

การผลิตพอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ
3-ไฮดรอกซีวาเลอเรตสูง โดย *Bacillus* sp. BA-019 ในถังหมัก



นายกิติพงศ์ ปวรังกูร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1316-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF POLY(3-HYDROXYBUTYRATE-CO-3-HYDROXYVALERATE) WITH
HIGH 3HV MOLE FRACTION BY *Bacillus* sp. BA-019 IN A FERMENTOR



Mr.Kitipong Pavarangoon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Industrial Microbiology

Department of Microbiology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-17-1316-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตพอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรตสูง โดย *Bacillus* sp. BA-019 ในถังหมัก

โดย

นายกิติพงศ์ ปวรังกูร

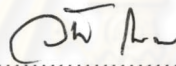
สาขาวิชา

จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

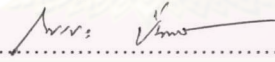
รองศาสตราจารย์ ดร.สงศรี กุลปรีชา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

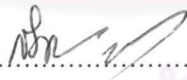


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิฑ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



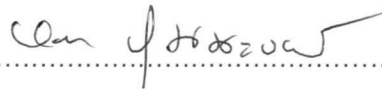
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สงศรี กุลปรีชา)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

กิติพงศ์ ปวรางกูร : การผลิตพอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) ที่มีสัดส่วน โดยโมลของ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรตสูง โดย *Bacillus* sp. BA-019 ในถังหมัก. (PRODUCTION OF POLY(3-HYDROXYBUTYRATE-CO-3-HYDROXYVALERATE) WITH HIGH 3HV MOLE FRACTION BY *Bacillus* sp. BA-019 IN A FERMENTOR) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สงครี กุลปรีชา, จำนวนหน้า 122 หน้า. ISBN 974-17-1316-9.

ในการศึกษาการผลิตโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) โดยเชื้อ *Bacillus* sp. BA-019 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร พบว่ากล้าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเป็นกล้าเชื้ออายุ 12 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเพื่อการผลิตโคพอลิเมอร์ ซึ่งได้แก่อาหาร Mineral Salt Medium (MSM) พบว่า *Bacillus* sp. BA-019 สามารถใช้โซเดียมวาเลอเรตเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์โมโนเมอร์ 3HV ได้ดีที่สุด โดยเมื่อใช้โซเดียมวาเลอเรตเท่ากับ 5 กรัมต่อลิตร และน้ำตาลทรายเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร โดยมียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ได้สัดส่วนโดยโมลของ 3HV เท่ากับ 44 โมลเปอร์เซ็นต์ ผลิตโคพอลิเมอร์ได้เท่ากับ 14.03 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง ผลการทดลองได้พบว่าการเติมโซเดียมซิติเรต โซเดียมอะซิเตต หรือกรดโอเลอิก เป็นซับสเตรต มีผลช่วยให้การเจริญและการผลิตโคพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น แต่สัดส่วนโดยโมลของ 3HV ที่สังเคราะห์ได้มีค่าน้อยลง อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมเท่ากับ 30 ซึ่งมีผลให้ได้สัดส่วนโดยโมลของ 3HV เท่ากับ 43 โมลเปอร์เซ็นต์ ได้ปริมาณโคพอลิเมอร์เท่ากับ 18.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Bacillus* sp. BA-019 แบบเฟดแบชโดยใช้อาหารป้อนเข้าซึ่งมีน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร โซเดียมวาเลอเรตเท่ากับ 25 กรัมต่อลิตรคิดเป็นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 พบว่าเชื้อมีการเจริญสูงโดยได้น้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 13.16 กรัมต่อลิตร โคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) ผลิตได้เพิ่มขึ้นเป็น 31.67 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง และมีการสังเคราะห์ 3HV ได้มากเท่ากับ 45 โมลเปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลทรายและโซเดียมวาเลอเรตในอาหารป้อนเข้าเป็น 200 และ 50 กรัมต่อลิตรโดยคงอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 ได้น้ำหนักเซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 17.16 กรัมต่อลิตร ปริมาณโคพอลิเมอร์และสัดส่วนโดยโมลของ 3HV เท่ากับ 30.91 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง และ 42 โมลเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าการสังเคราะห์โมโนเมอร์ 3HV เพิ่มอย่างชัดเจนโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลือแร่ในอาหารป้อนเข้าเป็น 2 มิลลิลิตรต่อลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนโดยโมลของ 3HV ที่ได้สูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 65 โมลเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยโมลที่สูงมากในโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) เมื่อตกตะกอนโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) ที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่าเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่สามารถแยกส่วนของโคพอลิเมอร์ที่มี 3HV ซึ่งมีความบริสุทธิ์เท่ากับ 86.1 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนโดยโมลของ 3HV ได้สูงถึง 79 โมลเปอร์เซ็นต์

ภาควิชาจุลชีววิทยา

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต..... กิติพงศ์ ปวรางกูร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สหวิทย์

4272213523 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD: P(3HB-co-3HV) / *Bacillus* sp. / FED-BATCH / pH-STAT

KITIPONG PAVARANGGOON : PRODUCTION OF POLY(3-HYDROXYBUTYRATE-CO-3-HYDROXYVALERATE) WITH HIGH 3HV MOLE FRACTION BY *Bacillus* sp. BA-019 IN A FERMENTOR. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SONGSRI KULPREECHA, Ph.D., 122 pp. ISBN 974-17-1316-9.

Production of copolymer P(3HB-co-3HV) by *Bacillus* sp. BA-019 in a 5 L jar fermentor was studied. Seed culture at 12 h. was found to be suitable for growth. Mineral Salt Medium (MSM) was used as a production medium of copolymer. It was shown that sodium valerate was the best precursor for 3HV biosynthesis by *Bacillus* sp. BA-019. By using 5 g/l of sodium valerate and 20 g/l of cane sugar and urea, 44 mole percent of 3HV monomer and 14.03 percent of copolymer by dry cell weight were obtained. Addition of sodium citrate, sodium acetate or oleic acid as a supplement resulted in enhancing growth and copolymer production but less amount of synthesized 3HV monomer was obtained. The optimal C/N ratio was 30, while 43 mole percent of 3HV monomer and 18.75 percent of copolymer by dry cell weight were detected. In fed batch cultivation with feeding nutrient solution containing 100 g/l of cane sugar, 25 g/l of sodium valerate or equivalent to 30 mole/mole of C/N, dry cell weight increased to 13.16 g/l and copolymer P(3HB-co-3HV) content increased upto 31.67 percent by dry cell weight with higher 3HV synthesis at 45 mole percent. When feeding nutrient solution containing higher concentration of cane sugar (200 g/l) and sodium valerate (50 g/l) was investigated, with fixed C/N ratio at 30, larger dried cell weight of 17.16 g/l was obtained with 30.91 percent by dry cell weight of polymer content and 42 mole percent of 3HV monomer. The synthesis of 3HV monomer was remarkably increased by the addition of 2 ml. of trace elements per litre of culture medium in feeding solution. It was shown that the highest mole fraction of 3HV monomer was 65 mole percent, which was the large mole fraction of 3HV in copolymer P(3HB-co-3HV). Using various organic solvent to fractionate yielded the copolymer with 86.1 percent purity and high mole fraction of 3HV at 79 mole percent.

Department Microbiology
Field of study Industrial Microbiology
Academic year 2002

Student's signature..... *Admait Wongy*

Advisor's signature..... *S. Kulpreecha*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สงศรี กุลปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำอันมีค่าและข้อคิดเห็นต่างๆ ของงานด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ศิษย์ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของภาคจุฬชีวิตวิทยา ตลอดจนพี่ๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

งานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	37
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	100
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	122

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 จุลินทรีย์ที่สะสมPHA.....	7
2 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	11
3 การเจริญของ <i>Bacillus</i> sp. BA-019 ในอาหารสำหรับเลี้ยงกล้าเชื้อ	37
4 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน.....	39
5 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมโพรพิโอเนต 2.5 กรัมต่อลิตร.....	42
6 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมโพรพิโอเนต 5.0 กรัมต่อลิตร.....	43
7 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมโพรพิโอเนต 7.5 กรัมต่อลิตร.....	44
8 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมโพรพิโอเนต 10.0 กรัมต่อลิตร.....	45
9 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมวาลูเอเรต 2.5 กรัมต่อลิตร.....	48
10 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมวาลูเอเรต 5.0 กรัมต่อลิตร.....	49
11 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมวาลูเอเรต 7.5 กรัมต่อลิตร.....	50
12 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซโตียมวาลูเอเรต 10.0 กรัมต่อลิตร.....	51
13 เปรียบเทียบการเจริญและผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทรายร่วมกับไซโตียมโพรพิโอเนตและไซโตียมวาลูเอเรตความเข้มข้น 2.5 ถึง 10.0 กรัมต่อลิตร.....	52
14 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมซีเตรต 0.5 กรัมต่อลิตร.....	56
15 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมซีเตรต 1.0 กรัมต่อลิตร.....	57

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมซีเตรต 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตร.....	58
17 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมอะซีเตต 0.5 กรัมต่อลิตร.....	60
18 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมอะซีเตต 1.0 กรัมต่อลิตร.....	61
19 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมไซโตียมอะซีเตต 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตร.....	62
20 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมกรดโอเลอิก 0.5 กรัมต่อลิตร.....	64
21 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมกรดโอเลอิก 1.0 กรัมต่อลิตร.....	65
22 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติมกรดโอเลอิก 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตร.....	66
23 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 4.....	69
24 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 8.....	70
25 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 (ชุดควบคุม).....	71
26 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30.....	72
27 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 60.....	73
28 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100.....	74

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
29 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 4 ถึง 100 โมลต่อโมล.....	75
30 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีน้ำตาลทรายและไซโตียมวาลูเอเรตในอาหารป้อนเข้า.....	78
31 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย ไซโตียมวาลูเอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15	80
32 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย ไซโตียมวาลูเอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30.....	81
33 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย ไซโตียมวาลูเอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 60.....	82
34 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย ไซโตียมวาลูเอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 ถึง 60.....	83
35 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อาหารป้อนเข้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร.....	86
36 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อาหารป้อนเข้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 400 กรัมต่อลิตร.....	87
37 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อาหารป้อนเข้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 100 ถึง 400 กรัมต่อลิตร.....	88
38 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีปริมาณ trace element 2 มิลลิลิตรต่อลิตร.....	91

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
39 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีปริมาณtrace element 3 มิลลิลิตรต่อลิตร.....	92
40 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีปริมาณtrace element 1 ถึง 3 มิลลิลิตรต่อลิตร.....	93
41 เปรียบเทียบความบริสุทธิ์ และสัดส่วนโดยโมลของ3HV ของโคพอลิเมอร์เมื่อตกตะกอนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด.....	95
42 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการของP(3HB-co-3HV) ที่ได้.....	99



 ศูนย์วิจัยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	วัฏจักรของ PHA..... 5
2	สูตรโครงสร้างของ PHA..... 8
3	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ PHBV..... 10
4	วิธีการสังเคราะห์ PHB..... 12
5	วิธีการสังเคราะห์ของโคพอลิเอสเทอร์ ที่ประกอบด้วยหน่วยของ 3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต (3HB) และ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต..... 13
6	วิธีการสังเคราะห์ PHA..... 14
7	กราฟแสดงการหาอัตราการเจริญจำเพาะ (μ)..... 19
8	แผนภาพการเลี้ยงเชื้อแบบเฟดแบช..... 21
9	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน..... 39
10	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมโพรพิโอเนต 2.5 กรัมต่อลิตร..... 42
11	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมโพรพิโอเนต 5.0 กรัมต่อลิตร..... 43
12	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมโพรพิโอเนต 7.5 กรัมต่อลิตร..... 44
13	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมโพรพิโอเนต 10.0 กรัมต่อลิตร..... 45
14	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมวาเลอเรต 2.5 กรัมต่อลิตร..... 48
15	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมวาเลอเรต 5.0 กรัมต่อลิตร..... 49
16	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมวาเลอเรต 7.5 กรัมต่อลิตร..... 50
17	การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย และไซเตียมวาเลอเรต 10.0 กรัมต่อลิตร..... 51

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
18 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม ไซโตียมซีเตรต 0.5 กรัมต่อลิตร.....	56
19 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม ไซโตียมซีเตรต 1.0 กรัมต่อลิตร.....	57
20 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม ไซโตียมอะซีเตต 0.5 กรัมต่อลิตร.....	60
21 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม ไซโตียมอะซีเตต 1.0 กรัมต่อลิตร.....	61
22 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม กรดโอเลอิก 0.5 กรัมต่อลิตร.....	64
23 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อเติม กรดโอเลอิก 1.0 กรัมต่อลิตร.....	65
24 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 4.....	69
25 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 8.....	70
26 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 (ชุดควบคุม).....	71
27 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30.....	72
28 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 60.....	73
29 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100.....	74
30 การเจริญและการผลิต P(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมี น้ำตาลทรายและไซโตียมวาเลอเรตในอาหารป้อนเข้า (เริ่มเติมสารป้อนเข้า ภายใน 3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	78

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
31 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย โซเดียมวาเลอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	80
32 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย โซเดียมวาเลอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	81
33 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้น้ำตาลทราย โซเดียมวาเลอเรตและยูเรียในอาหารป้อนเข้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 60 (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	82
34 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อาหารป้อนเข้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน 3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	86
35 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อใช้อาหารป้อนเข้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเท่ากับ 400 กรัมต่อลิตร (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน 3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	87
36 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีปริมาณtrace element 2 มิลลิลิตรต่อลิตร (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	91
37 การเจริญและการผลิตP(3HB-co-3HV) โดย <i>Bacillus</i> sp. BA-019 เมื่อมีปริมาณtrace element 3 มิลลิลิตรต่อลิตร (เริ่มเติมสารป้อนเข้าภายใน3 ชั่วโมงแรกของการเลี้ยงเชื้อ).....	92
38 ตัวอย่างแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-3HV) (ก) 3HV 14 mol% (ข) 3HV 18 mol%.....	96
ตัวอย่างแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-3HV) (ค) 3HV 26 mol% (ง) 3HV 35 mol%.....	97
ตัวอย่างแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-3HV) (จ) 3HV 39 mol%.....	98

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
39 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณซุโครสด้วยวิธีDNSA ในช่วงความเข้มข้น 0-1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	115
40 กราฟมาตรฐานโมโนเมอร์ 3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต ความเข้มข้น 0-4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	117
41 กราฟมาตรฐานโมโนเมอร์ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต ความเข้มข้น 0-4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	118
42 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) ที่มีสัดส่วนของ 3HV เท่ากับ 40 โมลเปอร์เซ็นต์.....	118
43 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) ที่มีสัดส่วนของ 3HV เท่ากับ 65 โมลเปอร์เซ็นต์.....	119
44 กราฟมาตรฐานของยูเรียในช่วงความเข้มข้น 0 - 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	119

คำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
DCW	น้ำหนักเซลล์แห้ง (dry cell weight)
g/l	กรัมต่อลิตร
h	ชั่วโมง
mol%	เปอร์เซ็นต์โดยโมล
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
wt%	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย