนาดที่เครื่องหมุนเร็วขึ้นอาจทำให้หัวเหวี่ยงหลุดลอยขึ้นได้

ก.5.3.4 ห้ามเปิดฝาในขณะที่หัวหมุนเหวี่ยงยังหมุนอยู่

ก.5.3.5 ในระหว่างที่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ถ้าได้ยินเสียงผิดปกติภายในเครื่องให้ปิดสวิทซ์ทันที รอให้หัวเหวี่ยงหยุดหมุนแล้วปิดฝาดู หาสาเหตุของความผิดปกติเมื่อแก้ไขจึงใช้ต่อไป

ก.5.3.6 เมื่อใช้เครื่อง Centrifuge เสร็จแล้ว ให้หมุนปรับความเร็วที่ศูนย์เสมอทำความสะอาด Chamber ทุกครั้งหลังการใช้งาน



ภาพที่ ก-5 ลักษณะของเครื่อง Centrifuge บริษัทแอฟเพนดอร์ฟ(ประเทศไทย) จำกัด รุ่น 3804Rประเทศ Germany

ก.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชหรือคน สำหรับ SEM

ก.6.1 ตัดชิ้นเนื้อบริเวณที่ต้องการดูให้มีขนาดไม่เกิน 5 ตารางมิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 3 ตารางมิลลิเมตร (สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วก็ให้ใช้ทั้งตัว)

ก.6.2 แช่ตัวอย่างในน้ำยา 2.5 % glutaraldehyde ใน 0.1 M phosphate buffer pH 7.2 นาน 2 ชั่วโมง หรือข้ามคืนในตู้แช่ 4 องศาเซลเซียส

ก.6.3 ล้างน้ำยาออกด้วย phosphate buffer 2 ครั้ง แล้วตามด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง ครั้งละ 10-15 นาที

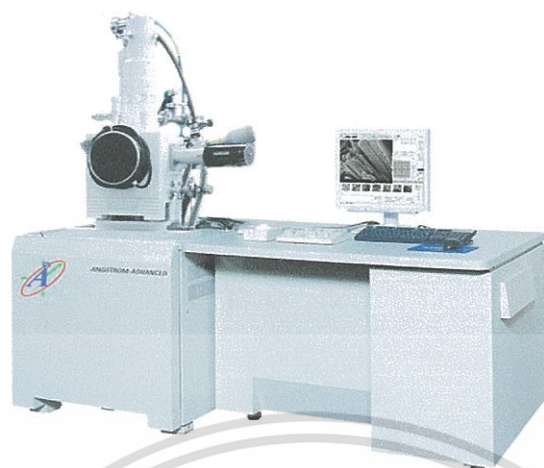
ก.6.4 Dehydrate ด้วย ethanol ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 30%, 50%, 70% และ 95% ความเข้มข้นละ 10-15 นาที แล้วตามด้วย 100 % เปลี่ยน 3 ครั้งละ 10 นาที

ก.6.5 นำไปทำแห้ง ณ จุดวิกฤตด้วยเครื่อง Critical point dryer(Quorum K850,UK)

ก.6.6 ติดตัวอย่างบนแท่งวาง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้าแล้วนำไปฉาบทอง (sputtercoater, Balzer model SCD 040, liechtenstein)

ก.6.7 ส่งด้วยกล้อง SEM (EVO MA 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก-6 ลักษณะของเครื่อง Versatile multipurpose SEM
บริษัท Carl Zeiss รุ่น EVO MA 10 ประเทศ อังกฤษ
ที่มา: <https://www.pinterest.com/pin/502573639639057801/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปภาพประกอบปัญหาพิเศษ



ภาพที่ ข-1 ไยบวบที่ใช้ในการตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ตัดให้มีขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) เท่ากับ 1.5 ซม x 1.5 ซม x 1.5 ซม

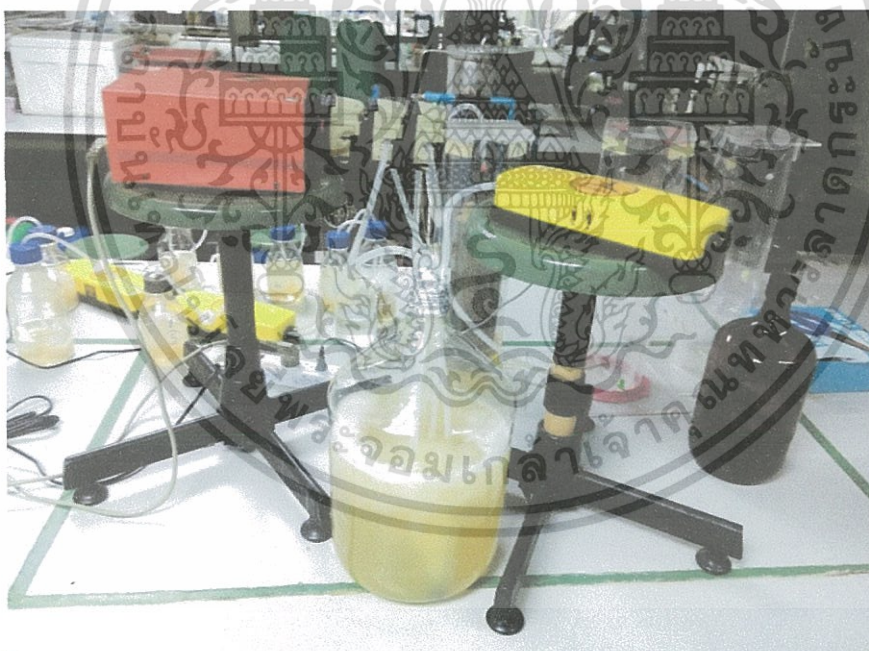


ภาพที่ ข-2 ไยบวบที่ตรึงเซลล์ *Acetobacter aceti* WK ในการผลิตน้ำส้มสายชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

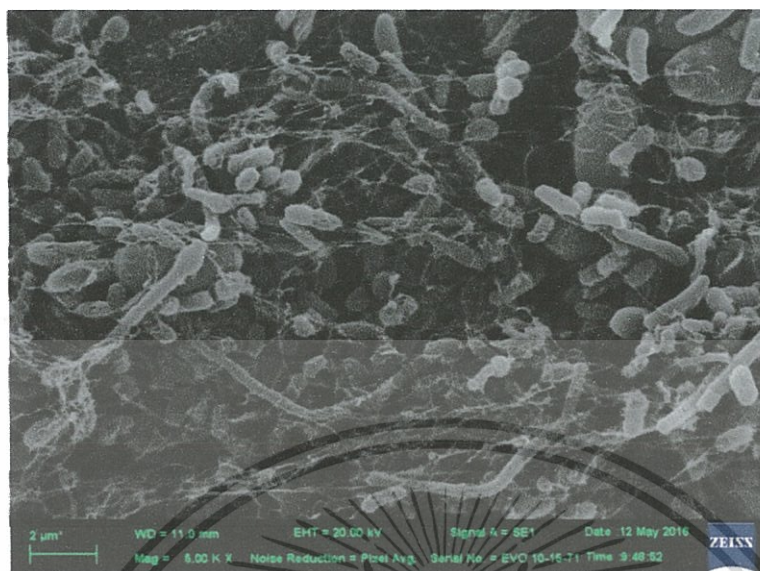


ภาพที่ ข-3 ท่อทรงกระบอกที่ทำจากตะแกรงสแตนเลสขนาด 2.2.5 และ 3 ลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ ข-4 การผลิตน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการตรึงหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* WK ด้วยใยบวบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข-5 เซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่ตรึงที่ผิวหน้าของโยบวบ ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักกำลังขยาย X5000 เท่า



ภาพที่ ข-6 เซลล์ *Acetobacter aceti* WK ที่ตรึงที่ที่ด้านในของโยบวบ ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก กำลังขยาย X5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	จุฑาทิพ พวงมาลา
วัน เดือน ปี เกิด	19 พฤศจิกายน 2536
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนปราจิณราษฎรบำรุง ปัจจุบันศึกษาอยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	บริษัท ผลไม้กระป๋องสยาม (1988) จำกัด การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการ ตรึงหัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยใยบัว (Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa <i>Acetobacter aceti</i> WK)
ชื่อ-นามสกุล	จุฑามาศ ผ่องอำไพวงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	6 กันยายน 2536
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ปัจจุบันศึกษาอยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	บริษัท กรีนสปอต จำกัด การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการ ตรึงหัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยใยบัว (Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa <i>Acetobacter aceti</i> WK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล	สิริรักษ์ อมรชินวิวัฒน์
วัน เดือน ปี เกิด	9 ธันวาคม 2536
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ปัจจุบันศึกษาอยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	บริษัท ผลไม้กระป๋องสยาม (1988) จำกัด การหมักน้ำส้มสายชูในถังหมัก Packed-bed bioreactor โดยอาศัยการ ตรึงหัวเชื้อ <i>Acetobacter aceti</i> WK ด้วยใยบัว (Vinegar production in packed-bed bioreactor by immobilized-luffa <i>Acetobacter aceti</i> WK)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้