การหมักสารตั้งต้นสถานะของแข็งแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมุนเวียนของเหลวกลับมาใช้

นางสาว สุนทรียา วงค์ศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
พ.ศ. 2535
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ISBN 974-581-948-4
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019158

ANAEROBIC SOLID-SUBSTRATE FERMENTATION WITH LIQUID RECYCLING OPERATION

MISS SOONTAREEYA WONGSIRIKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of The Requirements

for The Degree of Master of Science

Program of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-948-4Y

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหมักสารตั้งต้นสถานะของแข็งแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมุนเวียนของเหลวหลับมาใช้
โดย	นางสาว สุนทรียา วงศ์คิริกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพินิจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุนทรียา วงศ์ศิริกุล: การหมักสารตั้งต้นสถานะของแข็งแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมุนเวียนของเหลวกลับมาใช้ (ANAEROBIC SOLID-SUBSTRATE FERMENTATION WITH LIQUID RECYCLING OPERATION) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. เพียรพรรค ทัศคร, อ.ดร. สุเมธ ชวเดช, หน้า 138. ISBN 974-578-948-4

กระบวนการย่อยสลายของแข็งเพื่อเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพนี้ ได้เน้นการวิจัยในขั้นตอนกระบวนการย่อยสลายของแข็งโมเลกุลเล็กที่ไม่ละลายน้ำไปเป็นสารโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสารโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้เหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ หรือต้องการเปลี่ยนแปลงเป็นสารเคมีอื่น ๆ ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งวิธีการนี้จะดีกว่าวิธีการผลิตโดยตรงจากสารของแข็ง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เปลือกมันฝรั่งจากโรงงานแปรรูปมันฝรั่งทอดกรอบเป็นวัตถุดิบ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่มีผลต่อการย่อยสลายของแข็งและการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยได้ทดลองแปรค่าปริมาณของแข็งเริ่มต้นช่วง 3-12 % พบว่าที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 5 % ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดโดยระบบสามารถย่อยสลายของแข็งได้ 85 % และผลิตแก๊สชีวภาพได้ตลอดการทดลอง 1.38 ลิตร/ลิตรของขนาดถังปฏิกรณ์/วัน นอกจากนั้นได้ทดลองแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้หมุนเวียนในระบบที่อัตรา 1.47 2.94 และ 4.41 ลิตร/ลิตรของถังปฏิกรณ์/วัน ผลปรากฏว่าที่อัตราการไหลเวียนค่าต่าง ๆ นี้ไม่มีผลต่อการย่อยสลายของของแข็งและอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ สำหรับการเปรียบเทียบค่าจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบที่ 20,000 40,000 และ 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร ผลปรากฏว่าทำให้อัตราการย่อยสลายเร็วขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C226145 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD : ANAEROBIC DIGESTION / METHANE PRODUCTION
SOONTAREEYA WONGSIRIKUL: ANAEROBIC SOLID-SUBSTRATE FERMENTATION WITH LIQUID RECYCLING OPERATION. THESIS ADVISOR: DR. PIENPAK TASAKORN,Ph.D., DR. SUMETH CHAVADEJ,Ph.D.,138 pp.ISBN 974-578-948-4

The anaerobic digestion of solids yeilding biogas was investigated with emphasis on the hydrolysis of solid-substrate yeilding small molecules soluble in water. The intermediate substrate may be used to produce biogas later when it is needed or transformed further into other chemicals. This is a better alternative than utilization of biogas at the production site direcctly from solid-substrate. Potato peel from potato chip factory was chosen as a raw material. The objectives of this research are to investigate the hydrolysis rate and the production of biogas. In the experiments, the total solid in the system was varied between 3 - 12 % . It was found that the highest total solid reduction was 85 % at the initial total solid of 5 % . The accumulation of biogas was obtained at 1.38 l/l working volume of reeactor/day. A study on water circulation at the rate of 1.47, 2.94 and 4.41 l/l working volume of reeactor/day showed that circulation rate has no effect on hydrolysis of solid-substrate and biogas production. A comparision of bacterial seed in the system of 20,000 40,000 and 60,000 mg/l indicated a slight increase of the hydrolysis rate with the seed concentration.

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.เพียรพรรค ทัศคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สุเมธ ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทาง พร้อมทั้งดูแลงานวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.คิริรัตน์ เร่งนิพัฒน์ ประธานกรรมการ ผศ.ดร.สุเทพ ธนียะวัน และ ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณ วัธน์ ธีระวุฒิ กรรมการผู้จัดการบริษัท ฟู้ดโพรเซสซิ่ง จำกัด ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อวัตถุดิบสำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนแก่งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ ช่างเทคนิคของภาควิชาเคมีเทคนิค เพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอด

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 3

2 วาสารปริทรรศน์..... 4

2.1 กล่าวนำ..... 4

2.2 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 5

2.2.1 ไฮโดรไลซีส..... 5

2.2.2 การสร้างกรด..... 6

2.2.3 การเกิดมีเทน..... 6

2.2.3.1 Obligate chemolithotrophic..... 8

2.2.3.2 Methylotrophic methanogen..... 8

2.3 วิถีการสร้างมีเทน..... 9

2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง..... 11

2.4.1 Hydrolysis และ fermentative bacteria..... 13

2.4.2 Transition bacteria..... 15

2.4.2.1 Fermentative bacteria..... 15

2.4.2.2 Obligate proton-reducing acidogen..... 17

2.4.3 Methanogenic bacteria..... 17

2.5 จลนศาสตร์สำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 18

2.6 ชนิดของถังปฏิกรณ์..... 20

2.6.1 ถังปฏิกรณ์แบบครั้งคราว..... 20
2.6.2 ถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง..... 22
2.6.3 ถังปฏิกรณ์แบบปลั๊กโฟล..... 29
2.6.4 ถังปฏิกรณ์แบบ high rate..... 30
2.6.5 Anaerobic filtration..... 32
2.6.6 Anaerobic contact process..... 33
2.6.7 การผลิตกรดระเหยจากถังปฏิกรณ์..... 35
2.7 การย่อยสลายสารตั้งต้นสถานะของแข็งและกึ่งของแข็ง..... 36
2.7.1 ถังปฏิกรณ์แบบมีการกวน..... 36
2.7.2 ถังปฏิกรณ์แบบ 2 ขั้นตอน..... 37
2.7.3 การหมักแบบแห้ง..... 37
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สมีเทน..... 38
2.8.1 อุณหภูมิ..... 38
2.8.2 พีเอช..... 39
2.8.3 การกวนผสม..... 40
2.8.4 อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน..... 40
2.8.5 ธาตุอาหารเสริม..... 42
2.8.6 สารพิษ..... 43
2.8.6.1 สารพิษอินทรีย์..... 43
2.8.6.2 สารพิษอนินทรีย์..... 44
2.8.6.3 ยาปฏิชีวนะ..... 44
2.9 คุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ..... 44
2.9.1 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ..... 44
2.9.2 แก๊สอื่น ๆ ที่พบในปริมาณเล็กน้อย..... 47
2.9.3 การละลายของแก๊สในน้ำ..... 48
2.9.4 ความหนาแน่นของแก๊สชีวภาพ..... 48
2.9.5 จุดวิกฤต..... 49
2.9.6 อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดประกายไฟได้เอง..... 50
2.9.7 ความเร็วของเปลวไฟ..... 51
2.9.8 ข้อจำกัดของความสามารถในการเกิดเปลวไฟ..... 52

2.9.9 คุณสมบัติการกัดกร่อนขององค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ..... 53
3 สมมติฐานการย่อยของของแข็งเป็นแก๊สชีวภาพ..... 54
3.1 สมมติฐานการเกิดปฏิกิริยาของกลุ่ม hydrolytic bacteria..... 54
3.2 สมมติฐานการเกิดปฏิกิริยาของกลุ่ม Acidogenic bacteria..... 56
3.3 สมมติฐานการเกิดปฏิกิริยาของกลุ่ม Methanogenic bacteria..... 57
4 เครื่องมือและการทดลอง..... 33
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 58
4.1.1 อุปกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ..... 58
4.1.2 อุปกรณ์ระดับขยายขนาด..... 60
4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง..... 63
4.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง..... 63
4.4 การศึกษาปริมาณของของแข็งที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สมีเทน..... 64
4.5 ศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง..... 65
4.6 ศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ไหลเวียนที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ..... 65
5 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 67
6 สรุปผลการทดลอง..... 109
รายการอ้างอิง..... 110
ภาคผนวก..... 114
ประวัติผู้เขียน..... 131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความจำเพาะของ methanogens ต่อสารตั้งต้นและไซโตรโครม.....	7
2.2	ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของเซลลูโลส และ เพกติน โดยวิธี pure culture.....	14
2.3	Interspecies ของการถ่ายเทไฮโดรเจน.....	16
2.4	ความสัมพันธ์อัตราส่วนของ คาร์บอน/ไนโตรเจน.....	42
2.5	ความเข้มข้นของการกระตุ้นและยับยั้งของโลหะอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ท ที่มีประจุบวก.....	43
2.6	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Henry' constant และ องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ละลายน้ำได้.....	45
2.7	ความหนาแน่นของแก๊สชีวภาพที่มีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณต่าง ๆ กัน.....	49
2.8	จุดวิกฤตของแก๊สชนิดต่าง ๆ.....	49
2.9	เปรียบเทียบการวัดค่า MAIT ของแก๊สมีเทนในอากาศ.....	50
2.10	ความเร็วของเปลวไฟของแก๊สชนิดต่าง ๆ.....	51
5.1	องค์ประกอบทางเคมีของแปลือกมันฝรั่ง	67
5.2	ผลของปริมาณของแข็งต่อการผลิตแก๊สมีเทน.....	87
5.3	ผลของปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นต่อการผลิตแก๊สมีเทน.....	90
5.4	ผลของการหมุนเวียนของเหลวต่อการผลิตแก๊สมีเทน.....	95
5.5	ค่า K_g ในการทดลอง.....	103
5.6	ค่า K_g จากการทดลอง.....	104
ข.1	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 3 %.....	125
ข.2	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 4%.....	126
ข.3	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 5 %.....	127
ข.4	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 6 %.....	128
ข.5	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 7 %.....	129

ข.6 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 8 %..... 130
ข.7 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 10 %..... 131
ข.8 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 12 %..... 132
ข.9 ผลการทดลองที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น 40,000 mg/l..... 133
ข.10 ผลการทดลองที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น 60,000 mg/l..... 134
ข.11 ผลการทดลองที่อัตราการหมุนเวียน 1.47 ลิตร/ลิตรปริมาตรทำงาน/วัน.... 135
ข.12 ผลการทดลองที่อัตราการหมุนเวียน 2.94 ลิตร/ลิตรปริมาตรทำงานน/วัน... 136
ข.13 ผลการทดลองที่อัตราการหมุนเวียน 4.41 ลิตร/ลิตรปริมาตรทำงาน/วัน.... 137

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงการรีดักชันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สมีเทน.....	10
2.2	ลำดับการเกิดเมตาบอลิซึมในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	12
2.3	เครื่องปฏิกรณ์ครั้งคราวแบบทรงกระบอก.....	21
2.4	เครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่โดยใช้ปั๊มควบคุม.....	22
2.5	digester ในประเทศอินเดีย.....	24
2.6	digester ในประเทศเกาหลี.....	24
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในถังหมักและการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	25
2.8	เครื่องปฏิกรณ์แบบมีใบพัดกวน.....	26
2.9	อุณหภูมิที่ใต้ผิวดิน.....	27
2.10	septic tank แบบ Imhoff.....	28
2.11	septic tank ที่ต่อแบบอนุกรม.....	28
2.12	เครื่องปฏิกรณ์แบบปล็อกโฟล.....	29
2.13	เครื่องปฏิกรณ์ปล็อกโฟลแบบ Hog farmer.....	29
2.14	เครื่องปฏิกรณ์แบบ high rate.....	30
2.15	เครื่องปฏิกรณ์ high rate แบบ Conethard.....	31
2.16	Anaerobic filter.....	32
2.17	Anaerobic contact ต่อแบบอนุกรม.....	34
2.18	Anaerobic contact แบบถังตกตะกอนแยกส่วน.....	34
2.19	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	41
2.20	อัตราส่วนของมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศในการลุกติดไฟ.....	52
4.1	ชุดการทดลองปริมาตรทำงาน 1 ลิตร.....	59
4.2	ชุดการทดลองปริมาตรทำงาน 170 ลิตร.....	61
4.3	แก๊สมิเตอร์.....	62
5.1	ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 3 %.....	69

5.2 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 4 %..... 71
5.3 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 5 %..... 73
5.4 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 6 %..... 76
5.5 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 7 %..... 78
5.6 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 8 %..... 81
5.7 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 10 %..... 83
5.8 ผลการทดลองที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 12 %..... 85
5.9 ผลการเปรียบเทียบการย่อยสลายสารตั้งต้นที่ 3-12 %..... 88
5.10 ผลการเปรียบเทียบการผลิตแก๊สชีวภาพกับปริมาณสารตั้งต้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน..... 90
5.11 ผลการทดลองที่ปริมาณ seed 40,000 มก./ลิตร..... 91
5.12 ผลการทดลองที่ปริมาณ seed 60,000 มก./ลิตร..... 93
5.13 ผลการทดลองที่มีปริมาณน้ำหมุนเวียน 250-300 ลิตร/วัน..... 96
5.14 ผลการทดลองที่มีปริมาณน้ำหมุนเวียน 550-600 ลิตร/วัน..... 98
5.15 ผลการทดลองที่มีปริมาณน้ำหมุนเวียน 750-800 ลิตร/วัน..... 100
5.16 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วน COD/VFA ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำที่ค่าต่าง ๆ. 102
5.17 ผลการเปรียบเทียบการย่อยสลายที่อัตราการหมุนเวียนน้ำที่ค่าต่าง ๆ..... 104
5.18 การเปรียบเทียบการย่อยสลายของแข็งในระบบจริงกับค่าที่คำนวณได้จากสมมติฐาน..... 107