การผลิตอาซีโตน - บิวทานอล จากผับตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์

นางสาวปราณี สถิรพิพัฒน์กุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-550-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015304
I17498193

PRODUCTION OF ACETONE - BUTANOL FROM ENZYME HYOROLYSATE OF WATER HYACINTH

Miss. Pranee Satiratipathkul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Program of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
1989

ISBN 974-576-550-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตอาซีโตน - บิวทานอล จากผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์
โดย	นางสาวปราณี สถิรพิพัฒน์กุล
ภาควิชา	หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วีระวุฒิ มหามนตรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเนิกศึก)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปราณี สถิรพิพัฒน์กุล : การผลิตอาซีโตน - บิวทานอล จากผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (PRODUCTION OF ACETONE - BUTANOL FROM ENZYME HYDROLYSATE OF WATER HYACINTH) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาไพธิ์ และ ผศ.ดร.สุเทพ ธนียวัน, 144 หน้า.

การปรับสภาพผักตบชวาก่อนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์โดยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น การใช้กรดด่าง หรือการใช้ไอน้ำที่ความดันสูง พบว่าการปรับสภาพผักตบชวาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะช่วยให้การย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อ Trichoderma reesei ได้สูงที่สุด โดยสามารถเปลี่ยนผักตบชวาเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 52.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการย่อยสลายเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในขณะที่ผักตบชวาที่ไม่ได้ถูกปรับสภาพจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพียง 14.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การย่อยสลายผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพด้วยด่างนี้ จะให้ผลดีขึ้นเมื่อเติมเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดสจากเชื้อ Aspergillus niger พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเซลลูโลสจากผักตบชวาจะสูงขึ้นเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นผักตบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์ (ค่าความเป็นกรดด่าง 4.8) โดยใช้อัตราส่วนหน่วยเอนไซม์ (FPU) เซลลูเลส ต่อหน่วยเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส ที่ 30 : 30 ต่อกรัมของผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพแล้ว สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาการย่อยสลายนาน 24 ชั่วโมง

เมื่อนำน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวามาเลี้ยงเชื้อคลอสตริเดียม 3 สายพันธุ์ อันได้แก่ Cl. acetobutylicum ATCC 824, Cl. butylicum NRRL B592 และ Clostridum สายพันธุ์ 8P-2 ที่คัดแยกจากดินในประเทศไทย ในระดับหลอดทดลองและขวดเขย่าพบว่า Cl. butylicum NRRL B592 สามารถเจริญเติบโตให้ปริมาณตัวทำละลายดีที่สุด เมื่อเทียบกับอีก 2 สายพันธุ์ เมื่อทำการศึกษาการผลิตอาซีโตน-บิวทานอลในถังหมัก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตตัวทำละลายเมื่อเลี้ยงเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592 ในอาหารที่มีน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวา 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างเป็นเวลา 36 ชั่วโมง จะได้ตัวทำละลายสูงสุดเป็น 16.38 กรัมต่อลิตร เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นผลิตภัณฑ์เป็น 34.38 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) อัตราการสร้างกรดจำเพาะ (ν_{ac}) และอัตราการสร้างตัวทำละลายจำเพาะ (ν_{sol}) มีค่าเป็น 0.24 ชม.$^{-1}$, 0.79 ก./ก.-ชม. และ 1.08 ก./ก.-ชม. องค์ประกอบของตัวทำละลายประกอบด้วยบิวทานอล 63.14 เปอร์เซ็นต์, อาซีโตน 35.02 เปอร์เซ็นต์ และเอธานอล 1.84 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ .....
สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ .....
ปีการศึกษา 2531 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

PRANEE SATIRAPIPATHKUL : PRODUCTION OF ACETONE - BUTANOL FROM ENZYME HYDROLYSATE OF WATER HYACINTH. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. DR.CHIRAKARN MAUNGNAPOH AND ASSIST.PROF.DR.SUTEP THANIYAVARN, 144 PP.

Various processes for the pretreatment of water hyacinth include acid, alkaline and autoclaving were tested. Among these, the use of 4% NaOH at 100°C for 3 min gave the highest yield upon further digested with cellulase from Trichoderma reesei by which a 52% conversion to reducing sugar was observed after 72 hours of digestion while the unpretreated sample gave only 14.1% conversion. Furthermore, enzymatic hydrolysis of alkali-treated water hyacinth could be increased by the addition of exogenous β-glucosidase from Aspergillus niger by which an eighty-four per cent conversion was achieved when the subtrate (at the concentration of 10% weight by volume) suspended in 0.05 M. citrate buffer (pH 4.8), the ratio of FPU of cellulase to B-glucosidase was 30 : 30 per gram alkali-treated water hyacinth. The optimum conditons for hydrolysis was at 50°C for 24 hours.

Enzyme hydrolysate from water hyacinth was used to cultivated three strains of Clostridium sp, Cl. acetobutylicum ATCC 824, Cl. butylicum NRRL B592 and Clostridium sp. 8p-2 of which the last was isolated from soil samples in Thailand. It was found that Cl. butylicum NRRL B592 yielded the highest solvents concentration, compared with the other two strains. The study on acetone-butanol production in the fermentor revealed that the optimal condition for Cl. butylicum NRRL B592 to grow in water hyacinth hydrolysate were 60 g/l glucose concentration at 35°C, without pH control for 72 hours. Under these conditions, the maximal solvents production of 16.38 g/l were obtained and the percentage of conversion was 34.38. The maximal specific growth rate, specific rate of acid formation and specific rate of solvent formation were 0.24 hr^{-1}, 0.79 g/g-hr and 1.08 g/g-hr. respectively. Components of solvent were butanol 63.14%, acetone 35.02% and ethanol 1.84%.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ .....

ปีการศึกษา 2531 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ธนียวัน ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยา และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ตลอดจนเพื่อน พี่และน้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และท่านผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ซึ่งให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าในการศึกษามาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญภาพ.....ญ

คำย่อ.....ฌ

บทที่

1. บทนำ.....1
2. ตรวจเอกสาร.....3
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....57
4. ผลการวิจัย.....66
5. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย.....118

เอกสารอ้างอิง.....124

ภาคผนวก.....136

ประวัติผู้แต่ง.....144

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	องค์ประกอบของผักตบชวาแห้ง	6
2.	องค์ประกอบโปรตีนของผักตบชวาแห้ง	7
3.	การปรับสภาพและการย่อยวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลส	22
4.	จุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์เซลลูเลส	25
5.	การย่อยสลายฝ้ายของเอนไซม์เซลลูเลสชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากเชื้อ *Trichoderma reesei*	27
6.	การใช้ประโยชน์จากสารประกอบเซลลูโลสในปัจจุบัน	30
7.	ชนิดของแบคทีเรียที่สามารถผลิตบิวทานอลได้	31
8.	ชนิดของน้ำตาลที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน โดยเชื้อคลอสตริเดียม	35
9.	ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล	36
10.	การผลิตอาซีโตน-บิวทานอลจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลส	40
11.	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักกากน้ำตาล (molasses) และแป้งข้าวโพด	44
12.	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อ *Cl. acetobutylicum* P262 ตามระยะเวลาการหมัก	46
13.	ผลการย่อยสลายผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ	68
14.	ผลของชนิดบัฟเฟอร์ต่อการย่อยสลายของเอนไซม์	73
15.	เปรียบเทียบปริมาณตัวทำละลายรวมที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากการย่อยสลายผักตบชวาที่ความเข้มข้น 20, 40, 60 และ 8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 37 องศาเซลเซียส ในระดับหลอดทดลองโดยคลอสตริเดียมสลายพันธุ์ต่าง ๆ	86
16.	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากการย่อยสลายผักตบชวาในระดับขวดเขย่าโดยคลอสตริเดียมสายพันธุ์ต่าง ๆ	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

17. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 37 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดย Cl. butylicum NRRL B592..... 95

18. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล ที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 97

19. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 5.5, 6.0, 6.5 และไม่ควบคุมความเป็นกรดด่าง โดย Cl. butylicum NRRL B592..... 104

20. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล ที่ค่าความเป็นกรดด่างต่าง ๆ..... 106

21. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากการย่อยสลาย 40, 60 และ 80 กรัมต่อลิตร ตามลำดับที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่าง โดย Cl. butylicum NRRL B592..... 111

22. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล ที่ค่าความเข้มข้นน้ำตาลต่าง ๆ..... 113

23. แสดงสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการหมัก..... 117

24. เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล โดย Cl. butylicum NRRL B592 เมื่อใช้น้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ..... 122

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นผักตบชวา....4
2. ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส....8
3. ลักษณะของไฟบริล....9
4. ลักษณะโครงสร้างเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์ของพืชทั่วไป....9
5. การแยกองค์ประกอบในเซลล์พืช....11
6. ชนิดของน้ำตาลและกรดยูโรนิคที่เป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส....13
7. โครงสร้างของไซแลน....14
8. หน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน....15
9. วิธีการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment)....18
10. การย่อยสลายและการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เซลลูโลส....26
11. กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสให้เป็นอาซีโตน-บิวทานอล....39
12. แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของการเปลี่ยนลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อ Cl. acetobutylicum P262....47
13. วิถีเมตาโบลิซึมของการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล โดยเชื้อคลอสตริเดียม....50
14. โครงสร้างของเฟอฟูรัลและอนุพันธุ์เฟอฟูรัล....55
15. ลักษณะของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ....67
16. ผลการย่อยสลายผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเบต้า-กลูโคซิเดส 20 หน่วยเอนไซม์ ต่อกรัมผักตบชวา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่าง 4.8....69
17. ผลการย่อยสลายผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยแปรผันความเข้มข้น, อุณหภูมิและเวลาในการปรับสภาพ เมื่อใช้เอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเบต้า-กลูโคซิเดส 20 หน่วย ต่อกรัมผักตบชวา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่าง 4.8.... 70
18. ผลการย่อยสลายผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเบต้า-กลูโคซิเดส 20 หน่วย ต่อกรัมผักตบชวาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส....71

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

19. ผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อการย่อยสลายผักตบชวา เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเบต้า-กลูโคซิเดส 20 หน่วย เอนไซม์ต่อกรัมผักตบชวา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์.....74

20. ผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายผักตบชวาเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเบต้า-กลูโคซิเดส 20 หน่วย เอนไซม์ต่อกรัมผักตบชวา ใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์ ที่มีความเป็นกรดด่าง 4.8.....75

21. ผลของการแปรผันความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูระหว่าง 10-60 หน่วยเอนไซม์ (FPU) ต่อกรัมผักตบชวาที่ถูกปรับสภาพด้วยด่าง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรดด่าง 4.8.....77

22. ผลของการแปรผันความเข้มข้นของเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดรส ระหว่าง หน่วยต่อกรัมผักตบชวา เมื่อใช้ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส 30 หน่วย เอนไซม์ต่อกรัมผักตบชวา ทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรดด่าง 4.8.....78

23. ผลของการแปรผันความเข้มข้นของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เมื่อใช้เอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับเอนไซม์เบตากลูโคซิเดส ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใน 0.05 โมลาร์ซิเตรทบัฟเฟอร์ค่าความเป็นกรดด่าง ที่ 4.8 ในเวลา 24 ชั่วโมง 80

24. ลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อคลอสตริเดียมเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำตาลจากการย่อยสลายผักตบชวาเป็นแหล่งคาร์บอนในระดับหลอดทดลองและขวดเขย่า.....82

25. ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาต่อการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล โดยเชื้อ Cl. acetobutylicum ATCC 824.....83

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

26. ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาต่อการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....84

27. ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาต่อการผลิตอาซีโตน-บิวทานอล โดยเชื้อ Clostridium สายพันธุ์ 8P-2.....85

28. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....89

29. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....90

30. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....91

31. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....92

32. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....93

33. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....94

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

34. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการหมักที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 96

35. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 5.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 98

36. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 5.5 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 99

37. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.0 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 100

38. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสจากการย่อยสลายผักตบชวาความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ควบคุมความเป็นกรดด่างที่ 6.0 โดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 101

39. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 102

40. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 103

41. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการหมักที่ค่าความเป็นกรดด่างต่าง ๆ..... 105

42. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592..... 107

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

43. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....108

44. ปริมาณตัวทำละลายและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 80 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....109

45. ปริมาณกรดและผลที่ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายผักตบชวา ความเข้มข้น 80 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่ควบคุมความเป็นกรดด่างโดยเชื้อ Cl. butylicum NRRL B592.....110

46. การเปรียบเทียบค่าจลน์ศาสตร์ของการหมักที่ความเข้มข้นของน้ำตาลต่าง ๆ.....112

47. แสดงความสัมพันธ์ของค่าจลน์ศาสตร์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ.....115

48. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) และปริมาณบิวทานอลที่ผลิตขึ้นตลอดการหมัก.....116

49. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์และน้ำหนักเซลล์แห้ง.....143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

ก. = กรัม

ล. = ลิตร

มล. = มิลลิลิตร

ชม. = ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย