การเกิดแก๊สชีวภาพโดยใช้เชื้อผสมของอะซิโตเจนและเมธาโนเจนแยกจากกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมนม

นางสาว พัสตรา เขมาวุฒานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาจุลชีววิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2537

ISBN 974-584-959-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I13163059

Biomethanation by Mixed Cultures of Acetogens and Methanogens isolated from Sludges of Dairy Industry.

Miss Pastra Kemavuthanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Microbiology

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-959-6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเกิดแก๊สชีวภาพโดยใช้เชื้อผสมของอะซิโตเจนและเมธาโนเจนแยกจากกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมนม

โดย นางสาว พัสตรา เขมาวุฒานนท์

ภาควิชา จุลชีววิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประกิตติ์สิน สีหนนทน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

พัสตรา เขมาวุฒานนท์ : การเกิดแก๊ส์ชีวภาพโดยใช้เชื้อผสมของอะซิโตเจนและเมธาโนเจนแยกจากกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมนม (BIOMETHANATION BY MIXED CULTURES OF ACETOGENS AND METHANOGENS ISOLATED FROM SLUDGES OF DAIRY INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.คิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์, 112 หน้า.
ISBN 974-584-959-6

ทำการแยกอะซิโตเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่คัดเลือกโดยการเจริญบนอาหารที่มีกรดโพรพิโอนิคหรือกรดแลคติค และนำไปผสมกับเมธาโนเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่คัดเลือกโดยการเจริญบนอาหารที่มีเมธานอลหรือ $H_2:CO_2$ (80:20) เพื่อศึกษาถึงการผลิตแก๊ส์มีเธนในระดับหลอดทดลอง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊ส์มีเธนของเชื้อผสมอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอล หรือ $H_2:CO_2$ (80:20) หลังจากบ่มเป็นเวลา 6 สัปดาห์ คือใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค 5 mM มีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุน และเติมตัวกระตุ้นกระบวนการเกิดแก๊ส์มีเธนคือ $H_2:CO_2$ (80:20) ในสัปดาห์ที่สองของการเลี้ยงเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนของอะซิโตเจนและเมธาโนเจน 1:1 ที่ $37^{\circ}C$ โดยได้ปริมาณแก๊ส์มีเธนเท่ากับ 2.00×10^5 nmole สิ่งที่น่าสนใจคือ เมื่อใช้เชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลหรือ $H_2:CO_2$ (80:20) จะเกิดแก๊ส์มีเธนเท่ากับ 2.97×10^5 nmole เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค 10 nM มีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและเติมตัวกระตุ้นกระบวนการเกิดแก๊ส์มีเธนคือ $H_2:CO_2$ (80:20) ในสัปดาห์ที่สองของการเลี้ยงเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนของอะซิโตเจนและเมธาโนเจน 1:1 ที่ $37^{\circ}C$ พบว่าในภาวะทั้งสองมีค่าความเป็นกรดด่างสุดท้ายของน้ำเลี้ยงเชื้อ 6.65 และ 6.74 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในช่วงการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มเมธาโนเจนและให้แก๊ส์มีเธนในปริมาณที่สูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต พัสตรา เขมาวุฒานนท์
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [signature]
ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C426062 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY
KEY WORD: BIOMETHANATION / METHANE / ACETOGENS / METHANOGENS
PASTRA KEMAVUTHANON : BIOMETHANATION BY MIXED CULTURES OF ACETOGENS AND METHANOGENS ISOLATED FROM SLUDGES OF DAIRY INDUSTRY.
THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF. SIRIRAT RENGPIPAT,Ph.D. 112 pp.
ISBN 974-584-959-6

Mixed cultures from sludges of dairy industry including, Acetogens, a bacterial group using propionic acid or lactic acid as a selective substrate; and, Methanogens, using methanol or H_2:CO_2(80:20) as selective substrate were isolated. After six week-incubation of mixed cultures of Acetogens and Methanogens at a ratio of 1:1 at 37°C high quantity of methane production of 2.0×10^5 nmole was obtained. This optimal production was from Acetogens isolated by using propionic acid and Methanogens by using methanol or H_2:CO_2(80:20) as selective substrate cultivated in a medium containing 5 mM lactic acid with sand as a carrier matrix and subsequent addition of H_2:CO_2(80:20) in the second week of cultivation. Interestingly, the highest quantity of methane production of 2.97×10^5 nmole was observed with the mixed cultures at a ratio of 1:1 of Acetogens isolated by using lactic acid and Methanogens by using methanol or H_2:CO_2(80:20) in the medium containing 10 mM lactic acid using sand as a carrier matrix with subsequent addition of H_2:CO_2(80:20) in the second week of cultivation and at the same time. It was observed that final pH of both conditions are consecutively 6.65 and 6.74 which are optimal for Methanogens growth.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต พัสตรา เกมวุฒานนท์

สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนได้กรุณาปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประกิตติ์สิน สีหนนทน์ ที่ได้กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ และอาจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการในการสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ PROF. DR. HIDEKI HARADA, DEPARTMENT OF CIVIL & ENVIRONMENT, NAGAOKA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, NIIGATA, JAPAN ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อกากตะกอนรวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี และคุณวิทยา เอ็งโอภาสนันท์ แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณสุณี พณิชธารสิทธ์ แห่งศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อให้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี ในการวัดปริมาณแก๊สมีเธน

กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาจุลชีววิทยา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริษัท ไทยวา จำกัด ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยบางส่วน โดยผ่าน ผศ.ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ และขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ และคำแนะนำที่ดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

สัญลักษณ์และคำย่อ ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 9

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย 21

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 39

5. สรุปผลการทดลอง 82

เอกสารอ้างอิง 84

ภาคผนวก 90

ประวัติผู้เขียน 112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ซับสเทรตของแบคทีเรียกลุ่มเมธาโนเจนที่ใช้ในการสร้างแก๊สมีเธน 2

1.2 การจำแนกเมธาโนเจนเป็นorderโดยอาศัยสมบัติทางรูปร่างและการใช้ซับสเทรต 5

2.1 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละปีโดยประชากรโลก 9

2.2 การนำแก๊สมีเธนไปใช้ในกิจกรรมชนิดต่างๆ 10

2.3 ประสิทธิภาพในการลดค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำเสียที่เกิดจากการหมักโดยกระบวนการบำบัดแบบต่างๆ 11

2.4 เปรียบเทียบชนิดของแบคทีเรียในกากตะกอนและกากตะกอนที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว 14

2.5 ค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ 16

2.6 ของเหลือทิ้งประเภทเซลลูโลสที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตแก๊สมีเธน 17

2.7 เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดอะมิโนในน้ำเสียและในกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ 18

2.8 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงต่างๆ 20

4.1 ปริมาณที่นับได้โดยเฉลี่ยของเชื้อผสมตามธรรมชาติในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมซับสเทรตชนิดต่างๆและบ่มไว้ที่37°C 44

4.2 ปริมาณแก๊สมีเธนที่ผลิตโดยเชื้อผสมตามธรรมชาติในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมซับสเทรตในน้ำเลี้ยงเชื้อให้ได้ความเข้มข้น20mMและบ่มไว้ที่37°C 48

4.3 แสดงชนิดและลักษณะของแบคทีเรียที่แยกได้จากการใช้ซับสเทรตชนิดต่างๆ .. 55

4.4 แสดงค่าความเป็นกรดด่างสุดท้ายโดยเฉลี่ยของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่ใช้เลี้ยงอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้น้ำเลี้ยงเชื้อความเข้มข้นต่างๆและบ่มไว้ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา42วัน 60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

4.5 แสดงค่าความเป็นกรดด่างสุดท้ายโดยเฉลี่ยของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่ใช้เลี้ยงอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดโพรพิโอนิคให้ได้น้ำเลี้ยงเชื้อความเข้มข้นต่างๆและบ่มไว้ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา42วัน 61

4.6 แสดงค่าความเป็นกรดด่างโดยเฉลี่ยของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมซับสเทรตชนิดต่างๆเมื่อเลี้ยงเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติคหรือกรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลโดยมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่อุณหภูมิ37°Cเป็นเวลา42วัน 65

4.7 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mMและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 67

4.8 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mM และมีการเติมเมธานอลในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน .. 67

4.9 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mMและมีการเติม$H_2:CO_2$ (80:20) ในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

4.10 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mMและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 70

4.11 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mM และมีการเติมเมธานอลในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 70

4.12 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย5mM และมีการเติม$H_2:CO_2$(80:20)ในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 71

4.13 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mMและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 73

4.14 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mMและมีการเติมเมธานอลในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

4.15 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mMและมีการเติม$H_2:CO_2$(80:20)ในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 74

4.16 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mMและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 76

4.17 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mM และมีการเติมเมธานอลในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 76

4.18 ปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมระหว่างอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมกรดแลคติคให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย10mM และมีการเติม$H_2:CO_2$(80:20)ในวันที่14ของการเลี้ยงเชื้อและมีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุนและบ่มไว้ที่37°Cเป็นเวลา42วัน 77

สารบัญรูป

รูปที่

1.1 วัฏจักรคาร์บอนในธรรมชาติ 4

1.2 การย่อยสลายสารเชิงซ้อนโดยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรีย3กลุ่ม 6

2.1 ระบบกำจัดน้ำกากส่าของโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม 12

2.2 ประโยชน์ของผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ 19

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหลอดเลี้ยงเชื้อแบบไร้อากาศ 23

3.2 ลักษณะภายในของท่อทองแดงสำหรับดูดแก๊สออกซิเจนซึ่งใช้ในกระบวนการทำหลอดเลี้ยงเชื้อแบบไร้อากาศ 24

3.3 ลักษณะภายนอกของท่อทองแดงสำหรับดูดแก๊สออกซิเจนซึ่งใช้ในกระบวนการทำหลอดเลี้ยงเชื้อแบบไร้อากาศ 24

3.4 เครื่องเคลือบวุ้นเข้ากับผิวด้านในหลอดทดลองของฮังเกต 25

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 26

3.6 ลักษณะกากตะกอนที่ได้รับจากโรงงานอุตสาหกรรมนม 29

3.7 แสดงการเลี้ยงเชื้อในอาหารแข็งโดยวิธีของฮังเกต 30

3.8 การเติมซับสเทรตไฮโดรเจนะคาร์บอนไดออกไซด์(80:20) 31

3.9 การเก็บตัวอย่างแก๊สมีเธนจากหลอดเลี้ยงเชื้อโดยใช้หลอดฉีดยาเก็บความดัน 32

3.10 การเก็บโคโลนีจากอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งไปในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 34

3.11 ขวดเก็บเชื้อบริสุทธิ์ 36

4.1 ลักษณะภายนอกของกากตะกอนเมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนกำลังขยาย 350 เท่า 40

4.2 ผิวของกากตะกอนเมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนกำลังขยาย 3,500 เท่า 41

4.3 ผิวของกากตะกอนเมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนกำลังขยาย 10,000 เท่า 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

4.4 ภาพตัดขวางของกากตะกอนโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบผ่านตลอดกำลังขยาย 7,000 เท่า 43

4.5 ภาพตัดขวางของกากตะกอนโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบผ่านตลอดกำลังขยาย 14,000 เท่า 43

4.6 เปรียบเทียบปริมาณที่นับได้ของเชื้อผสมตามธรรมชาติในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมซับสเทรตชนิดต่างๆและบ่มไว้ที่ 37°C 45

4.7 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สมีเธนของเชื้อผสมตามธรรมชาติในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีการเติมซับสเทรตชนิดต่างๆและบ่มไว้ที่ 37°C 49

4.8 ลักษณะโคโลนีของเชื้ออะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติค 56

4.9 ลักษณะโคโลนีของเชื้ออะซิโตเจนเมื่อสัมผัสอากาศ 56

4.10 ลักษณะโคโลนีของเชื้อเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลหรือ$H_2:CO_2$ (80:20) 57

4.11 ลักษณะการเรืองแสงของเชื้อเมธาโนเจนเมื่อดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดฟลูออเรสเซนต์กำลังขยาย1,000เท่า 57

4.12 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค5mMและแปรผันการเติมซับสเทรตชนิดอื่น 69

4.13 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค5mMและแปรผันการเติมซับสเทรตชนิดอื่น 72

4.14 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค10mMและแปรผันการเติมซับสเทรตชนิดอื่น 75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

4.15 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สมีเธนที่เกิดจากเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค10mMและแปรผันการเติมซับสเทรตชนิดอื่น 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	เปอร์เซนต์
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
Kg	=	กิโลกรัม
mg	=	มิลลิกรัม
mM	=	มิลลิโมลาร์
KJ	=	กิโลจูล
MJ	=	เมกกะจูล
ft^3	=	ลูกบาศก์ฟุต
Hr	=	ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย