รายงานการวิจัย
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน

SCREENING AND PRODUCTION OF GRANULAR ANAEROBIC MICROORGANISMS FOR PIGGERY WASTEWATER TREATMENT IN ANAEROBIC CONDITION

โดย

ฐปน ชื่นบาล ศิราภรณ์ ชื่นบาล มธุรส ชัยหาญ

2551

รายงานการวิจัย
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน

SCREENING AND PRODUCTION OF GRANULAR ANAEROBIC MICROORGANISMS FOR PIGGERY WASTEWATER TREATMENT IN ANAEROBIC CONDITION

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550
จำนวน 270,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายฐปน ชื่นบาล
ผู้ร่วมโครงการ นางศิราภรณ์ ชื่นบาล
นางสาวมธุรส ชัยหาญ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
15 / 7 / 2551

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย ตลอดจนนักศึกษาทุกคนในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือ ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฟาร์มสุกร ภาคเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการอนุเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มสุกร

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนวิจัยและการสนับสนุนโครงการวิจัย ประจำปี 2550 ในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2551

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	1
คำนำ	4
วัตถุประสงค์	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	6
ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	6
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	8
ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร	16
วัสดุและอุปกรณ์	19
วิธีการทดลอง	22
ผลการทดลอง	26
วิจารณ์ผลการทดลอง	55
สรุปผลการทดลอง	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่าง ๆ ในแต่ละวัน	7
2	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	7
3	มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	8
4	ชุดการทดลองของการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่คัดเลือก	24
5	แหล่งที่มา ลักษณะของตัวอย่าง และจำนวนไอโซเลตที่คัดแยกได้	26
6	ลักษณะรูปร่างโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์	29
7	การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธี Gram's staining	32
8	คุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	35
9	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต	36
10	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลต ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	39
11	ชุดการทดลองของการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่คัดเลือก	45
12	ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อในรูปเซลล์แขวนลอย	45
13	ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	50
14	ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน	51
15	ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	53
16	ประสิทธิภาพของการใส่เชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ทุก 14 วันในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะและจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	35
2	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต	37
3	ผลของเทคนิคการ cross streak	38
4	ผลของเทคนิค Agar disc diffusion ที่เกิดวงใสรอบเปเปอร์ดิสก์	38
5	ค่าการดูดกลืนแสงของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลตที่ระยะเวลาต่าง ๆ	40
6	ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-2 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า	41
7	ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-2	41
8	ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-3 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า	42
9	ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-3	42
10	ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-7.1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า	43
11	ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-7.1	43
12	ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย BP1-7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า	44
13	ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย BP1-7	45
14	ประสิทธิภาพของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์แขวนลอย บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรภายหลังการบำบัด 21 วัน	46
15	การต่ออุปกรณ์ของชุดการทดลอง	46
16	ค่า TS ภายหลังการบำบัดโดยเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	47
17	ค่า TVS ภายหลังการบำบัดโดยเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	47
18	ค่า SS ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	48
19	ค่า COD ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	49

ภาพที่		หน้า
20	ค่า FCOD ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	49
21	ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด	50
22	ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อในปริมาณแตกต่างกัน	51
23	23 ปริมาตรก๊าซที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อ ในปริมาณแตกต่างกัน	52
24	ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	53
25	ปริมาตรก๊าซที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	53
26	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการใช้เชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ในระยะเวลา 30 วัน	54

การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน

SCREENING AND PRODUCTION OF GRANULAR ANAEROBIC MICROORGANISMS FOR PIGGERY WASTEWATER TREATMENT IN ANAEROBIC CONDITION

ฐปน ชื่นบาล ศิราภรณ์ ชื่นบาล มธุรส ชัยหาญ

TAPANA CHEUNBARN SIRAPORN CHEUNBARN MATHUROT CHAIHARN

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่นำมาผลิตจุลินทรีย์แบบเม็ดได้ทำการคัดแยกจากแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำเสียฟาร์มสุกร ลำไส้สุกร และดิน จำนวน 67 ไอโซเลต จากนั้นคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยศึกษาประสิทธิภาพการลดค่าเอฟซีโอดี (FCOD), ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งระเหยได้ (TVS) และของแข็งแขวนลอย (SS) ของตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่า จุลินทรีย์จำนวน 4 ไอโซเลต ได้แก่ S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด เมื่อศึกษาสภาวะการเจริญร่วมกันของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ไอโซเลต S5-3 ไม่สามารถเจริญร่วมกับ S5-2 และ BP1-7 ได้ เมื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ไอโซเลต พบว่า S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 มีอัตราการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 22, 26, 32, และ 22 ตามลำดับ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลต S5-2, S5-3, S5-7.1, BP1-7 และ เชื้อผสม (เชื้อ S5-2+S5-7.1+BP1-7) พบว่า จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลากักเก็บ 21 วันได้สูงที่สุด คือ เชื้อไอโซเลต S5-2 ลดค่า COD, FCOD, SS และ TS ได้ 68, 82, 67 และ 86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือ เชื้อไอโซเลต S5-7.1 ลดค่า COD, FCOD, SS และ TS ได้ 67, 69, 76, 66 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลต S5-2 และ S5-7.1 มาทำให้อยู่ในรูปแบบเม็ด และนำไปบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยเติมจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร พบว่า เชื้อ-

จุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ด 15 กรัมต่อลิตร สามารถลดค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD ได้ 76.1, 97.7, 98.0, 81.3 และ 73.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถผลิตก๊าซได้ 644.2 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ จากนั้นทำการศึกษาระยะเวลาการเติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดของเชื้อไอโซเลต S5-2 ที่ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร โดยเติมเชื้อทุก 7, 14 และ 30 วัน ในน้ำเสีย 6 ลิตร พบว่า การเติมเชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดทุก 14 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรดีที่สุด โดยสามารถลดค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD ได้ 71.2, 83.9, 76.9, 80.0 และ 73.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 878.8 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ด 15 กรัมต่อลิตร ซึ่งเติมเชื้อทุก 14 วัน นาน 30 วัน โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 12 ลิตร พบว่า สามารถในการลดค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD ได้ 69.1, 82.3, 79.4, 77.5 และ 68.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถผลิตก๊าซได้ถึง 721.3 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้

ABSTRACT

The main objective of this research was to screen and produce granular anaerobic microorganisms for piggery wastewater treatment in anaerobic condition. Microorganisms for granular form production were screened from natural water, piggery wastewater, pig intestines and soil. A total of sixty-seven isolates were initially found to be capable of treating wastewater and as indicated by the reduction in FCOD, TS, TVS and SS of the sample wastewater from the piggery, four microbial isolates were selected, S5-2, S5-3, S5-7.1 and BP1-7, were found to be highly capable of treating wastewater. Afterwards, the study on growth condition indicated that S5-3 isolates was unable to growth when combined with S5-2 and BP1-7. When the growth rates of these isolates were studied, results showed these four isolates exhibited the highest growth at the 22nd, 26th, 32nd and 22nd hours, respectively.

The efficiency of piggery wastewater treatment using suspended cell S5-2, S5-3, S5-7.1 and BPI-7 and mixed cultures (S5-2+S5-7.1+BP1-7) was studied. S5-2 isolate was showed the highest efficiency in wastewater treatment during the retention time (21 days) in reducing COD, FCOD, SS, TS and TVS at 68, 72, 82, 67 and 86 percent,

respectively. S5-7.1 isolate reduced COD, FCOD, SS, TS and TVS at 67, 69, 76, 66 and 83 percent, respectively.

When bacterial isolates S5-2 and S5-7.1 were transformed into granular form and then used to treat piggery wastewater by adding the amount of granular microorganisms at 5, 10 and 15 g/L. The results showed that granular S5-2 at 15 g/l was most efficient in treating piggery wastewater in reducing TS, TVS, SS, COD and FCOD (76.1, 97.7, 98.0, 81.3 and 73.8 percent, respectively), and also produce biogas at 644.2 L/kg-TVS.

After that, the interval time to add 15 g/l of granular microorganisms in 6 L of wastewater at every 7, 14, and 30 day was studied. The results showed that the interval time of 14 day was the best results in reducing TS, TVS, SS, COD, and FCOD (71.2, 83.9, 76.9, 80.0, and 73.9 percent), and also produce biogas at 878.8 L/kg-TVS. Furthermore, the results show that 15 g/l of granular S5-2, adding every 14 days, 12 L of wastewater could reduce TS, TVS, SS, COD, and FCOD at 69.1, 82.3, 79.4, 77.5, and 82.2 percent, respectively, and also produce biogas at 721.3 L/kg-TVS.

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในทุกประเทศ ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก ทำให้มีปริมาณของเสียที่เกิดจากฟาร์มปศุสัตว์มากด้วย ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วยเศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอก ก๊าซต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากกการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้ว ของเสียดังกล่าว นอกจากจะทำให้น้ำเสียมีความสกปรกสูงแล้ว ยังทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นและแมลงรบกวนอีกด้วย

สุกรถือเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง มีการเลี้ยงทั้งระดับเกษตรกรรายย่อยและการเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรม ของเสียที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณมาก การนำของเสียมาหมักในสภาวะไม่ใช้อากาศ เป็นการกำจัดของเสียทางเลือกหนึ่งที่มีผู้นิยมนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งนอกจากจะทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นแล้วยังมีการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งนำไปใช้เป็นพลังงานได้ด้วย การบำบัดแบบนี้เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง และไม่ผลิตตะกอนในระบบมากจนเป็นภาระในการกำจัดต่อไป แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีสารอินทรีย์เหลืออยู่มาก ทำให้มีปัญหาในการบำบัดขั้นต่อไป ฟาร์มสุกรบางแห่งปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการหมักจากบ่อหมักออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย กลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และมีการร้องเรียนตามมา ในปัจจุบันกรมควบคุมมลพิษจึงได้มีการควบคุมให้ฟาร์มสุกรต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ ก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม การศึกษานี้จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน มาผลิตเป็นจุลินทรีย์แบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้น การใช้งานสะดวก และช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในสภาวะไร้ออกซิเจน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในสภาวะไร้ออกซิเจน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในสภาวะไร้ออกซิเจน
2. เป็นแนวทางในการนำเชื้อจุลินทรีย์ไปใช้บำบัดน้ำเสียอื่น และประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสุกร ทั้งในระดับเกษตรกรรายย่อยและในระดับอุตสาหกรรม

การตรวจเอกสาร

ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในฟาร์มสุกรของเสียเกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ คือ เศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอก ตกค้าง ก๊าซต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้ว ปริมาณของสิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของฟาร์มหรือจำนวนสัตว์ยืนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาด ชนิดของสัตว์ และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอก และปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง/ทำความสะอาด โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวันจะแตกต่างกัน ตามขนาดของสุกรด้วย เช่น แม่สุกรกับสุกรขุนที่มีน้ำหนักเท่ากัน คือ 90-120 กิโลกรัม จะขับถ่าย ของเสียเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบกับการขับถ่าย ของสัตว์ชนิดอื่น ปรากฏว่าสุกรขับถ่ายมากกว่าม้าและโค กระบือ ถึงสองเท่า (เมื่อคิดต่อหน่วย น้ำหนัก) (นิพนธ์, 2526) ขณะที่กรมปศุสัตว์ (2533) รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณ มวลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อมและการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ซึ่ง ลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป แสดงไว้ดังตารางที่ 2

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปบีโอดี และธาตุอาหาร (ธงชัย ,2544) ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ จะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชั่น จากกการมีธาตุอาหาร ไนโตรเจน และ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิด ในประเทศไทยพบปัญหายูโทรฟิเคชัน หรือแอลจี หรือสาหร่ายสะพรั่ง หรือที่เรียกกันว่า ขี้ปลาวาฬ ในหลายพื้นที่แล้ว เช่น ที่ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา บึงแก่นนคร (ขอนแก่น) และเมื่อต้นปี พ.ศ. 2543 ก็ได้เกิดปัญหาแพลง ตอนพืชสะพรั่งขึ้น ที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ กินบริเวณกว้างกว่า 3 กิโลเมตรตามชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำ (ธงชัย, 2544) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการควบคุมการปล่อยน้ำเสีย จากฟาร์มสุกร โดยกรมควบคุมมลพิษเพื่อให้มีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดี ก่อนปล่อยสู่ สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งมีค่ากำหนดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่าง ๆ ในแต่ละวัน

ชนิดสัตว์ที่ขับถ่าย	นน.ตัว (กก.)	ความชื้น (%)	ปริมาตร (ลิตร/วัน)
โคนม	450-650	90	57
โคเนื้อ	200-450	90	27
แม่สุกรท้องว่าง	90-120	90	4
สุกรขุน อาหารแห้ง	90-120	90	12
สุกรขุน อาหารเหลว (4:1)	40-75	90	4
ไก่ไข่ (1000 ตัว)			
-มูลสด	2000	70	115
-มูลแห้ง	2000	30	49
ไก่เนื้อ (1000 ตัว)			
มูล + วัตถุรองพื้น	1000	30	36

ที่มา : http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
อัตราการเกิดน้ำเสีย	10 – 20 ลิตร/ตัว/วัน
บีโอดี	1,500 – 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร
ซีโอดี	4,000 – 7,000 มิลลิกรัม/ลิตร
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	2,000 – 4,800 มิลลิกรัม/ลิตร
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	400 – 800 มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	8 – 17 มิลลิกรัม/ลิตร
ความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช	6 - 8

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546

ตารางที่ 3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าสูงสุด	
		ประเภท ก.	ประเภท ข.
ความเป็นกรดและด่าง	-	5.5-9	5.5-9
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	60	100
ซีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	400
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	150	200
ทีเคเอ็น	มิลลิกรัมต่อลิตร	120	200

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, พ.ศ.2546

หมายเหตุ : ประเภท ก ฟาร์มขนาดใหญ่ (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)
ประเภท ข ฟาร์มขนาดกลาง (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรในช่วง 500 – 5,000 ตัว)

เมื่อของเสียจากฟาร์มที่มีสารอินทรีย์ในระดับสูงไหลลงแหล่งน้ำ จะมีกลไกทางธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำถูกใช้ในการย่อยสลาย และสารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ จะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์เชิงเดี่ยวจำพวก CO_2, NO, SO_4, PO_4- และสารอื่น ๆ ออกซิเจนจึงน้อยลงตามลำดับจนหมด ส่งผลให้ปลา/สัตว์น้ำอื่น ๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อชีวิตและตายในที่สุด การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมอิสระหรือแอมโมเนียมไอออน (NH_3/NH_4+) ก็เพิ่มการใช้ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย เพื่อเปลี่ยน NH_3/NH_4+ เป็นไนไตรท์ (NO_2-) และไนเตรท (NO_3-) ในขบวนการ Nitrification ส่วน Blue-green algae ที่ได้รับไนโตรเจนสูงในน้ำที่ไหลช้า สามารถเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบบำบัดที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกร แต่ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมาเรื่อย ๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ ๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน (เกรียงศักดิ์, 2539) เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงานและยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงาน

ความร้อนได้อีกด้วย (สุวิมล, 2548) ซึ่งกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) หมายถึง การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มักหมายถึงการย่อยแบบไม่ใช้อากาศนั่นเอง ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนนี้เสมอ (สุชาติ, 2536)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการประกอบด้วยก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ดังสมการ (1)

$$\text{ORGANIC MATTER} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_2 + H_2S \text{ ----------(1)}$$

ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการการแตกสลายโพลีเมอร์ (Polymer Break-Down) ในขั้นนี้เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน ในกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น ยังไม่มีการลด COD (เพ็ชรพร, 2538)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนอิสระ (Facultative Bacteria) ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยกระบวนการเฟอร์เมนเตชัน (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดโวลาไทล์ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวทาริค (Butaric Acid) กรดวาเลริค (Valeric Acid) แบคทีเรียจำพวกนี้เรียกว่า

แบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid Former หรือ Non-Methanogenis Bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และสภาพแวดล้อมของปฏิกิริยาด้วย (เพ็ชรพร, 2538)

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้มีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง 2 ประเภท คือ พวกที่สามารถดำรงชีพในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจนได้ (Facultative Anaerobic Bacteria) และอีกประเภทหนึ่งคือพวกที่สามารถดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจนเลย (Obligate Anaerobic Bacteria) ซึ่งพบมากกว่าพวกแรก การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถเกิดได้ 2 ที่คือ

- การย่อยสลายภายนอกเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์นี้จะเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียพวก Fermentative Bacteria ซึ่งจะปล่อยเอนไซม์ออกจากเซลล์ เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและลิควิทแฟรคชันกับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ให้อยู่ในรูปที่เซลล์ของแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ตัวอย่างเช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจะถูกย่อยสลายเป็น กรดอะมิโน กลูโคส และกรดไขมันตามลำดับ

- การย่อยสลายภายในเซลล์

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ผ่านการย่อยสลายภายนอกมาแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย เพื่อทำการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งผลผลิตสุดท้ายจะได้กรดระเหยง่ายโมเลกุลต่ำ เช่น พวกกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก เป็นต้น ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกรดเรียกว่า อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้ จะไม่มีการลดภาระสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำเสีย แต่เมื่อการสร้างไฮโดรเจน อิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับไฮโดรเจนไอออนเปลี่ยนเป็นก๊าซออกจากระบบ ทำให้สภาวะออกซิเดชันลดลง ซึ่งเป็นการลดภาระสารอินทรีย์ดังสมการ (2)

$$2e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2 \text{ ---------- (2)}$$

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสับสเตรต (Substrate) เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิกไฮโดรเจน เมทานอล และเมทธิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรตในการผลิตมีก๊าซเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะ

ซิติก และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า $2x10^{-3}$ บรรยากาศ และต่ำกว่า $9x10^{-3}$ บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทาริกและกรดโพรพิโอนิก (สุบัณฑิต, 2548)

กรดโวลาไทล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acedogenesis) ให้เป็นอะซิเตท (Acetate), ฟอร์เมท (Formate), ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียโฮโมอะซิโตเจนิก (Homoactogenic Bacteria) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดโวลาไทล์ และไฮโดรเจน ในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งการสร้างก๊าซมีเทนได้ (เพ็ชรพร, 2538)

แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Forming Bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้อาจรวมเรียกได้ว่า เป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non - Methanogenic Bacteria) (เพ็ชรพร, 2538)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิค และกรดอะซิติก ซึ่งเป็นผลปฏิกิริยาของแบคทีเรียสร้างกรดและไฮโดรเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะทำหน้าที่ย่อยสลายผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ อันได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์และอื่น ๆ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดภาระสารอินทรีย์และได้ก๊าซมีเทนขึ้น กลไกการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาชีวเคมีของการย่อยกรดอะซิติกดังสมการ (3)

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \text{ ---------- (3)}$$

นอกจากนี้ยังมีก๊าซมีเทนเกิดมาจากปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่าง ไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ (4)

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \text{ ---------- (4)}$$

ในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนี้พลังงานที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทน (เพ็ชรพร, 2538)

แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิดตามชนิดของสารตั้งต้น ดังนี้คือ

1. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก (Obligate Acetoclastic methanogen) คือ แบคทีเรียที่สามารถใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานได้เพียงสารเดียว ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติกแสดงดังในสมการ (5)

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3 \text{ ---------- (5)}$$

2. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen) คือ แบคทีเรียที่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งของพลังงาน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเรียกว่าแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2 Utilizer) ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน แสดงในสมการ (6)

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 32.4 \text{ kcal } \text{----------(6)}$$

แบคทีเรียชนิดนี้นอกจากสามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนแล้ว ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่ายดังสมการ (7)

$$HCOOC \longrightarrow CO_2 + H_2 \text{ ----------(7)}$$

3. แบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนหรือกรดอะซิติก (Hydrogenotrophic/ Acetoclastic Methanogen) คือ แบคทีเรียที่สามารถใช้ทั้งกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซมีเทน แต่อย่างไรก็ตามแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความชอบใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นมากกว่าใช้กรดอะซิติก (สุบัณฑิต, 2548)

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เนื่องจากกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบไปด้วยแบคทีเรียสองกลุ่ม ทำงานอย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่ทำให้จุลชีพเหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งนอกจากจะต้องรักษาระบบให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน เป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายครั้งนี้ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบควรมีความผันแปรไม่เกิน ± 5% ตัวอย่างเช่น ถังย่อยสลายแบบที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงจะต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 50 – 65 °C และอุณหภูมิ 52 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายมากที่สุด และถังย่อยสลายแบบอุณหภูมิปานกลางซึ่งต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 30 – 35 °C (สุบัณฑิต, 2548)

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30 – 40 องศาเซลเซียส สำหรับพวก Mesophile และ 45 – 55 องศาเซลเซียส สำหรับพวก Thermophile (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์จะเร็วขึ้น อัตราการเจริญเติบโตก็เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มสูงเกินกว่าที่เซลล์ทำงานได้ โปรตีน กรดนิวคลีอิก และส่วนประกอบของเซลล์หลายส่วนจะถูกทำลายจนไม่อาจกลับคืนสภาพได้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจึงเพิ่มการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์ได้จนถึงอุณหภูมิหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านั้น การทำงานและการเจริญเติบโตจะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็วมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2. พีเอช

ความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ การย่อยสลายของแบคทีเรียในถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน ถ้าค่าพีเอชมีค่าที่ไม่เป็นกลางการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้งทำให้ระบบการย่อยสลายทั้งระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมพีเอชอาจจะต้องมีการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาวหรือโซดาไฟหรือโซเดียมคาร์บอเนต (สุบัณฑิต, 2548)

จุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอชช่วงหนึ่ง ค่าพีเอชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดก็จะอยู่ในช่วงนี้ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มักมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอช 5–10 เพราะสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ในธรรมชาติมักมีพีเอชอยู่ในช่วง 5–10 จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่พีเอชต่ำกว่า 5 เรียกว่า Acidophiles เช่น ราและแบคทีเรียบางชนิด ส่วนพวกที่เจริญเติบโตได้ที่พีเอช 10–11 เรียกว่า Alkaliphiles พีเอชที่เหมาะสมต่อกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนควรอยู่ระหว่าง 6.8–7.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

3. กรดไขมันระเหยและสภาพด่าง

โดยปกติ กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid : VFA) ในถังบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดีควรมีค่าประมาณ 20-200 มก.กรดอะซิติก/ลิตร กรดไขมันระเหยที่สะสมจนมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับที่กล่าว แสดงว่าระบบมีแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนน้อยเกินไปหรือแสดงว่าแบคทีเรียสร้างกรดผลิตกรดกรดไขมันระเหยได้เร็วเกินไป กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุล เพราะทำให้พีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียสร้างกรด แม้ว่าแบคทีเรียสร้างกรดจะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนก็ตาม สังเกตได้จากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถอยู่ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า ดังนั้นสภาพด่างจึงแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งจะรักษาระบบให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยได้ โดยทั่วไปกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนควรมีสภาพด่าง (Alkalinity) ประมาณ 1,500–2,000 มก./ล สำหรับย่อยสลัดจ์หรือน้ำเสียเข้มข้นปริมาณสภาพด่างที่พอเพียงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ COD ที่ย่อยสลายได้นอกจากจะดูสภาพด่างแล้ว ยังต้องพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกต่อสภาพด่างด้วย โดยค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างสูงกว่า 0.8 แล้ว แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำ ควรหาสาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนสูงขึ้นและแก้ไข เพราะพีเอชมีแนวโน้มลดลงจนระบบอาจล้มเหลวได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

4. ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time) คือระยะเวลากักน้ำของระบบเป็นระยะเวลาที่แบคทีเรียสัมผัสกับน้ำเสีย การลดระยะเวลาการกักน้ำเสียจะทำให้ขนาดของถังปฏิกรณ์ลดลง แต่หากระยะเวลากักน้ำน้อยเกิดไปตะกอนแบคทีเรียจะหลุดออกมาจากระบบมาก

ซึ่งเป็นผลให้ค่าอายุตะกอนลดลงและทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ลดลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

5. สารพิษ (Toxicants)

สารพิษที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ซัลไฟด์มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน นอกจากนั้นพบว่ามีสารพิษอีกหลายชนิดที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่ทำให้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลวได้ และการตรวจวัดความล้มเหลวของระบบดังกล่าวสามารถดูจากปริมาณก๊าซมีเทนที่ลดลง และปริมาณของกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายสูงขึ้น เนื่องจากสารพิษจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถเปลี่ยนสารโมเลกุลใหญ่ชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสียไปเป็นกรดที่ระเหยง่าย (Volatile Acid) และเปลี่ยนจากกรดที่ระเหยง่ายไปเป็นกรดอะซิติก เพราะแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม (แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนและแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์) สามารถใช้กรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนได้ แต่ถ้ามีปริมาณกรดอะซิติกจำนวนน้อยจะทำให้แบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์เอาชนะแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนได้ เพราะแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์มีความสามารถในการจับสารตั้งต้น หรือตัวให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นถ้ากรดอะซิติกในระบบเกิดขึ้นในปริมาณน้อย จะทำให้ขั้นตอนสุดท้ายในถังย่อยสลายแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และทำให้ระบบล้มเหลวได้ (สุบัณฑิต, 2548) และถ้าพบว่าปริมาณสารพิษมากเกินไปจะมีผลต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง (ลด BOD) (เกรียงศักดิ์, 2542)

6. พิษของซัลไฟด์

ซัลไฟด์เกิดจากรีดักชันของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำกระแสเข้า และในการสลายตัวของโปรตีนปฏิกิริยาเมทาบอลิซึมของกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้งซึ่งนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ (ธีระ, 2539) ถ้าปริมาณของซัลไฟด์ในระบบมีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่ง ซัลไฟด์จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน ไม่ว่าซัลไฟด์นั้นจะมาจากน้ำเสียที่เข้าระบบหรือการย่อยสลายของซัลเฟตก็ตาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอิออนบวกในระบบด้วย เพราะถ้าในระบบมีโลหะหนักซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักแล้วตกตะกอนผลึกลงมา ทำให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ลดระดับความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนลงได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

7. อัตราการสร้างก๊าซมีเทน

อัตราการสร้างก๊าซมีเทนเป็นเครื่องวัดกิจกรรมของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน และเป็นสิ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้ามีอัตราการสร้างก๊าซมีเทนลดลงจะสามารถบ่งบอกเป็นสัญญาณว่า มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (สุบัณฑิต, 2548)

8. ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์

ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กรดอินทรีย์จะเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 หรือขั้นตอนการทำให้เกิดกรด (Acidogenesis) และเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) ดังนั้นถ้าปริมาณของกรดอินทรีย์มีอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าปกติ จะทำให้บ่งชี้ได้ว่าขั้นตอนของปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนถูกยับยั้ง หรือสัญญาณบ่งบอกถึงการไม่สมดุลของกระบวนการย่อยสลายในระบบ ซึ่งจะทำให้ระบบบำบัดล้มเหลวได้ ปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในรูปของกรดอะซิติกในระบบที่ดีจะอยู่ในช่วง 200 – 400 มิลลิกรัม/ลิตร (สุบัณฑิต, 2548)

9. สารอาหารจำเป็นสำหรับการสร้างเซลล์จุลินทรีย์

ปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะให้ปริมาณจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยกว่าระบบที่ใช้ออกซิเจนมาก ดังนั้นจึงมีปัญหาในการจัดการตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า (เพ็ชรพร, 2538)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร

ปัจจุบันมีรายงานการวิจัยด้านการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดที่ได้รับการพัฒนามากขึ้นด้วยวิธีการการบำบัดทางชีวภาพกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียทางธรรมชาติที่อาศัยการทำงานของสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น และนอกจากกระบวนการบำบัดจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นแล้ว ผลพลอยได้อีกประการหนึ่งคือ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานชนิดอื่นได้ด้วย ดังการศึกษาของนิภาพร และพิชญ์รัตน์ (2005) ที่ศึกษาการนำมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ โดยผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เป็นการช่วยลดปัญหากลิ่นเหม็นและก๊าซพิษ แหล่งเพาะเชื้อโรคและมลภาวะสิ่งแวดล้อม เป็นการจัดการปัญหามลภาวะอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

และพลังงานที่ได้สามารถใช้ภายในฟาร์ม ทำให้เกิดรายได้หมุนเวียน มีการสร้างและใช้พลังงานทดแทนได้อย่างสม่ำเสมอ ส่วนมูลสุกรที่เหลือจากการหมัก สามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้อย่างดี หรือจำหน่ายเป็นรายได้แก่ฟาร์มได้อีกด้วย

Deng *et. al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและการบำบัดขั้นสุดท้ายของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยการใช้กระบวนการ IC – SBR (Internal Circulation (IC) Anaerobic Reactor and Sequencing Batch Reactor (SBR)) พบว่าการใช้ระบบ IC สามารถลด COD ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ การปล่อยให้เกิดการย่อยสลายด้วยตัวเองในการบำบัดขั้นสุดท้ายสามารถลด COD ได้เพียง 7.54 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ SBR ในการบำบัดขั้นสุดท้ายพบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่า COD น้อยกว่า 300 มิลลิกรัม/ลิตร ในการใช้ IC และ SBR ร่วมกันสามารถลด COD, BOD, NH_3-N และ TN ได้ 95.5, 99.6, 99.4 และ 94.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้เวลาเพียง 5 – 6 วัน

RA *et. al.* (1999) ได้ทำการศึกษาการลดสารที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยเทคนิคทางชีววิทยา โดยในกระบวนการทดลองนี้ได้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณ 96, 97 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Imbeah (1998) ได้ทำการศึกษาส่วนผสมต่าง ๆ ที่มีในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรประกอบไปด้วยมูลสุกร, น้ำปัสสาวะ, น้ำเสียต่าง ๆ เช่น น้ำเสียจากการล้างคอกสุกร, น้ำเสียจากการล้างตัวสุกร และตะกอนจากบ่อน้ำหรือทะเลสาบ รวมไปถึงซากของสุกรด้วย ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วยไนโตรเจนที่สามารถนำกลับมาใช้ในทางการเกษตรได้

Pagilla *et. al.* (1999) ได้ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยแบ่งออกเป็นสองระบบ คือ ระบบแรกเป็นการบำบัดโดยการใช้แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่มีอุณหภูมิกลางๆแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Control) และระบบที่สองเป็นการบำบัดโดยการใช้แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่มีอุณหภูมิกลาง ๆ แบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับการบำบัดโดยการใช้แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่มีอุณหภูมิสูงแบบใช้ออกซิเจน ในระบบแรกจะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 37 $^{\circ}$C เป็น เวลา 6,10 และ 15 วัน ซึ่งจะได้ TS = 4.3 เปอร์เซ็นต์, VS = 67 เปอร์เซ็นต์, COD = 14,330 มิลลิกรัมต่อลิตร ความหนาแน่นของเชื้อแบคทีเรียในอุจจาระ = 7.2 x 108 MPN/กรัม, TS ; pH = 7.1;2700 มิลลิกรัม $CaCO_3$/ลิตร และในระบบที่สองได้ทำการทดลองเป็นเวลา 6, 10 และ 15 วัน ลด VS เหลือ = 46, 54 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าในระบบที่สอง สามารถลดค่า COD ได้ 56 – 67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดีกว่าในระบบแรก (Control) ที่ลดค่า COD ได้44 – 60 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

Sanchez *et. al.* (2005a) ได้ศึกษาผลของการไหลของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบ SBR แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยศึกษาอัตราการไหลน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในช่วง 1.0 ถึง 8.1 กรัม TCOD/ลิตร/วัน ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 1 กรัม TCOD/ลิตร/วัน ได้ค่า Total COD (TCOD), Total Organic Carbon (TOC), Total Suspended Solid (TSS) และ Volatile Suspended Solid (VSS) คือ 1,205, 513, 306 และ 223 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 2 กรัม TCOD/ลิตร/วัน พบว่าได้ค่า TCOD, TOC, TSS และ VSS เพิ่มขึ้นเป็น 2,141, 815, 692 และ 390 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 4.1 กรัม TCOD/ลิตร/วัน พบว่าได้ค่า TCOD, TOC, TSS และ VSS เพิ่มขึ้นเป็น 4,941, 1,686, 990 และ 548 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่อัตราการไหลของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 8.1 กรัม TCOD/ลิตร/วัน พบว่าได้ค่า TCOD, TOC, TSS และ VSS เพิ่มขึ้นเป็น 6,611, 1,755, 1,223 และ 752 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการไหลของน้ำเสียที่ช้าจะให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงขึ้นในการย่อยสลายโดยระบบ SBR แบบไม่ใช้ออกซิเจน

Sanchez *et. al.* (2005b) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นที่เติมและระยะเวลาในการกักพักชลศาสตร์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในระบบ AFBR (Anaerobic Fixed Bed Reactors) แบบไม่ใช้อากาศในเขตร้อนชื้นโดยใช้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 1-6 วัน ที่ 24.2–30.5 ^{o}C เปรียบเทียบน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 กรัม TCOD/ลิตร ที่การกักพัก 2 วัน พบว่าที่ความเข้มข้น 2–8 กรัม TCOD/ลิตร สามารถลดค่า TCOD, SCOD, TSS และ BOD ได้ดีกว่าที่เวลากักพักชลศาสตร์ที่มากกว่า 2 วัน และที่ความเข้มข้นที่10 และ 12 กรัม TCOD/ลิตร จะต้องใช้เวลาในการกักพักชลศาสตร์มากกว่า 2 วัน จากการทดลองสรุปได้ว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียที่เติมเข้าไปในระบบ AFBR และระยะเวลาในการกักพักชลศาสตร์นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งระยะเวลาในการกักพักชลศาสตร์ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะเติมเข้าระบบบำบัด

วัสดุและอุปกรณ์

การเก็บรวบรวมตัวอย่าง

1. ตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. ตัวอย่างของเหลวในลำไส้ของสุกรจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร จำนวน 3 ส่วน

3. ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติแม่คาว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

4. ตัวอย่างดินในบริเวณฟาร์มเลี้ยงสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ระดับความลึก 5 และ 10 เซนติเมตร

5. ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ส่วนประกอบในการจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด

ดินเหนียว

แกลบดำ

อาหารเลี้ยงเชื้อ

Nutrient Agar

- Peptone (HIMEDIA Labolatories, India)
- Beef extract (HIMEDIA Labolatories, India)
- วุ้น (Agar)

Nutrient Broth

- Peptone (HIMEDIA Labolatories, India)
- Beef extract (HIMEDIA Labolatories, India)

สารเคมี

1. เอธานอล 70 และ 95 เปอร์เซ็นต์ (v/v)
2. ชุดสีย้อมแกรม (gram's stain set) (Bio-Medical Laboratory, ประเทศไทย)
3. emulsion oil (Merck, Germany)
4. โพแทสเซียมไดโครเมต (APS, Australia)
5. กรดซัลฟิวริก (Ajax, Australia)
6. ซิลเวอร์ซัลเฟต (POCH, Poland)
7. 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (Ajax, Australia)
8. ไอออนซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต หรือ เฟอรัสซัลเฟต (APS, Australia)
9. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (APS, Australia)

เครื่องมือวิทยาศาสตร์

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic® GENESYS™ Spectrophotometer, USA)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (BENCH Top Refrigerated centrifuge ยี่ห้อ Sanyo GLLENKAMP PLC รุ่น HARRIER 18/80, United Kingdom)
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (HETTICH รุ่น EBA 12R, Germany)
4. ตู้บ่ม (Oven, ยี่ห้อ Memmert, Germany))
5. ตู้บ่ม (Standard Lab Oven, ยี่ห้อ Binder GMBH รุ่น ED240 (E2), USA)
6. ตู้อบเครื่องแก้ว (Standard Lab Oven, ยี่ห้อ Binder GMBH รุ่น ED115 (E2) , USA)
7. ตู้อบเครื่องแก้ว (High Performance Lab Oven, ยี่ห้อ Binder GMBH รุ่น FD240 (E2) , USA)
8. ตู้แช่แข็ง – 80 องศาเซลเซียส (Chest-type Ult Freezer, ยี่ห้อ Sanyo รุ่น MDF-592, Japan)
9. ตู้เขี่ยเชื้อ (Horizontal type larminar flow, ยี่ห้อ Triwork 2000 รุ่น CLEAN H2-3, ประเทศไทย)
10. กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (Olympus รุ่น UM 500, Japan)
11. พีเอชมิเตอร์ (pH/Ion/Conductivity, ยี่ห้อ WTW รุ่น PP50)
12. เครื่องฆ่าเชื้อความดันไอ (Autoclave, ยี่ห้อ Hirayama รุ่น HVE-50, Japan)
13. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง (OHAUS)
14. ไมโครปิเปตขนาด 100, 200 และ 1,000 ไมโครลิตร
15. โถดูดความชื้น

เครื่องแก้วและวัสดุประจำห้องปฏิบัติการ

1. บีกเกอร์ขนาด 250, 500 และ1,000 มิลลิลิตร
2. ฟลาสก์ (flask) ขนาด 250 500 และ 2,000 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลอง
4. จานเพาะเชื้อ
5. แท่งแก้ว
6. ขวดแก้ว (ยี่ห้อ Duran)
7. ปิเปตแก้วขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
8. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
9. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
10. หลอดไมโครทิวบ์ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
11. ไมโครปิเปตทิปส์
12. ตะเกียงแอลกอฮอล์
13. ห่วงถ่ายเชื้อ
14. เปเปอร์ดิสก์ (paper disc) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร
15. ถาดสแตนเลส
16. หลอดเซนตริฟิวจ์ขนาด 150 มิลลิลิตร
17. ตะแกรงวางหลอดทดลอง
18. กล่องพลาสติก
19. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C
20. หลอดแอมพูล ขนาด 20 x 150 มิลลิเมตร
21. ถ้วยกระเบื้อง (crucible)

วิธีการทดลอง

1. การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์และการทำเชื้อบริสุทธิ์

นำน้ำเสียจากฟาร์มสุกร น้ำเสียจากโรงชำแหละสุกร มูลสุกรในส่วนของลำไส้ ดินบริเวณฟาร์มสุกร และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ใส่ลงในน้ำกลั่น 0.9 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ทำการเจือจางเป็นลำดับขั้น (Serial Dilution) แล้วเลือกระดับการเจือจางที่เหมาะสม 3 ระดับ นำมาเกลี่ย (Spread) บนอาหารแข็งสูตร Nutrient Agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน ทำการคัดเลือกโคโลนีที่แตกต่างกัน นำมาทำให้บริสุทธิ์โดยการขีด (Streak) บนอาหารแข็ง NA จนได้โคโลนีเดี่ยวที่บริสุทธิ์ จากนั้นเก็บเชื้อที่แยกได้บนอาหารวุ้นเอียง (Slant agar) และในกลีเซอรอลที่ -80 องศาเซลเซียส

2. การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้มาเลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient Broth (NB) บ่ม 24 ชั่วโมง ที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่าเท่ากัน จากนั้นปิเปตเชื้อใส่ในตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกร ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด โดยวัดค่า FCOD, TS, TVS และ SS เป็นเวลา 7 วัน ในขั้นตอนนี้จะทำการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด 4 ไอโซเลต เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. การทดสอบคุณสมบัติการเจริญร่วมกันของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลท

ทำการทดสอบคุณสมบัติการเจริญร่วมกันของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลต โดยการศึกษานี้ใช้เทคนิค Cross steak ร่วมกับ Agar disc diffusion ดังนี้

3.1 เทคนิคการ Cross steak โดยการขีดเชื้อ (streak) ลงบนอาหารแข็งสูตร Nutrient agar ในจานเลี้ยงเชื้อ จานละ 2 ไอโซเลท ให้เชื้อทั้งสองทับกันเป็นรูปกากบาท ถ้าเกิดการยับยั้งกันจะสามารถสังเกตเห็นได้จากการขาดของเชื้อที่ขีดไว้ตรงบริเวณจุดตัด

3.2 เทคนิค Agar disc diffusion โดยการป้ายเชื้อ (swab) แต่ละไอโซเลทลงบนอาหารแข็ง Nutrient agar ในจานเลี้ยงเชื้อ นำเปเปอร์ดิสก์ที่มีเชื้อแต่ละไอโซเลทมาวางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้ออีกทีหนึ่ง เพื่อดูการยับยั้ง ซึ่งจะทราบความสามารถในการยับยั้งได้จากบริเวณโซนใส (clear zone) ที่เกิดขึ้นรอบ ๆ เปเปอร์ดิสก์

4. **การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต** (Growth Rate)

นำแบคทีเรียที่ได้ทั้ง 4 ไอโซเลตมาศึกษาอัตราการเจริญเติบโต โดยเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Nutrient Broth (NB) บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วสร้างเส้นโค้งการเจริญเติบโต (Growth Curve)

5. **การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา** (Morphological characteristics) **ของเชื้อทั้ง** 4 **ไอโซเลต**

นำแบคทีเรียที่ได้ทั้ง 4 ไอโซเลตมาศึกษาลักษณะของเชื้อ โดยการ แล้วแตะโคโลนีเดี่ยวที่ได้การศึกษาลักษณะ ของแบคทีเรียนำแบคทีเรียที่เก็บรักษาในกลีเซอรอลมาขีด (Streak) บนอาหารแข็ง NA บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน นาน 24 ชั่วโมง นำแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารแข็งมาเกลี่ย (smear) บนสไลด์ ผึ่งไว้ให้แห้ง นำสไลด์ไปผ่านเปลวไฟ 2-3 ครั้ง เพื่อตรึงเชื้อให้ติดกับสไลด์แน่นขึ้น (heat fix) ทำการย้อมสีแบบแกรม (Gram's staining) โดยย้อมด้วยสี crystal violet ให้ท่วมรอยเชื้อนาน 1-2 นาที เทสีทิ้ง และล้างสีออกด้วยน้ำประปาเบา ๆ แล้วหยดสารละลาย iodine ให้ท่วมสไลด์ ทิ้งไว้นาน 1 นาที เทสารละลายไอโอดีนทิ้ง และล้างด้วยน้ำประปาเบา ๆ ล้างสี crystal violet ออกด้วย acetone alcohol (ethylalcohol + acetone) ประมาณ 5-10 วินาที และล้างด้วยน้ำประปาเบา ๆ ย้อมทับด้วยสี safranin นาน 1 นาที และล้างด้วยน้ำประปาเบา ๆ อีกครั้ง ผึ่งสไลด์ให้แห้งแล้วดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงสุด โดยทำการศึกษารูปร่าง การจัดเรียงตัว และการติดสีแกรมของแบคทีเรีย

6. **การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์แขวนลอย**

นำแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient Broth (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่าเท่ากัน จากนั้นนำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้ไปบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ตามชุดการทดลองดังตารางที่ 4 ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด โดยวัดค่า TCOD, FCOD, TS, TVS และ SS ทุก 3 วัน เป็นเวลา 21 วัน

ตารางที่ 4 ชุดการทดลองของการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่คัดเลือก

ชุดการทดลอง	ไอโซเลทที่ใช้
1. ชุดควบคุม	ไม่มีการใส่เชื้อ
2. เชื้อผสม	เชื้อที่เจริญร่วมกันได้
3. ไอโซเลต 1	ไอโซเลต 1
4. ไอโซเลต 2	ไอโซเลต 2
5. ไอโซเลต 3	ไอโซเลต 3
6. ไอโซเลต 4	ไอโซเลต 4

7. **การผลิตเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดและการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด**

คัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุดจากการทดลองที่ 5 จำนวน 2 ไอโซเลต เลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient Broth (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่าเท่ากัน จากนั้นนำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000g นาน 15 นาที นำเชื้อที่ได้ไปผสมกับวัตถุดิบ คือ แกลบดำและดินเหนียว ตามสูตรที่เหมาะสม โดยเติมน้ำเพื่อให้จับตัวกันเป็นก้อน แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และนำไปบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จากนั้นตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด โดยวัดค่าอัตราการผลิตก๊าซ, FCOD, TS, TVS, SS และ ทุก 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

8. **การศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดที่เหมาะสม**

นำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรใส่ในขวดโหล เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด ตามชุดการทดลองดังนี้

ชุดที่ 1 เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด 5 กรัมต่อลิตร

ชุดที่ 2 เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด 10 กรัมต่อลิตร

ชุดที่ 3 เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด 15 กรัมต่อลิตร

ชุดที่ 4 ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนบำบัดโดยวัดค่า FCOD, TS, TVS และ SS ภายหลังการบำบัดวัดค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ, FCOD, TS, TVS และ SS ทุก 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

9. การศึกษาระยะเวลาในการเติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดที่เหมาะสม

นำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรใส่ในขวดโหล เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดในปริมาณที่เหมาะสม (ทดลองที่ 7) ตามชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดที่ 1 เติมเชื้อจุลินทรีย์อัดเม็ดทุก 7 วัน

ชุดที่ 2 เติมเชื้อจุลินทรีย์อัดเม็ดทุก 14 วัน

ชุดที่ 3 ชุดควบคุม (เติมเชื้อจุลินทรีย์อัดเม็ดในวันแรก)

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนบำบัดโดยวัดค่า FCOD, TS, TVS และ SS ภายหลังการบำบัดวัดค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ, FCOD, TS, TVS และ SS ทุก 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

10. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด

นำน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 12 ลิตรใส่ในถังหมัก ขนาด 20 ลิตร เติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดในปริมาณที่ได้จากการทดลองที่ 7 และระยะเวลาที่เหมาะสม (การทดลองที่ 8) ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนบำบัดโดยวัดค่า FCOD, SS, TS, TVS และภายหลังการบำบัดวัดค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ, FCOD, SS, TS และ TVS ทุก 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

ผลการทดลอง

1. การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์และการทำเชื้อบริสุทธิ์

จากการทดลองแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่าง ๆ จำนวน 8 แหล่ง คัดเลือกเชื้อที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งทำการแยกเชื้อทั้งหมดโดยใช้เทคนิคการเกลี่ยเชื้อ (spread) ลงบนอาหารแข็ง Nutrient Agar ในจานเลี้ยงเชื้อ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน ได้จุลินทรีย์ทั้งหมด 67 ไอโซเลต (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 แหล่งที่มา ลักษณะของตัวอย่าง และจำนวนไอโซเลตที่คัดแยกได้

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	จำนวนไอโซเลตที่แยกได้
1. ตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (NB)		13
2. ตัวอย่างของเหลวในลำไส้ของสุกรจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร ส่วนที่ 1 (BP1)		8
3. ตัวอย่างของเหลวในลำไส้ของสุกรจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร ส่วนที่ 2 (BP2)		7

ตารางที่ 5 แหล่งที่มา ลักษณะของตัวอย่าง และจำนวนไอโซเลตที่คัดแยกได้ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	จำนวนไอโซเลตที่แยกได้
4. ตัวอย่างของเหลวในลำไส้ของสุกรจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร ส่วนที่ 3 (BP3)		7
5. ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติแม่คาว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่		9
6. ตัวอย่างดินในบริเวณฟาร์มเลี้ยงสุกร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร (S5)		6
7. ตัวอย่างดินในบริเวณฟาร์มเลี้ยงสุกร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (S10)		8

ตารางที่ 5 แหล่งที่มา ลักษณะของตัวอย่าง และจำนวนไอโซเลตที่คัดแยกได้ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	จำนวนไอโซเลตที่แยกได้
8. ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงชำแหละสุกร โครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และบริษัทเบทาโกร (SP)		9

จากการศึกษาลักษณะการเจริญของจุลินทรีย์บนอาหารแข็ง NA สามารถจัดกลุ่มได้ 8 กลุ่ม ตามลักษณะของโคโลนีได้ ดังนี้ (ตารางที่ 6)

1. โคโลนีรูปร่างกลม เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ จำนวน 32 ไอโซเลต

2. โคโลนีรูปร่างกลม เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าขรุขระ จำนวน 1 ไอโซเลต

3. โคโลนีรูปร่างกลม นูนโค้งจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ จำนวน 3 ไอโซเลต

4. โคโลนีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ จำนวน 2 ไอโซเลต

5. โคโลนีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย ผิวหน้าเรียบ จำนวน 10 ไอโซเลต

6. โคโลนีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย ผิวหน้าขรุขระ จำนวน 1 ไอโซเลต

7. โคโลนีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย ผิวหน้าย่น จำนวน 7 ไอโซเลต

8. โคโลนีที่มีขนาดเล็ก แต่ยังเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 มม. เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ จำนวน 11 ไอโซเลต

ตารางที่ 6 ลักษณะรูปร่างโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์

ไอโซเลท	รูปร่าง (Form)	ระดับความนูน (elevation)	ขอบโคโลนี (margin)	ผิวหน้า (surface)
NB-1	punctiform	raised	entire	smooth
NB-2	punctiform	raised	entire	smooth
NB-3	circular	raised	entire	smooth
NB-4	circular	convex	entire	smooth
NB-5	circular	raised	entire	smooth
NB-6	circular	raised	entire	smooth
NB-7.1	circular	raised	entire	smooth
NB-7.2	circular	raised	entire	smooth
NB-8	circular	raised	entire	smooth
NB-9	circular	raised	entire	smooth
NB-10	circular	raised	entire	smooth
NB-11	circular	convex	entire	smooth
NB-12	punctiform	raised	entire	smooth
NB-13	irregular	raised	undulate	smooth
SP-1	punctiform	raised	entire	smooth
SP-3	punctiform	raised	entire	smooth
SP-4	circular	raised	entire	smooth
SP-5	circular	raised	entire	smooth
SP-6	circular	raised	entire	smooth
SP-7	circular	raised	entire	smooth
SP-8	punctiform	raised	entire	smooth
SP-9	circular	raised	entire	smooth
SP-10	irregular	raised	undulate	smooth
S5-2	irregular	raised	undulate	smooth
S5-3	circular	raised	entire	smooth
S5-5	circular	raised	entire	smooth
S5-6	irregular	raised	entire	Smooth

ตารางที่ 6 ลักษณะรูปร่างโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ (ต่อ)

ไอโซเลท	รูปร่าง (Form)	ระดับความนูน (elevation)	ขอบโคโลนี (margin)	ผิวหน้า (surface)
S5-7	circular	raised	entire	smooth
S5-8	circular	raised	entire	smooth
S10-3	circular	raised	entire	rough
S10-4	irregular	raised	undulate	rugose
S10-7	circular	raised	entire	smooth
S10-8	irregular	raised	undulate	rugose
S10-9	irregular	raised	undulate	rugose
S10-11	circular	raised	entire	smooth
S10-12	irregular	raised	undulate	rugose
S10-13	circular	raised	entire	smooth
KR-2	irregular	raised	entire	smooth
KR-3	punctiform	raised	entire	smooth
KR-4	circular	raised	entire	smooth
KR-5	irregular	raised	undulate	smooth
KR-6	irregular	raised	undulate	smooth
KR-7	circular	convex	entire	smooth
KR-8	circular	raised	entire	smooth
KR-9	circular	raised	entire	smooth
KR-11	circular	raised	entire	smooth
BP1-1	irregular	raised	undulate	smooth
BP1-2	circular	raised	entire	smooth
BP1-3	punctiform	raised	entire	smooth
BP1-4	irregular	raised	undulate	rugose
BP1-6	irregular	raised	undulate	rough
BP1-7	punctiform	raised	entire	smooth
BP1-8	circular	raised	entire	smooth

ตารางที่ 6 ลักษณะรูปร่างโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ (ต่อ)

ไอโซเลท	รูปร่าง (Form)	ระดับความนูน (elevation)	ขอบโคโลนี (margin)	ผิวหน้า (surface)
BP2-1	circular	raised	entire	smooth
BP2-2	circular	raised	entire	smooth
BP2-3	punctiform	raised	entire	smooth
BP2-4	circular	raised	entire	smooth
BP2-5	punctiform	raised	entire	smooth
BP2-6	irregular	raised	undulate	smooth
BP2-7	circular	raised	entire	smooth
BP3-1	circular	raised	entire	smooth
BP3-2	irregular	raised	undulate	smooth
BP3-3	irregular	raised	undulate	rugose
BP3-4	irregular	raised	undulate	rugose
BP3-6	circular	raised	entire	smooth
BP3-9	irregular	raised	undulate	smooth
BP3-10	irregular	raised	undulate	smooth

หมายเหตุ :

- Circular โคโลนีที่มีรูปร่างกลม
- Punctiform โคโลนีที่มีขนาดเล็ก แต่ยังเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร
- Irregular โคโลนีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน
- Entire ขอบเรียบไม่มีรอยหยัก
- Undulate ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย
- Raised เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย
- Convex นูนโค้งจากผิวหน้าอาหาร
- Smooth เรียบ
- Rough ขรุขระ
- Rugose ย่น

เมื่อทำการย้อมสีจุลินทรีย์ด้วยวิธี Gram's staining และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์ทั้งหมด 67 ไอโซเลต พบว่า สามารถจัดกลุ่มได้ 4 กลุ่ม (ตารางที่ 7) ดังนี้

1. รูปร่างท่อน แกรมบวก จำนวน 28 ไอโซเลต
2. รูปร่างท่อน แกรมลบ จำนวน 24 ไอโซเลต
3. รูปร่างกลม แกรมบวก จำนวน 14 ไอโซเลต
4. รูปร่างกลม แกรมลบ จำนวน 1 ไอโซเลต

ตารางที่ 7 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธี Gram's staining

ไอโซเลต	รูปร่าง	การติดสีแกรม	การเรียงตัว
NB-1	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
NB-2	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
NB-3	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
NB-4	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
NB-5	ท่อนสั้น	+	เดี่ยว
NB-6	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
NB-7.1	ท่อนสั้น	+	เดี่ยว
NB-7.2	ท่อน	-	เดี่ยว
NB-8	กลม	+	คู่, สาย
NB-9	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
NB-10	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
NB-11	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
NB-12	กลม	-	กลุ่ม
NB-13	ท่อน	+	กลุ่ม, เดี่ยว
SP-1	กลม	+	เดี่ยว, กลุ่ม
SP-3	ท่อนสั้น	+	โซ่
SP-4	กลม	+	กลุ่ม, สี่
SP-5	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
SP-6	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
SP-7	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม

ตารางที่ 7 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธี Gram's staining (ต่อ)

ไอโซเลต	รูปร่าง	การติดสีแกรม	การเรียงตัว
SP-8	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
SP-9	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
SP-10	ท่อน	-	เดี่ยว
S5-2	ท่อน	+	เดี่ยว
S5-3	ท่อน	+	เดี่ยว,โซ่
S5-5	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
S5-6	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
S5-7	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
S5-8	ท่อน	+	เดี่ยว
S10-3	ท่อน	+	โซ่
S10-4	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
S10-7	กลม	+	คู่, เดี่ยว, กลุ่ม
S10-8	ท่อน	-	เดี่ยว
S10-9	ท่อน	+	เดี่ยว
S10-11	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
S10-12	ท่อน	-	เดี่ยว
S10-13	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
KR-2	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
KR-3	ท่อน	+	เดี่ยว
KR-4	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
KR-5	ท่อน	-	เดี่ยว
KR-6	ท่อนยาว	+	เดี่ยว
KR-7	ท่อนสั้น	+	เดี่ยว
KR-8	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
KR-9	ท่อน	-	เดี่ยว
KR-11	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
BP1-1	ท่อน	-	เดี่ยว

ตารางที่ 7 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธี Gram's staining (ต่อ)

ไอโซเลต	รูปร่าง	การติดสีแกรม	การเรียงตัว
BP1-	ท่อนยาว		โซ่, เดี่ยว
BP1-3	ท่อน	-	เดี่ยว
BP1-4	ท่อน	+	เดี่ยว
BP1-6	ท่อน	+	เดี่ยว
BP1-7	ท่อน	-	เดี่ยว
BP1-8	ท่อนยาว	+	เดี่ยว
BP2-1	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
BP2-2	ท่อน	+	เดี่ยว
BP2-3	ท่อนสั้น	+	โซ่
BP2-4	ท่อนยาว	-	เดี่ยว
BP2-5	กลม	+	เดี่ยว
BP2-6	ท่อน	-	เดี่ยว
BP2-7	ท่อน	-	เดี่ยว
BP3-1	ท่อนยาว	-	เดี่ยว
BP3-2	ท่อนยาว	+	โซ่, เดี่ยว
BP3-3	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
BP3-4	ท่อนสั้น	-	เดี่ยว
BP3-6	ท่อน	-	เดี่ยว
BP3-9	ท่อน	-	เดี่ยว
BP3-10	ท่อน	-	เดี่ยว

2. **การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้**

จากการทดลองนำเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้ทั้ง 67 ไอโซเลต มาทำการทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเบื้องต้น โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีคุณลักษณะของน้ำเสีย คือ ค่า เอฟซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งระเหย และพีเอช เท่ากับ 2,000-7,360 4,280-9,152 1,360-2,700 2,885-5648 และ 6.7-7.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 8, ภาพที่ 1) เป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 8 คุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย
เอฟซีโอดี	2,000-7,360 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	4,280-9,152 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	1,360-2,700 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณของแข็งระเหย	2,885-5,648 มิลลิกรัม/ลิตร
พีเอช	6.7-7.8

ภาพที่ 1 ลักษณะและจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกร ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีทั้งหมด 26 ไอโซเลต ได้แก่ SP-1, SP-4, SP-5, SP-7, SP-9, NB-4, NB-5, NB-6, NB-13, KR-4, KR-6, KR-7, BP1-1, BP1-2, BP1-7, BP2-1, BP3-1, BP3-2, BP3-4, BP3-6, BP3-9, S5-2, S5-3, S5-7.1, S10-9 และ S10-13 โดยเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลต S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 มีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด โดยสามารถลดค่า FCOD ได้เท่ากับ 78.0, 58.0, 60.0 และ 70.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลดค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ได้ 65.4, 56.7, 60.6 และ 58.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ได้ 95.0, 83.9, 78.5 และ 85.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลดค่าของแข็งที่ระเหยได้ (TVS) ได้ 84.6, 77.5, 82.2 และ 77.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในระยะเวลา 7 วัน (ตารางที่ 9, ภาพที่ 2, ตารางผนวก 1)

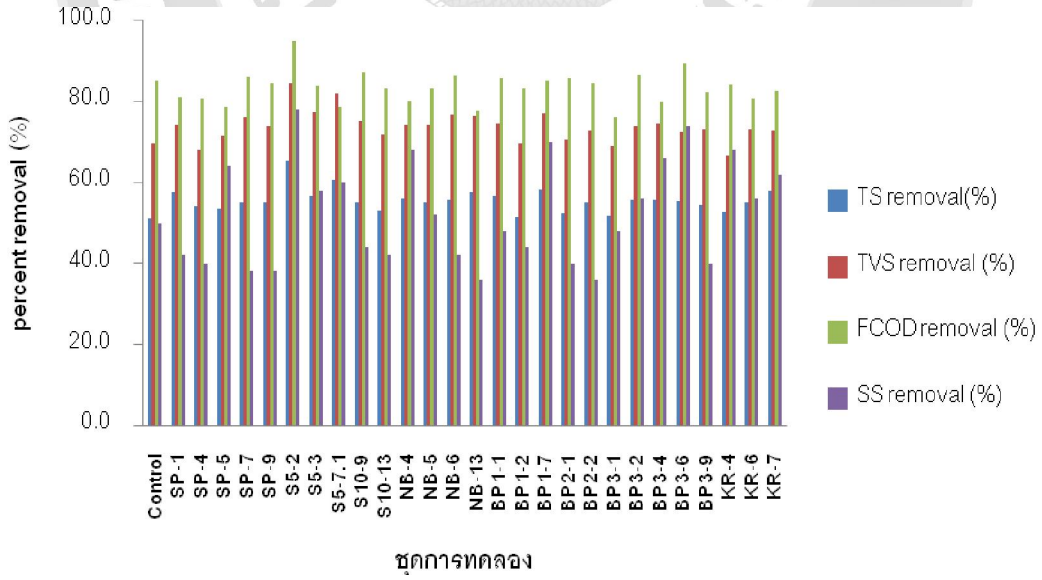
ในการทดลองจะเน้นค่า TVS เป็นหลัก และดูค่าอื่น ๆ ประกอบด้วย เนื่องจากค่า TVS เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่เชื้อจุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต

ไอโซเลต	TS removal (%)	TVS removal (%)	FCOD removal (%)	SS removal (%)
Control	51.2	69.6	85.0	50.0
SP-1	57.5	74.2	81.1	42.0
SP-4	54.1	68.0	80.9	40.0
SP-5	53.5	71.5	78.5	64.0
SP-7	55.1	76.3	86.1	38.0
SP-9	55.3	74.0	84.4	38.0
S5-2	65.4	84.6	95.0	78.0
S5-3	56.7	77.5	83.9	58.0
S5-7.1	60.6	82.2	78.5	60.0
S10-9	55.0	75.2	87.2	44.0
S10-13	52.8	72.0	83.1	42.0
NB-4	56.2	74.2	80.2	68.0
NB-5	55.0	74.4	83.3	52.0
NB-6	55.8	76.8	86.5	42.0
NB-13	57.6	76.6	77.6	36.0

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต (ต่อ)

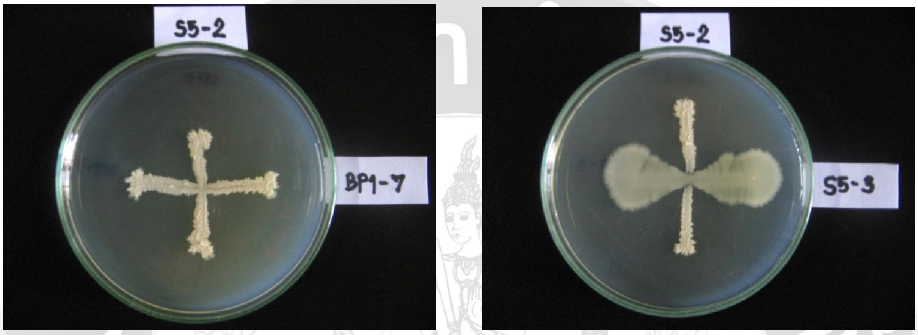
ไอโซเลต	TS removal(%)	TVS removal (%)	FCOD removal (%)	SS removal (%)
BP1-1	56.8	74.5	85.7	48.0
BP1-2	51.5	69.6	83.3	44.0
BP1-7	58.1	77.2	85.0	70.0
BP2-1	52.3	70.5	85.7	40.0
BP2-2	55.0	72.8	84.6	36.0
BP3-1	51.8	69.1	76.3	48.0
BP3-2	55.7	73.9	86.7	56.0
BP3-4	55.8	74.7	80.0	66.0
BP3-6	55.4	72.5	89.4	74.0
BP3-9	54.4	73.1	82.2	40.0
KR-4	52.7	66.6	84.3	68.0
KR-6	55.0	73.1	80.9	56.0
KR-7	57.8	72.6	82.6	62.0



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต

3. การทดสอบคุณสมบัติในการเจริญร่วมกันของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลต

จากการทดสอบคุณสมบัติการเจริญร่วมกันของเชื้อ โดยใช้เทคนิค Cross steak และ Agar disc diffusion พบว่า การทดสอบการเจริญร่วมกันของเชื้อด้วยเทคนิคการ Cross steak โดยขีดให้เชื้อทั้งสองทับกัน เชื้อที่เจริญร่วมกันได้จะเจริญเติบโตเป็นปกติ ส่วนเชื้อที่ไม่สามารถเจริญร่วมกันได้จะเกิดการยับยั้งกันและขาดตรงบริเวณจุดตัด (ภาพที่ 3) โดยพบว่า เชื้อที่สามารถเจริญร่วมกันได้ คือ เชื้อ S5-3 กับ S5-7.1 และ S5-2 กับ BP1-7 ผลการทดลองที่ได้ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด เพราะเกิดการยับยั้งของเชื้อที่ยังไม่ค่อยชัดเจน

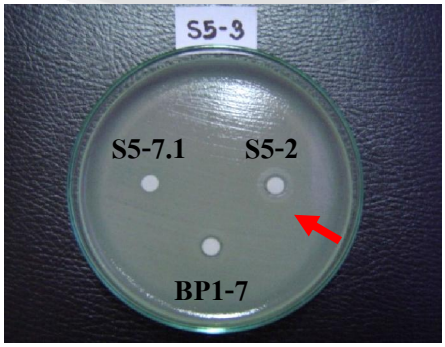


ก. ข.

ภาพที่ 3 ผลของเทคนิคการ cross streak (ก. เจริญร่วมกันได้ และ ข. เจริญร่วมกันไม่ได้)

เมื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิค Agar disc diffusion พบว่า เชื้อ S5-3 กับ S5-7.1 และเชื้อ S5-2 กับ BP1-7 และ S5-7.1 สามารถเจริญร่วมกันได้ เชื้อ S5-3 กับ S5-2 และ S5-3 กับ BP1-7 ไม่สามารถเจริญร่วมกันได้ เนื่องจากในจานเลี้ยงเชื้อที่นำเปเปอร์ดิสก์มาวางทับบนอาหารเลี้ยงเชื้อมีโซนใสเกิดขึ้นรอบ ๆ เปเปอร์ดิสก์ ซึ่งแสดงว่ามีการยับยั้งกันของเชื้อเกิดขึ้น ดังภาพที่ 4

ดังนั้นในการศึกษานี้สรุปได้ว่าเชื้อ S5-3 กับ S5-7.1 และเชื้อ S5-2 กับ BP1-7 และ S5-7.1 สามารถเจริญร่วมกันได้ เชื้อ S5-3 กับ S5-2 และ S5-3 กับ BP1-7 ไม่สามารถเจริญร่วมกันได้



ภาพที่ 4 ผลของเทคนิค Agar disc diffusion ที่เกิดวงใสรอบเปเปอร์ดิสก์ (ลูกศรสีแดง)

4. การศึกษาอัตราการเจริญ (Growth Rate) ของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลต

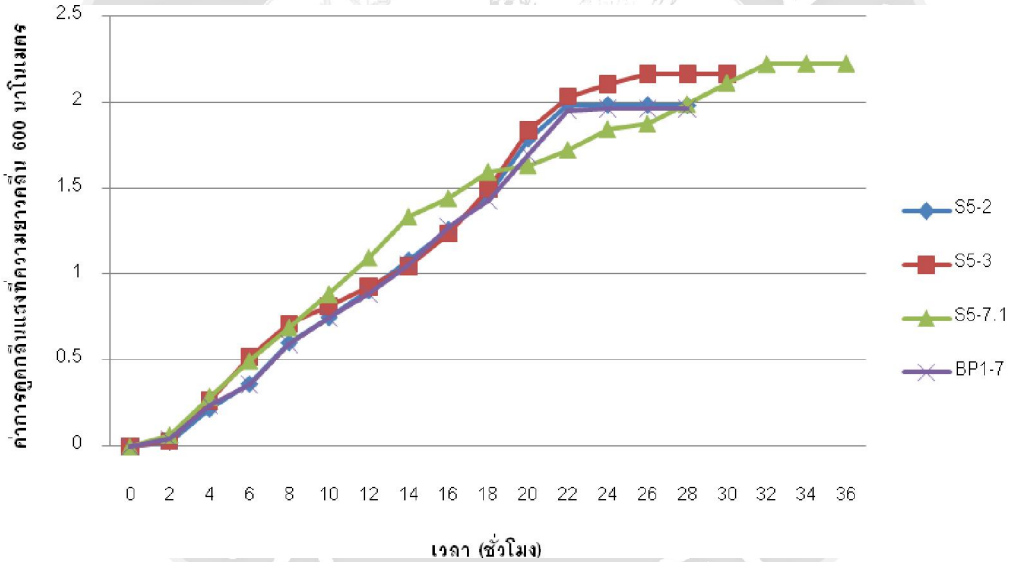
เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ไอโซเลตมาเลี้ยงในอาหารเหลว NB บ่ม 24 ชั่วโมง ที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน และวัดอัตราการเจริญของเชื้อโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร พบว่า ใน 2 ชั่วโมงแรกของการเพาะเลี้ยง เชื้อไอโซเลต S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 เป็นช่วง Lag Phase ค่าการดูดกลืนแสงมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.028, 0.031, 0.067 และ 0.046 ตามลำดับ ต่อมาเริ่มเข้าสู่ช่วง Log Phase ซึ่งในชั่วโมงที่ 2- 22 ของการเจริญของเชื้อไอโซเลต S5-2 และ BP1-7 ชั่วโมงที่ 2-26 และ 2-32 ของการเจริญของเชื้อไอโซเลต S5-3 และ S5-7.1 เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดได้ 1.986, 1.965, 2.166 และ 2.220 ตามลำดับ หลังจากนั้นการเจริญเข้าสู่ระยะ Stationary Phase เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตในอัตราคงที่ คือการเพิ่มจำนวนเซลล์ของเชื้อที่สูงสุด โดยช่วง Stationary phase ของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลต S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 คือ ชั่วโมงที่ 22, 26, 32 และ 22 เป็นต้นไป (ตารางที่ 10, ภาพที่ 5)

ตารางที่ 10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลตที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	S5-2	S5-3	S5-7.1	BP1-7
0	0	0	0	0
2	0.028	0.031	0.067	0.046
4	0.220	0.269	0.290	0.243
6	0.365	0.524	0.499	0.361
8	0.605	0.712	0.692	0.597
10	0.752	0.814	0.885	0.748
12	0.907	0.929	1.097	0.890
14	1.084	1.051	1.335	1.058
16	1.261	1.239	1.442	1.278
18	1.464	1.498	1.596	1.431
20	1.788	1.836	1.632	1.698
22	1.986	2.034	1.722	1.953
24	1.986	2.103	1.842	1.965

ตารางที่ 10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลทที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	S5-2	S5-3	S5-7.1	BP1-7
26	1.986	2.166	1.874	1.965
28	1.983	2.166	1.989	1.965
30		2.166	2.111	
32			2.220	
34			2.223	
36			2.223	



ภาพที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของเชื้อทั้ง 4 ไอโซเลตที่ระยะเวลาต่าง ๆ

5. **การศึกษาลักษณะสัณฐานของเชื้อจุลินทรีย์**

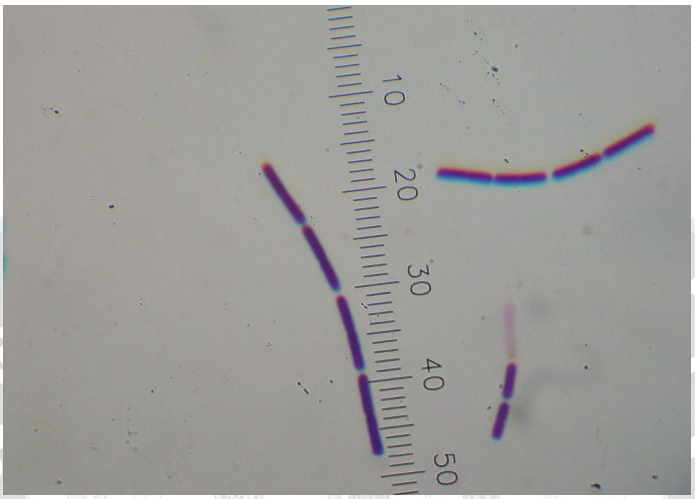
เมื่อทำการศึกษาลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ S5-2, S5-3, S5-7.1 และ BP1-7 โดยศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า โดยใช้เทคนิคการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Staining) และลักษณะของโคโลนี พบว่า

ลักษณะของแบคทีเรีย S5-2 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า โดยใช้เทคนิคการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Staining) พบว่าเป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อน แกรมบวกเนื่องจากติดสีม่วงของ Crystal violet และลักษณะโคโลนีของเชื้อที่เจริญบนอาหาร NA ภายหลังการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โคโลนีมีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย ผิวหน้าย่น (ภาพที่ 6 และภาพที่ 7)

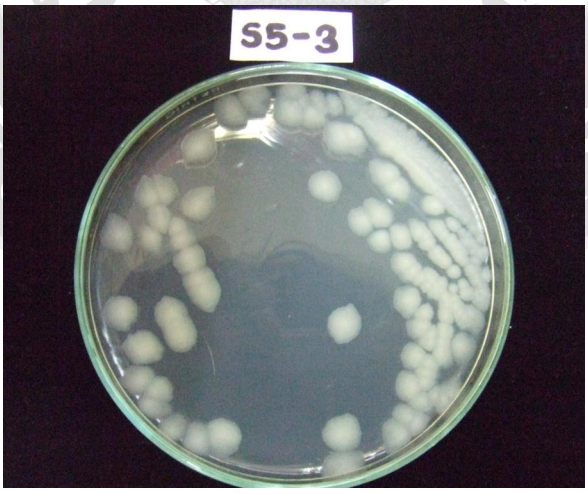
ภาพที่ 6 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-2 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า

ภาพที่ 7 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-2

ลักษณะของแบคทีเรีย S5-3 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า โดยใช้เทคนิคการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Staining) พบว่าเป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อน แกรมบวกเนื่องจากติดม่วงของ Crystal violet และลักษณะโคโลนีของเชื้อที่เจริญบนอาหาร NA ภายหลังการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โคโลนีรูปร่างกลม เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ (ภาพที่ 8 และภาพที่ 9)



ภาพที่ 8 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-3 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ 9 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-3

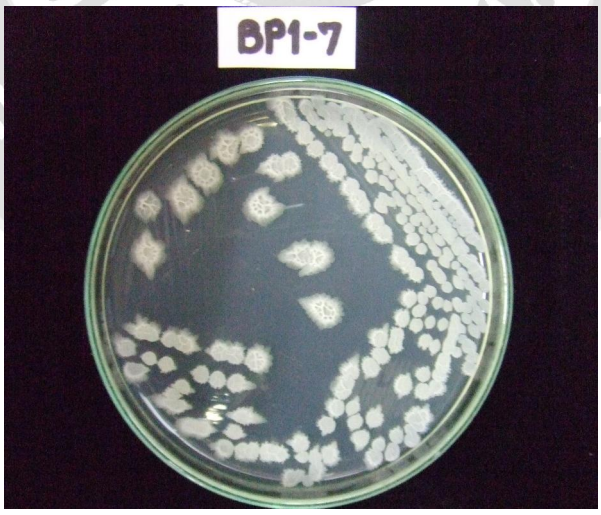
ลักษณะของแบคทีเรีย S5-7.1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า โดยใช้เทคนิคการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Staining) พบว่าเป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อน แกรมลบ เนื่องจากติดสีแดงของ Safranin และลักษณะโคโลนีของเชื้อที่เจริญบนอาหาร NA ภายหลังการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โคโลนีรูปร่างกลม เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบไม่มีรอยหยัก ผิวหน้าเรียบ (ภาพที่ 10 และภาพที่ 11)

ภาพที่ 10 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย S5-7.1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า

ภาพที่ 11 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย S5-7.1

ลักษณะของแบคทีเรีย BP1-7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า โดยใช้เทคนิคการย้อมสีแบบแกรม (Gram's Staining) พบว่าเป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อน แกรมลบเนื่องจากติดสีแดงของ Safranin และลักษณะโคโลนีของเชื้อที่เจริญบนอาหาร NA ภายหลังการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โคโลนีมีรูปร่างไม่แน่นอน เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเป็นคลื่นที่โค้งหรือเว้าเล็กน้อย ผิวหน้าย่น (ภาพที่ 12 และภาพที่ 13)

ภาพที่ 12 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย BP1-7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ 13 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย BP1-7

6. การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์แขวนลอย

เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ไอโซเลต คือ เชื้อ S5-2, S5-3, S5-7.1และ BP1-7 ไปบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร และทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด โดยวัดค่า TCOD, FCOD, TS, TVS และ SS ทุก 3 วัน เป็นเวลา 21 วัน ตามชุดการทดลองในตารางที่ 11

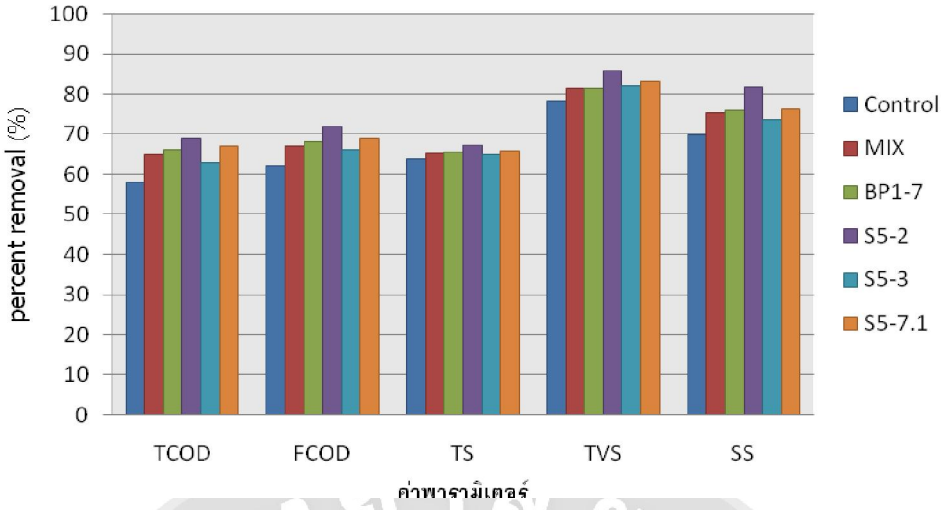
ตารางที่ 11 ชุดการทดลองของการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่คัดเลือก

ชุดที่	เชื้อ
1 ชุดควบคุม	ไม่มีการใส่เชื้อ
2	S5-2+S5-7.1+BP1-7
3	S5-2
4	S5-3
5	S5-7.1
6	BP1-7

จากการทดลอง พบว่า ในวันสุดท้ายของการทดลองเชื้อที่มีความสามารถในการลดค่า COD ได้ดีที่สุด คือ S5-2 รองลงมาคือ S5-7.1 คิดเป็น 69.0 และ 67.0 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า FCOD ได้ดีที่สุด คือ S5-2 รองลงมาคือ S5-7.1 คิดเป็น 72.0 และ 69.0 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ได้ดีที่สุด คือ S5-2 รองลงมาคือ S5-7.1 คิดเป็น 81.9 และ 76.3 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ได้ดีที่สุด คือ S5-2 รองลงมาคือ S5-7.1 คิดเป็น 67.1 และ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าของแข็งที่ระเหยได้ (TVS) ได้ดีที่สุด คือ คือ S5-2 รองลงมาคือ S5-7.1 คิดเป็น 85.8 และ 83.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12, ภาพที่ 14, ตารางผนวก 2-6)

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อในรูปเซลล์แขวนลอย

Sampling	COD removal (%)	FCOD removal (%)	TS removal (%)	TVS removal (%)	SS removal (%)
Control	58.0	62.0	63.9	78.3	69.9
MIX	65.0	67.0	65.3	81.3	75.4
BP1-7	66.0	68.0	65.6	81.4	76.0
S5-2	69.0	72.0	67.1	85.8	81.9
S5-3	63.0	66.0	65.0	82.0	73.7
S5-7.1	67.0	69.0	65.9	83.2	76.3



ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์แขวนลอย บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ภายหลังการบำบัด 21 วัน

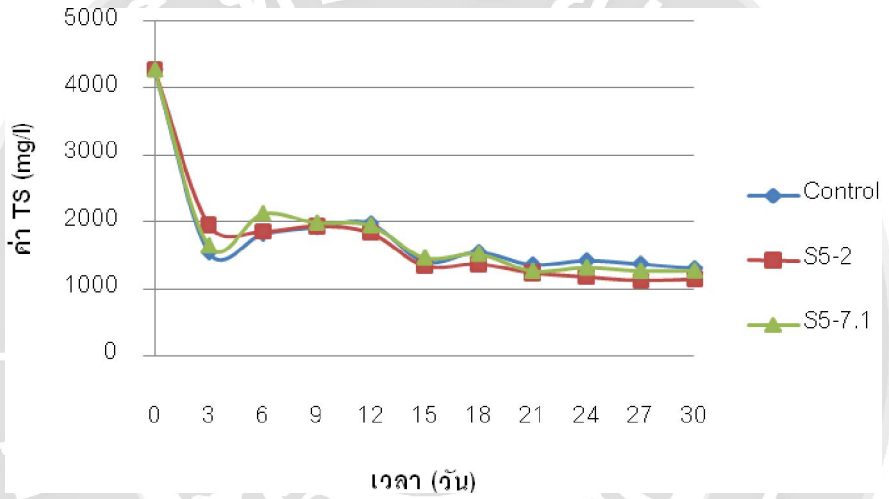
จากผลการทดลองแสดงว่า เชื้อที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ระยะเวลากักเก็บ 21 วันได้ดีที่สุด คือ เชื้อ S5-2 รองลงมาคือเชื้อ S5-7.1

7. **การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด**

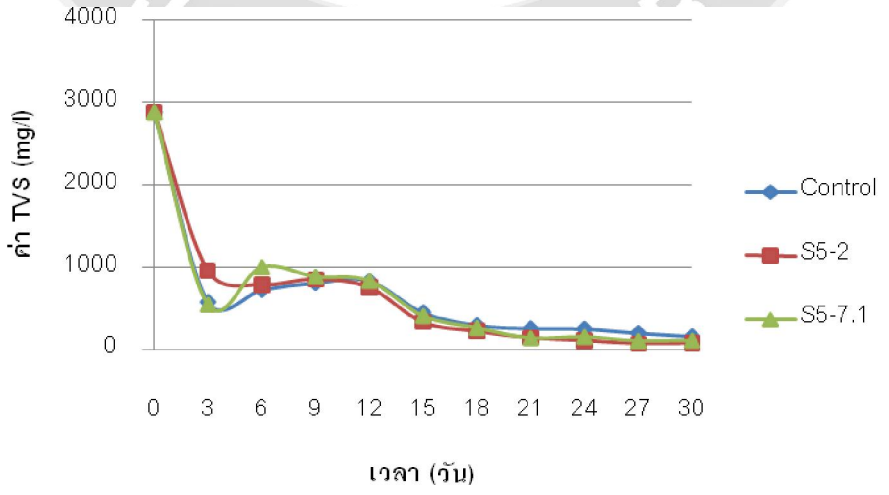
เมื่อนำจุลินทรีย์ไอโซเลต คือ S5-2 และ S5-7.1 ในรูปแบบเม็ดไปบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร เป็นเวลา 30 วัน ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร จะเข้าไปแทนที่น้ำในขวดพลาสติกที่ต่อเข้ากับ Flask (ภาพที่ 15)

ภาพที่ 15 การต่ออุปกรณ์ของชุดการทดลอง

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่า ภายหลังการบำบัด 3 วัน ค่า TS มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากการตกตะกอนของสารอินทรีย์ต่าง ๆ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากการเจริญของเชื้อ และเริ่มมีค่าลดลงอีกในวันที่ 15 ของการทดลอง ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ และภายหลังการบำบัดเป็นระยะเวลา 30 วัน ชุดการทดลองที่สามารถลดค่า TS ได้ดีที่สุด คือ S5-2, S5-7.1 และ Control คิดเป็น 73.3, 70.2 และ 69.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 16, ตารางผนวก 7) เช่นเดียวกับค่า TVS ซึ่งลดได้ 97.2, 96.0 และ 94.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 17, ตารางผนวก 8)

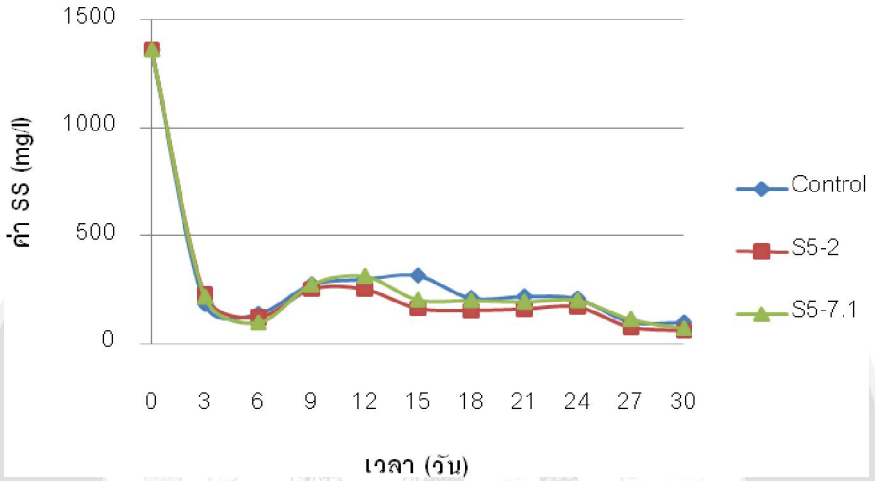


ภาพที่ 16 ค่า TS ภายหลังการบำบัดโดยเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด



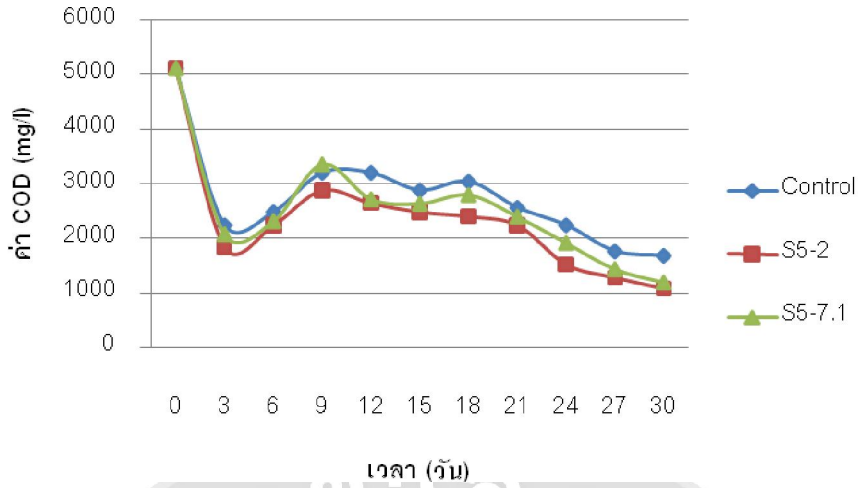
ภาพที่ 17 ค่า TVS ภายหลังการบำบัดโดยเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด

ในทำนองเดียวกัน ค่า SS มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในวันที่ 9 จนถึงวันที่ 15 ค่า SS เริ่มลดลง และในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดการทดลองที่สามารถลดค่า SS ได้ดีที่สุด คือ S5-2, S5-7.1 และ Control คิดเป็น 95.3, 94.6 และ 92.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 18, ตารางผนวก 9)

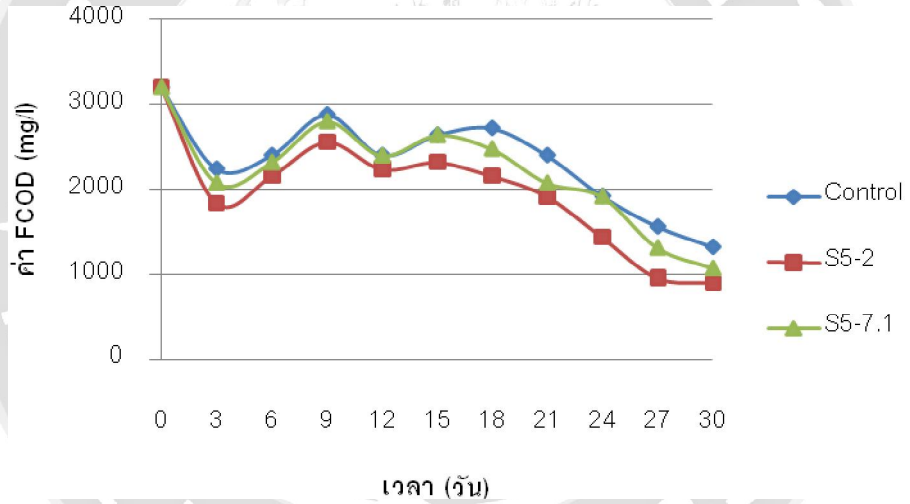


ภาพที่ 18 ค่า SS ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของเชื้อทั้งสองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ คือ 3 วันแรกของการทดลอง COD จะมีค่าลดลง จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 21 ของการทดลอง จนกระทั่งวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดการทดลองที่สามารถลดค่า COD ได้ดีที่สุด คือ S5-2, S5-7.1 และชุดควบคุม (Control) คิดเป็น 78.9, 76.6 และ 67.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 19, ตารางผนวก 10) เช่นเดียวกับค่า FCOD โดยในวันสุดท้ายลดได้ 71.9, 66.3 และ 58.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 20, ตารางผนวก 11)



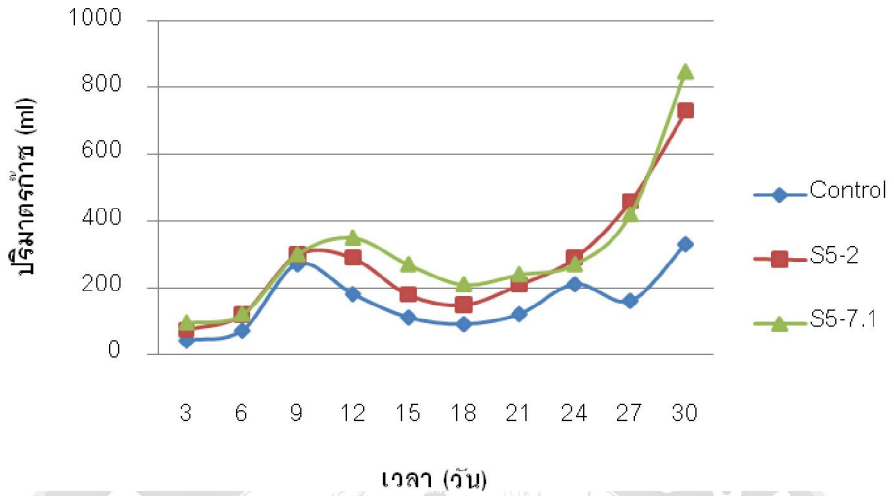
ภาพที่ 19 ค่า COD ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด



ภาพที่ 20 ค่า FCOD ภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด

ส่วนปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ สรุปได้ว่า ในระยะ 9 วันแรกของการทดลอง มีปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามชุดการทดลอง และหลังจากวันที่ 12 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นเริ่มมีค่าลดลงในอัตราที่ต่างกัน โดย S5-7.1 มีปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุด รองลงมาคือ S5-2 และ Control ตามลำดับ ภายหลังการทดลองวันที่ 21 ปริมาตรก๊าซที่เกิดมีค่าเพิ่มมากขึ้น และในวันที่ 24 ถึง 30 ของการทดลองการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมาก โดย เชื้อ S5-7.1 เกิดก๊าซมากที่สุด รองลงมาคือ S5-2 และ Control ตามลำดับ (ภาพที่ 21) และเมื่อคิดเป็น

ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณการกำจัดสารอินทรีย์ (TVS) ก๊าซที่เกิดขึ้นคิดเป็น 626.8, 555.5 และ 322.7 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ (ตารางที่ 13, ตารางผนวก 12)



ภาพที่ 21 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดระยะเวลา 30 วัน ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด

Sampling	TS removal (%)	TVS removal (%)	SS removal (%)	COD removal (%)	FCOD removal (%)	gas product (L/kg-TVS/d)
Control	69.5	94.3	92.6	67.2	58.8	326
S5-2	73.3	97.2	95.3	78.9	71.9	556
S5-7.1	70.2	96.0	94.6	76.6	66.3	627

จากการทดลองสรุปได้ว่า จุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรได้ดีกว่า S5-7.1

8. การศึกษาปริมาณการเติมเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดที่เหมาะสม

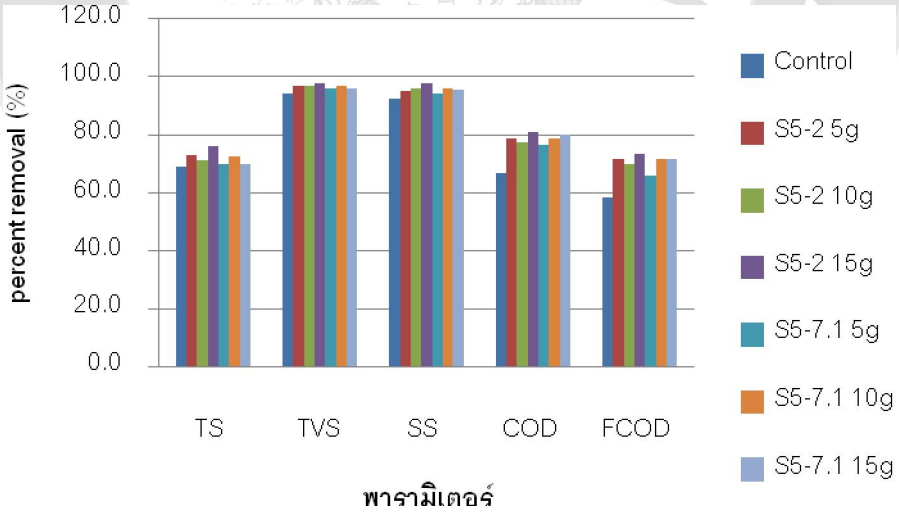
เมื่อนำเชื้อจุลินทรียรูปแบบเม็ดมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใส่เชื้อ S5-2 และ S5-7.1 ปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ได้ผลดังนี้

เมื่อน้ำเสียฟาร์มสุกรผ่านการบำบัดจนถึงวันที่ 30 ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียของค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD มีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร โดยสามารถลดได้ 76.1, 97.7, 98.0, 81.3 และ 73.8 เปอร์เซ็นต์

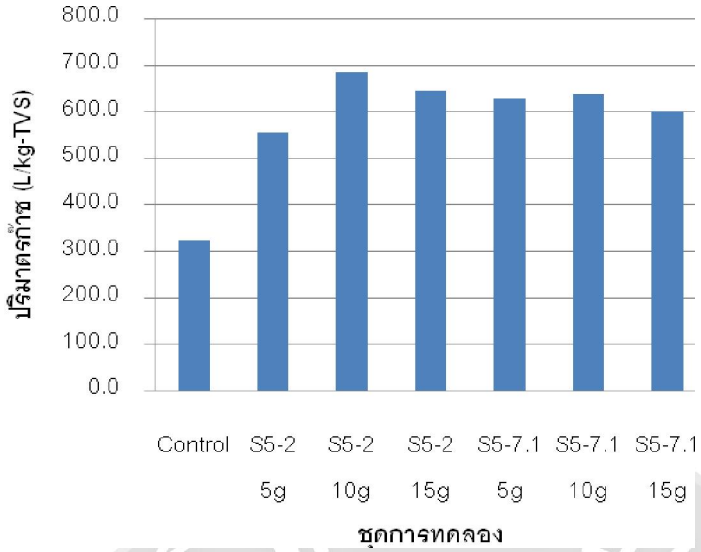
ตามลำดับ ส่วนปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุดจะเกิดในชุดการทดลองที่ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดก๊าซ 683.8 และ 644.2 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ (ตารางที่ 14, ภาพที่ 22 และภาพที่ 23, ตารางผนวก 13-18)

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

Sampling	TS removal (%)	TVS removal (%)	SS removal (%)	COD removal (%)	FCOD removal (%)	gas product (L/kg-TVS/d)
Control	69.5	94.3	92.6	67.2	58.8	322.7
S5-2 5g/l	73.3	97.2	95.3	78.9	71.9	555.6
S5-2 10g/l	71.5	96.9	96.3	77.7	70.0	683.8
S5-2 15g/l	76.1	97.7	98.0	81.3	73.8	644.2
S5-7.1 5g/l	70.2	96.0	94.6	76.6	66.3	626.8
S5-7.1 10g/l	72.7	96.9	96.1	78.9	71.9	637.1
S5-7.1 15g/l	70.2	96.2	95.8	80.1	71.9	600.6



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อในปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 23 ปริมาตรก๊าซที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 และ S5-7.1 รูปแบบเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อในปริมาณแตกต่างกัน

จากการทดลองสรุปได้ว่า การใส่เชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในสภาวะไร้ออกซิเจน

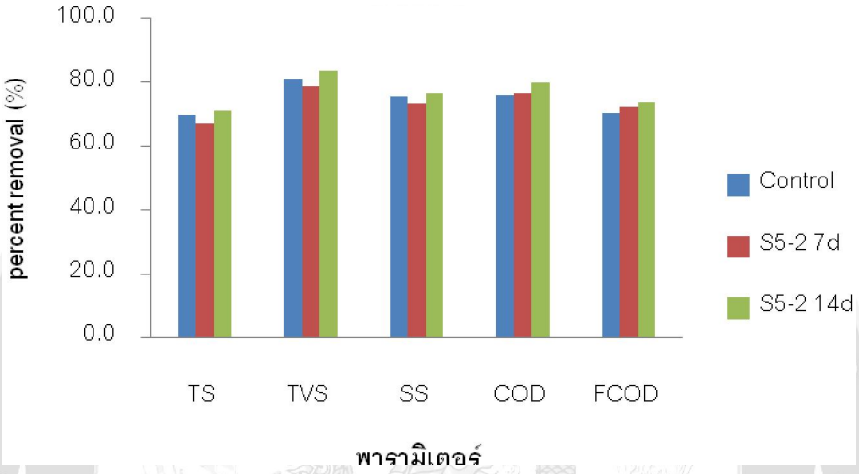
9. **การศึกษาระยะเวลาในการเติมเชื้อจุลินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสม**

เมื่อนำเชื้อจุลินทรียรูปแบบเม็ดมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใส่เชื้อ S5-2 ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร เพียงครั้งเดียว และใส่ทุก 7 และ 14 วัน ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน พบว่า

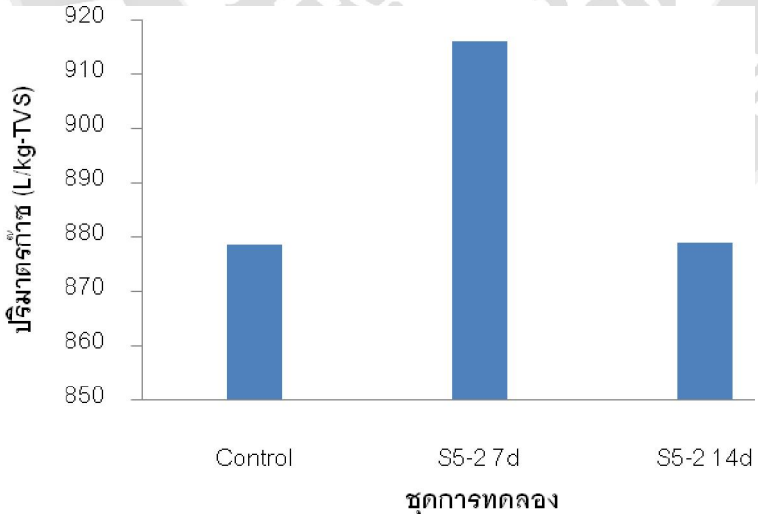
เมื่อน้ำเสียฟาร์มสุกรผ่านการบำบัดจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสีย คือ สามารถลดค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD ได้สูงสุดในชุดการทดลองที่ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วัน โดยสามารถลดได้ 71.2, 83.9, 76.9, 80.0 และ 73.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุดจะเกิดในชุดการทดลองที่ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 7 วัน รองลงมาคือ ใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วัน และสุดท้ายคือ Control ซึ่งเกิดก๊าซ 916.0 และ 878.8 และ 878.3 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ (ตารางที่ 15, ภาพที่ 24, ภาพที่ 25, ตารางผนวก 19-24)

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

Sampling	TS removal (%)	TVS removal (%)	SS removal (%)	COD removal (%)	FCOD removal (%)	gas product (L/kg-TVS/d)
Control	69.7	81.1	75.7	76.0	70.7	878.3
S5-2 7d	67.2	79.2	73.7	77.0	72.3	916.0
S5-2 14d	71.2	83.9	76.9	80.0	73.9	878.8



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



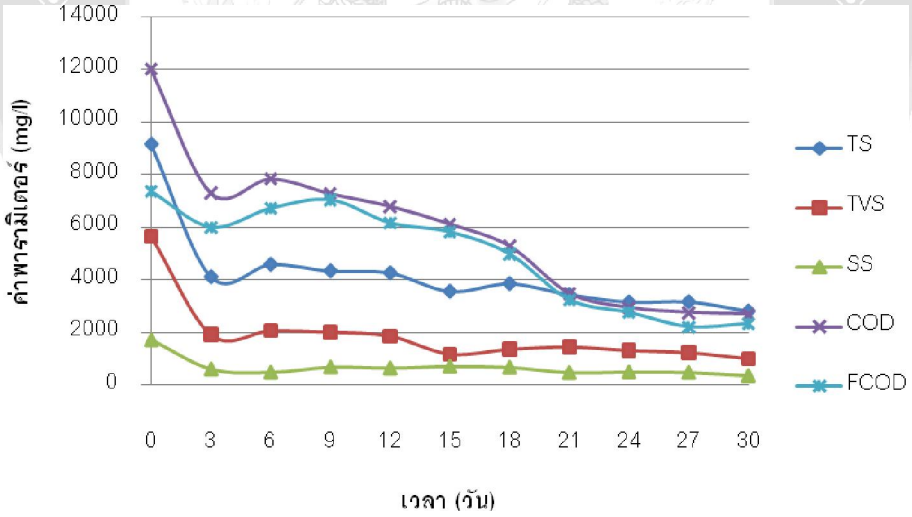
ภาพที่ 25 ปริมาตรก๊าซที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของเชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยใส่เชื้อเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการทดลองสรุปได้ว่า การใส่เชื้อ S5-2 ในปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาตรน้อยกว่าการใส่เชื้อทุก 7 วัน

10. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์อัดเม็ด

เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ดมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใส่เชื้อ S5-2 ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วัน ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 12 ลิตร ในถังขนาด 20 ลิตร ได้ผลดังนี้

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไปแล้ว 3 วัน ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่สามารถจมตัวได้ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญของเชื้อที่เพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีค่าลดลงภายหลังการบำบัดในวันที่ 18 เป็นต้นไปในทุกค่าพารามิเตอร์ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ จนเมื่อครบระยะเวลา 30 วัน สามารถลดค่า TS, TVS, SS, COD และ FCOD ได้ 69.1, 82.3, 79.4, 77.5 และ 68.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตก๊าซได้ถึง 721.3 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ (ภาพที่ 26, ตารางผนวก 25-26)



ภาพที่ 26 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการใช้เชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ในระยะเวลา 30 วัน

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพของการใส่เชื้อ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วันในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน

Parameter	Value
TS removal (%)	69.1
TVS removal (%)	82.3
SS removal (%)	79.4
COD removal (%)	77.5
FCOD removal (%)	68.2
gas product (L/kg-TVS)	721.3

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองใช้เชื้อที่คัดแยกได้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในระยะเวลา 7 วันได้เชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด 4 ไอโซเลต คือ S5-2, S5-7.1, S5-3 และ BP1-7 เชื้อทั้ง 4 ไอโซเลต มีประสิทธิภาพการลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียได้ดี และสามารถลดค่า FCOD ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองของ Kim *et. al*. (2004) ที่ใช้เชื้อ *Rhodopseudomonas palustris* ในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีการเจือจางและไม่มีการเจือจางน้ำเสีย การกำจัด COD กำจัดได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำเสียที่มีการเจือจาง และกำจัดได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำเสียที่ไม่มีการเจือจาง ในระยะเวลา 6 วัน

การใส่เชื้อจุลินทรีย์แบบเซลล์แขวนลอยเพิ่มเข้าไปในระบบ จะทำให้มีระบบความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ค่าความสกปรกของน้ำมีค่าลดลง โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศจะทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีค่าลดลง (สุวิมล, 2548) ดังเช่นการทดลองของ Yang *et. al*. (2002) ได้ทำการศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดแยกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ในการกำจัดคาร์บอน และไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่ากลุ่มจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน 95.1 เปอร์เซ็นต์ และลด TCOD และ FCOD ได้ 83.5 และ 84.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด โดยใส่เชื้อ S5-2 ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร ทุก 14 วัน ในระยะแรกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่สามารถจมตัวได้ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นผลจาก

การเจริญของเชื้อที่เพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตก๊าซได้ถึง 721.3 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ในระยะเวลากักเก็บ 30 วัน ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองของ Feng *et. al*. (2007) ที่การหมักมูลสุกร ในวันที่ 16 ของการทดลอง เกิดก๊าซ 468 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ กำจัด COD ได้ 65 เปอร์เซ็นต์ กำจัด VS ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระยะเวลากักเก็บในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นาน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงขึ้นด้วย (Cheng *et. al*., 2002)

สรุปผลการทดลอง

1. การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จาก แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำเสียฟาร์มสุกร ลำไส้สุกรและดิน ได้เชื้อทั้งหมด 67 ไอโซเลต

2. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่คัดเลือกได้มี 4 ไอโซเลตคือ เชื้อไอโซเลต S5-2, S5-7.1, S5-3 และ BP1-7

3. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ไอโซเลต ในรูปเซลล์แขวนลอย พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลา 21 วันได้ดีที่สุดคือ เชื้อไอโซเลต S5-2 รองลงมาคือ เชื้อไอโซเลต S5-7.1

4. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบเม็ด จุลินทรีย์ S5-2 ที่มีการเติมเชื้อปริมาณ 15 g/l โดยใส่เชื้อทุก 14 วัน มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการเลือกใช้และบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. 33 น.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรสิ่งแวดล้อม. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่มที่ 2.

กรมปศุสัตว์. 2533. สรุปผลการฝึกอบรมเกษตรกร เรื่องการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ประจำปีงบประมาณ 2532-2533. กรุงเทพฯ. 23 น.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมประเทศไทย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. 440 น.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ:มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สยามสเตชันเนอรีซับพลายส์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:พิมพ์ที่สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 703 น.

ธีระ เกรอต. 2539. วิศกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ จันทร์โพธ์. 2526. การจัดการการเลี้ยงสุกร. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 124 น.

นิภาพร ปุริธรรมเม และพิชญรัตน์ แสนไชยสุริยา. 2548. “ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร” จากปัญหาสิ่งแวดล้อมสู่ประโยชน์ด้านพลังงาน. ใน เอกสารนำเสนอในวิชา 117491 การสัมมนาทางสัตวศาสตร์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณตุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1-2. พิมพ์ครั้งที่ 1.

สุชาติ ทีฆกุล. 2536. “แนวทางการจัดการของเสียและน้ำเสียฟาร์มสุกร” การประชุมวิชาการระดับชาติ สวสท’36. เทคโนโลยีการควบคุมมลพิ. หน้า 357 - 362.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิมล สวยสม. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี:UASB. ใน วารสารเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. ปีที่ 2.ฉบับที่ 4. มกราคม-มีนาคม 2548. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Cheng, J. and Liu, B. 2002. Swine wastewater treatment in anaerobic digesters with floating medium. **Transactions of the American Society of Agricutural Engineers.** 45; 799-805

Deng, L.W., Zheng, P. and Chen, Z.A., 2006. Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater. **Process Biochemistry**. 41; 965-969 pp.

Feng, C., Shimada, S., Zhang, Z. and Maekawa, T.2007. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. **Waste Management**.

Imbeah M. 1997. Composting piggery waste : A review. **Bio. Tech**. (63) ; 97-203 pp.

Kim, M.K., Choi, K.M., Yin, C.R., Lee, K.Y., Im, W.T., Lim, J.H.and Lee, S.T., 2004. Odorous swine wastewater treatment by purple non-sulfur bacteria, *Rhodopseudomonas palustris*, isolated from eutrophicated ponds. **Biotechnology Letters.** 26: 819–822.

Pagilla K.R., Kim H. and Cheunbarn T. 1999. Aerobic thermophilic and anaerobic mesophilic treatment of swine waste. **Water Research**. Vol. 34(10) ; 2747-2753 pp.

RA.C.S., LO K.V., OH J.S. and Hong B.J. 1999. Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggery wastewater treatment. **Water Research**.Vol. 34(3) ; 965-973 pp.

Sanchez, E.R.,Borja, Travieso, T.,Martin, A. and Colmenarejo,M.F., 2005a. Effect of organic loading rate on the stability, operationalparameters and performance of a secondary upflow anaerobicsludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology** 96; 335–344.

Sanchez, E.R., Borja, Travieso, T., Martin, A. and Colmenarejo, M.F., 2005b. Effect of influent substrate concentration and hydraulic retention time onthe performance of down-flow anaerobic fixed bed reactors treatingpiggery wastewater in a tropical climate. **Process Biochemistry** 40; 817–829.

Yang, Y.P. and Kuroshima, M. 2000. A simple design and operation for the anaerobic treatment of highly concentrated swine waste in the tropics. **Water Research**. 35:3867-3875.

http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Nutrient Agar

- Beef Extract 3.0 กรัม
- Peptone 5.0 กรัม
- น้ำกลั่น 1000 มิลลิกรัม
- Agar 15 กรัม

ละลายส่วนผสมข้างต้นให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนาน 15 นาที

2. Nutrient Broth

- Beef Extract 3.0 กรัม
- Peptone 5.0 กรัม
- น้ำกลั่น 1000 มิลลิกรัม

ละลายส่วนผสมข้างต้นให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนาน 15 นาที

ภาคผนวก ข

ตารางผนวก 1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียที่ใช้จุลินทรีย์ทั้ง 26 ไอโซเลต ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นระยะเวลา 7 วัน

เชื้อ	ค่า TS(mg/l)		ค่า TVS(mg/l)		ค่า SS(mg/l)		ค่า COD เฉลี่ย(mg/l)	
	วันที่ 0	วันที่ 7	วันที่ 0	วันที่ 7	วันที่ 0	วันที่ 7	วันที่ 0	วันที่ 7
Control	4280	2090	3140	955	2700	405	2000	1000
SP-1	4280	1820	3140	810	2700	510	2000	1160
SP-4	4280	1965	3140	1005	2700	515	2000	1200
SP-5	4280	1990	3140	895	2700	580	2000	720
SP-7	4280	1920	3140	745	2700	375	2000	1240
SP-9	4280	1915	3140	815	2700	420	2000	1240
S5-2	4280	1480	3140	485	2700	135	2000	440
S5-3	4280	1855	3140	705	2700	435	2000	840
S5-7.1	4280	1685	3140	560	2700	580	2000	800
S10-9	4280	1925	3140	780	2700	345	2000	1120
S10-13	4280	2020	3140	880	2700	455	2000	1160
NB-4	4280	1875	3140	810	2700	535	2000	640
NB-5	4280	1925	3140	805	2700	450	2000	960
NB-6	4280	1890	3140	730	2700	365	2000	1160
NB-13	4280	1815	3140	735	2700	605	2000	1280
BP1-1	4280	1850	3140	800	2700	385	2000	1040
BP1-2	4280	2075	3140	955	2700	450	2000	1120
BP1-7	4280	1795	3140	715	2700	405	2000	600
BP2-1	4280	2040	3140	925	2700	385	2000	1200
BP2-2	4280	1925	3140	855	2700	415	2000	1280
BP3-1	4280	2065	3140	970	2700	640	2000	1040
BP3-2	4280	1895	3140	820	2700	360	2000	880
BP3-4	4280	1890	3140	795	2700	540	2000	680
BP3-6	4280	1910	3140	865	2700	285	2000	520
BP3-9	4280	1950	3140	845	2700	480	2000	1200
KR-4	4280	2025	3140	1050	2700	425	2000	640
KR-6	4280	1925	3140	845	2700	515	2000	880
KR-7	4280	1805	3140	860	2700	470	2000	760

ตารางผนวก 2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 21 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TS(mg/l)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Control	9053	4595	4400	4330	4345	3865	3420	3270
MIX	9053	5230	4500	4320	4405	3565	3290	3140
BP1-7	9053	5005	4330	4370	4250	3460	3215	3115
S5-2	9053	4592.5	4375	4240	4125	3355	3080	2975
S5-3	9053	4697.5	4665	4265	4415	3505	3345	3170
S5-7.1	9053	4637.5	4125	4215	4175	3430	3195	3090

ตารางผนวก 3 ปริมาณของแข็งระเหย (Total Volatile Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 21 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TVS(mg/l)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Control	5548	3082.5	2250	1830	2165	1700	1355	1205
MIX	5548	3460	2295	1890	2095	1505	1185	1035
BP1-7	5548	3482.5	2145	1740	2000	1365	1085	1030
S5-2	5548	2992.5	2005	1795	1855	1215	935	785
S5-3	5548	3052.5	2400	1845	2150	1400	1125	1000
S5-7.1	5548	2995	2105	1815	2050	1245	1020	930

ตารางผนวก 4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 21 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า SS(mg/l)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Control	1710	520	570	715	760	640	575	515
MIX	1710	590	590	610	610	545	445	420
BP1-7	1710	580	530	665	665	555	485	410
S5-2	1710	665	510	570	545	400	375	310
S5-3	1710	695	575	610	625	535	485	450
S5-7.1	1710	660	555	590	610	520	440	405

ตารางผนวก 5 ประสิทธิภาพการลดลงค่าซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 21 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า COD(mg/l)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Control	12000	8000	7680	7520	7040	6840	5520	5040
MIX	12000	7400	7520	7200	6400	6000	4800	4200
BP1-7	12000	7400	7040	6880	6240	5760	4560	4080
S5-2	12000	6800	6720	6400	5440	5280	4200	3720
S5-3	12000	7200	7360	7200	6080	5640	4920	4440
S5-7.1	12000	7200	7360	7200	6240	5520	4440	3960

ตารางผนวก 6 ประสิทธิภาพการลดลงค่าเอฟซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปเซลล์แขวนลอย ในการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 21 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า FCOD เฉลี่ย(mg/l)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Control	7360	6240	7040	6720	5920	5640	5040	4560
MIX	7360	5600	6720	6400	5600	5280	4320	3960
BP1-7	7360	5920	6080	5760	5120	5160	4200	3840
S5-2	7360	5440	5920	5440	4800	4680	3600	3360
S5-3	7360	6080	6240	5920	5280	5160	4440	4080
S5-7.1	7360	5760	6080	5760	5120	5040	4080	3720

ตารางผนวก 7 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TS(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	4275	1545	1820	1920	1975	1405	1545	1360	1420	1370	1305
S5-2	4275	1955	1855	1933	1832	1340	1365	1235	1175	1120	1140
S5-7.1	4275	1647	2125	1990	1950	1470	1525	1270	1320	1270	1275

ตารางผนวก 8 ปริมาณของแข็งระเหย (Total Volatile Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TVS(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	2885	583	730	813	838	455	300	260	255	205	165
S5-2	2885	960	790	855	757	335	225	145	110	75	80
S5-7.1	2885	553	1005	890	840	415	270	145	160	110	115

ตารางผนวก 9 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า SS(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	1360	185	140	275	300	317	213	220	210	103	100
S5-2	1360	230	125	255	255	167	157	163	173	80	63
S5-7.1	1360	220	100	275	315	207	203	197	203	117	73

ตารางผนวก 10 ค่าซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า COD(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	5120	2240	2480	3200	3200	2880	3040	2560	2240	1760	1680
S5-2	5120	1840	2240	2880	2640	2480	2400	2240	1520	1280	1080
S5-7.1	5120	2080	2320	3360	2720	2640	2800	2400	1920	1440	1200

ตารางผนวก 11 ค่าเอฟซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า FCOD(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	3200	2240	2400	2880	2400	2640	2720	2400	1920	1560	1320
S5-2	3200	1840	2160	2560	2240	2320	2160	1920	1440	960	900
S5-7.1	3200	2080	2320	2800	2400	2640	2480	2080	1920	1320	1080

ตารางผนวก 12 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาตร gas (ml)									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	40	70	270	180	110	90	120	210	160	330
S5-2	75	120	300	290	180	150	210	290	460	730
S5-7.1	95	120	300	350	270	210	240	270	420	850

ตารางผนวก 13 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ด ปริมาณต่างกันบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TS (mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	4275	1545	1820	1920	1975	1405	1545	1360	1420	1370	1305
S5-2 5g	4275	1955	1855	1933	1832	1340	1365	1235	1175	1120	1140
S5-2 10g	4275	1955	1675	1980	1990	1495	1440	1355	1275	1230	1220
S5-2 15g	4275	1542	1745	1860	1852	1350	1395	1100	1070	1045	1020
S5-7.1 5g	4275	1647	2125	1990	1950	1470	1525	1270	1320	1270	1275
S5-7.1 10g	4275	1587	2050	1840	1830	1325	1480	1090	1180	1155	1165
S5-7.1 15g	4275	1510	1675	1947	1940	1380	1510	1360	1325	1265	1275

ตารางผนวก 14 ปริมาณของแข็งระเหย (Total Volatile Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ด ปริมาณต่างกันบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า TVS(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	2885	583	730	813	838	455	300	260	255	205	165
S5-2 5g	2885	960	790	855	757	335	225	145	110	75	80
S5-2 10g	2885	875	580	853	810	415	250	190	145	100	90
S5-2 15g	2885	492	650	807	820	400	210	135	90	65	65
S5-7.1 5g	2885	553	1005	890	840	415	270	145	160	110	115
S5-7.1 10g	2885	495	960	773	765	360	255	135	105	80	90
S5-7.1 15g	2885	475	580	882	763	320	280	160	175	105	110

ตารางผนวก 15 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ด ปริมาณต่างกันบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า SS(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	1360	185	140	275	300	317	213	220	210	103	100
S5-2 5g	1360	230	125	255	255	167	157	163	173	80	63
S5-2 10g	1360	200	115	300	270	213	150	183	170	93	50
S5-2 15g	1360	195	80	260	280	197	167	147	150	23	27
S5-7.1 5g	1360	220	100	275	315	207	203	197	203	117	73
S5-7.1 10g	1360	225	75	245	285	170	193	173	193	77	53
S5-7.1 15g	1360	190	125	280	300	177	200	190	197	90	57

ตารางผนวก 16 ค่าซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ด ปริมาณต่างกันบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า COD(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	5120	2240	2480	3200	3200	2880	3040	2560	2240	1760	1680
S5-2 5g	5120	1840	2240	2880	2640	2480	2400	2240	1520	1280	1080
S5-2 10g	5120	2160	2160	3520	2800	2800	2720	2400	1840	1360	1140
S5-2 15g	5120	1760	2240	2960	2480	2800	2480	2080	1120	960	960
S5-7.1 5g	5120	2080	2320	3360	2720	2640	2800	2400	1920	1440	1200
S5-7.1 10g	5120	1760	2400	3200	2480	2560	2720	2400	1600	1120	1080
S5-7.1 15g	5120	1920	2240	3200	2880	2720	2560	2240	1760	1040	1020

ตารางผนวก 17 ค่าเอฟซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ดบำบัดน้ำเสีย ปริมาณต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า FCOD(mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	3200	2240	2400	2880	2400	2640	2720	2400	1920	1560	1320
S5-2 5g	3200	1840	2160	2560	2240	2320	2160	1920	1440	960	900
S5-2 10g	3200	2160	2160	3120	2400	2640	2320	2080	1560	1140	960
S5-2 15g	3200	1760	2080	2880	2240	2400	2240	1920	1080	780	840
S5-7.1 5g	3200	2080	2320	2800	2400	2640	2480	2080	1920	1320	1080
S5-7.1 10g	3200	1760	2320	2720	2480	2400	2480	2240	1500	900	900
S5-7.1 15g	3200	1920	2160	3120	2240	2560	2240	2080	1260	900	900

ตารางผนวก 18 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเม็ด ปริมาณต่างกันบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการ	ปริมาตรก๊าซ (ml)									
ทดลอง	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	40	70	270	180	110	90	120	210	160	330
S5-2 5g	75	120	300	290	180	150	210	290	460	730
S5-2 10g	85	140	490	475	300	240	250	270	420	770
S5-2 15g	70	120	450	350	320	240	210	280	450	780
S5-7.1 5g	95	120	300	350	270	210	240	270	420	850
S5-7.1 10g	105	120	290	300	240	190	270	370	520	800
S5-7.1 15g	60	60	250	120	270	180	270	430	560	800

ตารางผนวก 19 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการ	ค่า TS (mg/l)										
ทดลอง	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	9153	4365	4140	4448	4340	3715	3685	3515	3300	3270	2775
S5-2 7d	9153	3970	4675	4108	4355	3795	3775	3655	3180	3380	3005
S5-2 14d	9153	4175	4490	4225	4120	3660	3800	3535	3265	3140	2635

ตารางผนวก 20 ปริมาณของแข็งระเหย (Total Volatile Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการ	ค่า TVS (mg/l)										
ทดลอง	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	5648	1987	2135	2000	1845	1355	1290	1610	1525	1375	1065
S5-2 7d	5648	1855	2275	1878	1885	1370	1285	1645	1330	1440	1175
S5-2 14d	5648	1902	2160	1952	1730	1255	1355	1585	1425	1290	910

ตารางผนวก 21 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการ	**ค่า SS (mg/l)**										
ทดลอง	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	1710	650	550	720	650	735	660	570	505	535	415
S5-2 7d	1710	610	500	640	645	770	690	485	520	550	450
S5-2 14d	1710	605	540	670	590	760	615	470	495	490	395

ตารางผนวก 22 ค่าซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า COD (mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	12000	7200	7200	7040	6880	5760	5280	3720	2880	2880	2880
S5-2 7d	12000	7400	7680	7520	7200	6240	5040	3600	3240	3120	2760
S5-2 14d	12000	7600	7840	7200	6720	6000	5280	3480	2880	2760	2400

ตารางผนวก 23 ค่าเอฟซีโอดี ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ค่า FCOD (mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	7360	6080	7040	6880	5120	5520	5040	3600	2880	2280	2160
S5-2 7d	7360	6080	7360	7200	5760	6000	4680	3360	3120	2160	2040
S5-2 14d	7360	6400	7200	6880	5760	5760	4920	3240	2760	1920	1920

ตารางผนวก 24 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

วันที่	ระยะเวลาการใส่เชื้อ		
	6 L con	6 L 7 day	6 L 14 day
1	800	950	900
2	700	750	700
3	400	450	400
4	550	550	600
5	650	650	550
6	750	850	650
7	650	700	550
8	550	700	550
9	600	650	600
10	700	700	650
11	700	700	600
12	750	700	600
13	800	700	630
14	800	900	750
15	800	900	800
16	750	850	900

ตารางผนวก 24 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 รูปแบบเม็ดปริมาณ 15 g/l บำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาการใส่เชื้อต่างกัน เป็นระยะเวลา 30 วัน (ต่อ)

วันที่	ระยะเวลา		
	6 L con	6 L 7 day	6 L 14 day
18	600	600	600
19	750	850	800
20	650	600	650
21	750	750	800
22	1100	1300	1250
23	950	1150	1150
24	950	950	1050
25	1000	1000	1150
26	1100	1130	1300
27	1150	1150	1250
28	1150	1050	1200
29	1150	850	1200
30	1250	800	1300

ตารางผนวก 25 ประสิทธิภาพการใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 ในรูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ที่มีการใส่เชื้อทุก 14 วัน ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ (mg/l)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
TS	9153	4129	4600	4352	4278	3577	3870	3457	3172	3180	2826
TVS	5648	1914	2065	2012	1860	1177	1363	1447	1315	1230	1000
SS	1710	603	480	675	637	703	665	470	488	473	353
COD	12000	7300	7840	7280	6800	6120	5280	3480	2940	2760	2700
FCOD	7360	6000	6720	7040	6160	5820	4980	3240	2760	2220	2340

ตารางผนวก 26 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 ในรูปแบบเม็ด ปริมาณ 15 g/l ที่มีการใส่เชื้อทุก 14 วัน ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 30 วัน

วันที่	ปริมาตรก๊าซ (ml)
1	1725
2	1050
3	500
4	925
5	525
6	1850
7	1150
8	1200
9	1200
10	1275
11	1275
12	1220
13	1225
14	1450
15	1600
16	1525
17	1500
18	1450
19	1480
20	1475
21	1400
22	1475
23	1450
24	1400
25	1475
26	1475
27	1550
28	1450
29	1525
30	1425