ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สัตวศาสตร์)

ปริญญา

สัตวศาสตร์ | สัตวบาล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

Managing Dunging Wallow in Pig Housing for Biogas Production

นามผู้วิจัย นางวนิดา สืบสายพรหม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์สมชัย จันทร์สว่าง, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์ปราโมทย์ ศิริโรจน์, Dr.Agr.Sci.)

กรรมการ .....

(อาจารย์สมควร ชูวรรธนะปกรณ์, วท.ม.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ, วศ.ม.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์วีระศักดิ์ อุดมโชค, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

Managing Dunging Wallow in Pig Housing for Biogas Production

โดย

นางวนิดา สืบสายพรหม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สัตวศาสตร์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วนิดา สืบสายพรหม 2553: การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สัตวศาสตร์) สาขาสัตวศาสตร์ ภาควิชาสัตวบาล ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์สมชัย จันทร์สว่าง, Ph.D. 107 หน้า

ปัจจุบันส้วมน้ำ (Dunging wallow) ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการของเสียจากฟาร์มสุกรอย่างกว้างขวาง แต่คุณสมบัติทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียที่ระบายจากส้วมน้ำจากการจัดการแบบต่างๆ ยังมีจำกัด การทดลองทั้ง 3 ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียที่ระบายจากส้วมน้ำในระยะเวลาต่างๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด จำนวน 3 ซ้ำ ผลการศึกษา พบว่า การระบายน้ำเสียทุกวัน ทุก 2 วัน และทุก 3 วัน (โรงเรือนเลี้ยงสุกรมีขนาด 750 ตัว) มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นเฉลี่ย 32.10 30.44 และ 32.16 ลบ.ม. ตามลำดับ ($p>0.05$) คิดเป็นปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน 32.10 15.22 และ10.72 ลบ.ม. ค่า BOD_5 ของน้ำเสียจากการระบายน้ำทุกวัน ทุก 2 วัน และทุก 3 วัน เท่ากับ 1,792 2,529 และ 3,017 mg/l ค่า COD 7,779 8,463 และ 8,980 mg/l ค่า TS 11.27 20.70 และ 26.44 g/l ค่า TVS 2.90 5.42 และ 6.80 g/l ตามลำดับ ($p<0.01$) และ ค่า pH 7.06 7.16 และ 7.14 ตามลำดับ ($p>0.05$) คุณสมบัติของน้ำเสียเหล่านี้มีความสำคัญและจำเป็นในการพิจารณาเลือกและออกแบบชนิดและขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย

การทดลองที่ 2 ศึกษาการจัดการส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร เพื่อการควบคุมกลิ่นและการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 factorial in CRD จำนวน 2 ซ้ำ มีปัจจัยที่ศึกษา คือ การระบายน้ำเสียทุก 2 วัน และ ทุก 3 วัน ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็ม (EM) และการเสริมน้ำสกัดชีวภาพ (BE) ในส้วมน้ำ ผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียไม่มีผลต่อ pH TVS BOD_5 และ COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบแก๊สชีวภาพ ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน % TS removal และธาตุอาหารหลักพืช ($p>0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณน้ำเสีย TS ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบแก๊สชีวภาพ % BOD_5 removal ($p<0.05$) BOD_5 และ COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบแก๊สชีวภาพ และ % COD removal ($p<0.01$) การเสริม EM และBE มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในการเพิ่มผลผลิตแก๊สชีวภาพและปริมาณแก๊สมีเทน % COD removal COD และ BOD_5 ของน้ำเสียที่ออกจากระบบแก๊สชีวภาพ มีผลต่อการลด pH ($p<0.01$) และ COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบแก๊สชีวภาพ ($p=0.05$)

การทดลองที่ 3 ศึกษาการจัดการส้วมน้ำในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ เพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ วางแผนการทดลองแบบเปรียบเทียบ จำนวน 2 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า การเสริม EMในส้วมน้ำ มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า BOD_5 ของน้ำเสียที่ออกจากระบบแก๊สชีวภาพ, % BOD_5 removal และ % COD removal ($p<0.01$) และ COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบแก๊สชีวภาพ ($p=0.05$)

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wanida Suebsaiprom 2010: Managing Dunging Wallow in Pig Housing for Biogas Production. Doctor of Philosophy (Animal Science), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Somchai Chantsavang, Ph.D. 107 pages.

Generally, dunging wallow has been commercially accepted using as one of efficient method for pig farm waste management. However, such quantitative and qualitative of the wastewater released from the dunging wallow on various managements has not been apparently investigated in Thailand, yet. These three experiments were carried out in a big commercial pig farm. The objective of the experiment 1 was to study the characteristics of wastewater produced from dunging wallow at different draining frequencies. CRD with 3 replications was employed in this the results showed that everyday (T1), every two days (T2) and every three days (T3) drainage produced total wastewater (house of 750 pigs) of 32.10, 30.44 and 31.16 m^3 respectively ($p>0.05$), and the average wastewater produced/day were 32.10, 15.22 and 10.72 m^3, respectively. BOD_5 of T1, T2 and T3 were 1,792, 2,529 and 3,107 mg/l, while COD were 7,779, 8,463 and 8,980 mg/l. Further, TS were 11.27, 20.70 and 26.44 g/l, as well as TVS were 2.90, 5.42 and 6.80 g/l, respectively ($p<0.01$). Interestingly, there was nonsignificant in pH, i.e., 7.06, 7.16 and 7.14 ($p>0.05$). These figures are important and needed in selecting and designing types and sizes of wastewater treatment systems.

A specific objective of experiment 2 aimed at a management of dunging wallow for odor control and efficient biogas production. 2x3 Factorial in CRD with 2 replications was used in this experiment. The factors included in the study were every two days and every three days draining of dunging wallow and non addition, addition of effective microorganism (EM) and addition of Bio-extract (BE) in dunging wallow. The results showed that every two days and every three days drainage effected biogas production/day**,** pH, TVS, BOD_5, and COD of effluent, % TS removal and macro nutrients ($p>0.05$). The drainages effected in average wastewater produced/day, TS of influent, % BOD_5 removal ($p<0.05$), BOD_5 and COD of influent and % COD removal ($p<0.01$) respectively. The addition of BE or EM increased the biogas production/day and $\%CH_4$, % COD removal, BOD_5 and COD of effluent and reduced pH ($p<0.01$) and COD of influent ($p=0.05$).

A specific objective of experiment 3 aimed at a management of dunging wallow in a big commercial pig farm for efficient biogas production. Group Comparisons with 2 replications was used in this experiment. The results showed that the addition of EM increased the work hours of generator, BOD_5 of effluent, % BOD_5 removal and % COD removal ($p<0.01$) and COD of effluent ($p=0.05$)

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สมชัย จันทร์สว่าง ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์ อาจารย์สมควร ชูวรรธนะปกรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมโชค กรรมการวิชารอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยะวงศ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้แนวทางและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้ข้อคิดเพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณครู และ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้สั่งสอน อบรม และประสิทธิประศาสตร์วิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (กลุ่มธุรกิจสุกร) ที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์สถานที่และสัตว์ทดลองในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณในความร่วมมือของพนักงานทุกท่านที่ช่วยให้งานวิจัยดำเนินสำเร็จได้อย่างราบรื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณอมรรัตน์ ตันบุญจิตต์ ที่ช่วยติดต่อประสานงานในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนพัฒนาอาจารย์วิทยาเขตสารสนเทศและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนแก่ผู้วิจัย

ขอกราบระลึกในพระคุณของเตี่ยและแม่ ที่อบรม เลี้ยงดูและสั่งสอนผู้วิจัยมาเป็นอย่างดี รวมทั้งเป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอบคุณพี่สาวและพี่ชายของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาเล่าเรียนมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณพิเชษฐ์ สืบสายพรหม ที่เป็นกำลังใจและทำทุกสิ่งทุกอย่างเพื่อผู้วิจัย และสุดท้ายขอบคุณ ด.ช.พิชญุตม์ สืบสายพรหม ที่สร้างแรงมานะในครั้งนี้

ประโยชน์และคุณความดีอันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอยกให้แก่ผู้มีพระคุณทั้งหลาย ข้อผิดพลาดประการใดที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่ผู้เดียว

วนิดา สืบสายพรหม (จูลเมตต์)

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมีและการคำนวณ	84
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	107

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ	4
2	ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะที่มีผลต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน	9
3	ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะของสุกรต่อตัวต่อวัน	10
4	ประมาณการลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดจากสุกร 1 หน่วยปศุสัตว์	12
5	การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร	13
6	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของน้ำสกัดชีวภาพ	18
7	ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	30
8	คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	31
9	ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	35
10	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	38
11	ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	41
12	ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี (COD) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	44
13	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	47
14	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	50
15	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (ลิตร)	52
16	ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	54
17	ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	56
18	ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	57
19	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	59
20	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	60
21	ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)	62
23	สรุปผลการทดลองการจัดการส้วมน้ำเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ	63
24	ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	67
25	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	68
26	ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	69
27	ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี (COD) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	71
28	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	72
29	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร	73
30	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและปริมาณของก๊าซมีเทน	74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ช่วงค่า BOD_5 ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง	96

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน	5
2	การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis	6
3	ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน	7
4	ส้วมน้ำแบบหาดทราย (Sloped-floor wallow)	14
5	ส้วมน้ำแบบพื้นลาดเอียงและท้ายเล้าขุดเป็นบ่อตื้น (Under-floor wallow)	15
6	ส้วมน้ำแบบก่อปูนเป็นอ่างน้ำ (Above-floor wallow)	16
7	ส้วมน้ำแบบแนวยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นถึงท้ายโรงเรือน (Wallow along the length of the house)	17
8	หลอดสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ	21
9	องค์ประกอบของถังปฏิกิริยา	22
10	ระบบเก็บแก๊สชีวภาพ	23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BE	=	bio-extract
BOD_5	=	biochemical oxygen demand
CH_4	=	Methane
COD	=	chemical oxygen demand
CRD	=	completely randomized design
EM	=	effective microorganism
TS	=	total solid
TVS	=	total volatile solid

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

Managing Dunging Wallow in Pig Housing for Biogas Production

คำนำ

ปัจจุบันการทำฟาร์มปศุสัตว์โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกร มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการเลี้ยงในทุกๆ ด้าน เพื่อส่งผลให้ผู้ประกอบการได้รับผลตอบแทนที่สูงสุดเหมาะสมกับการลงทุน เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ของสุกร เพื่อให้สัตว์มีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตสูงสุดคุ้มค่ากับการลงทุน การพัฒนาในเรื่องของโภชนะศาสตร์ เพื่อให้สุกรสามารถได้รับสารอาหารที่เพียงพอ เหมาะสมตรงตามความต้องการ รวมทั้งสามารถช่วยในการลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาในด้านโรงเรือน เพื่อให้สุกรสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างมีความสุขและไม่เป็นการทรมานสัตว์ (Animal welfare) และเทคโนโลยีอีกด้านที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกร ที่ปล่อยสู่สภาวะแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัดก่อให้เกิดผลกระทบและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก ในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการต่างๆ มาใช้เพื่อบำบัดของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่เกิดขึ้น คือ การนำของเสียไปผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน(Anaerobic treatment) จะได้แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นผลพลอยได้ และยังช่วยลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ลดภาวะก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse effect) นอกจากนั้นกากตะกอนได้จากการบำบัด สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยที่มีคุณค่าทางอาหารพืชสูง

การพัฒนาอีกด้านหนึ่งของการเลี้ยงสุกร คือได้มีการปรับปรุงและดัดแปลงลักษณะโรงเรือน โดยเกษตรกรจะสร้างส้วมน้ำ (Dunging wallow) ไว้ภายในโรงเรือน ส้วมน้ำสามารถที่จะใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งนอกจากจะสามารถบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น ช่วยลดปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้น และยังสามารถที่จะใช้ร่วมกับเทคโนโลยีทางชีวภาพในการบำบัดได้ เทคโนโลยีทางชีวภาพที่พบมีการนำมาใช้ในการเลี้ยงสุกร เช่น การเสริมจุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective microorganism; EM) การเสริมน้ำสกัดชีวภาพ (Bio-extract; BE) การเสริมสารสกัดจากพืชหรือสมุนไพร เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษานี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ในลักษณะตำรับการทดลองที่ได้รับปัจจัยต่างๆ กัน เพื่อประกอบการพิจารณาคัดเลือกตำรับการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และเหมาะสมในการที่เกษตรกรสามารถที่นำไปใช้ เพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิตสุกร ลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกร รวมทั้งพัฒนาในด้านการบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยพิจารณาถึงปริมาตรและคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม (BOD_5 COD TS TVS และ pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากส้วมน้ำในระยะเวลาต่างๆ

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) ในเชิงปริมาณและคุณภาพ รวมทั้งศึกษาถึงปริมาตร คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม และคุณค่าความเป็นปุ๋ยของน้ำเสียที่ระบายออกจากส้วมน้ำในระยะเวลาต่างๆ กัน ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มและน้ำสกัดชีวภาพ

3. เพื่อศึกษาการจัดการส้วมน้ำของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) ในเชิงปริมาณและคุณภาพ รวมทั้งศึกษาถึงปริมาตรและคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม (BOD_5 COD TS TVS และ pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากส้วมน้ำ ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. แก๊สชีวภาพ (Biogas)

แก๊สชีวภาพ (Biogas) คือแก๊สที่มีเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายพวกอินทรียวัตถุต่างๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ฯลฯ (พัชริน, 2538; วีรพันธ์, 2538; มงคล และคณะ, 2535) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ กระบวนการย่อยสลายจะเกิดขึ้น โดยการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic process) ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลาย คือ ก๊าซผสมหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

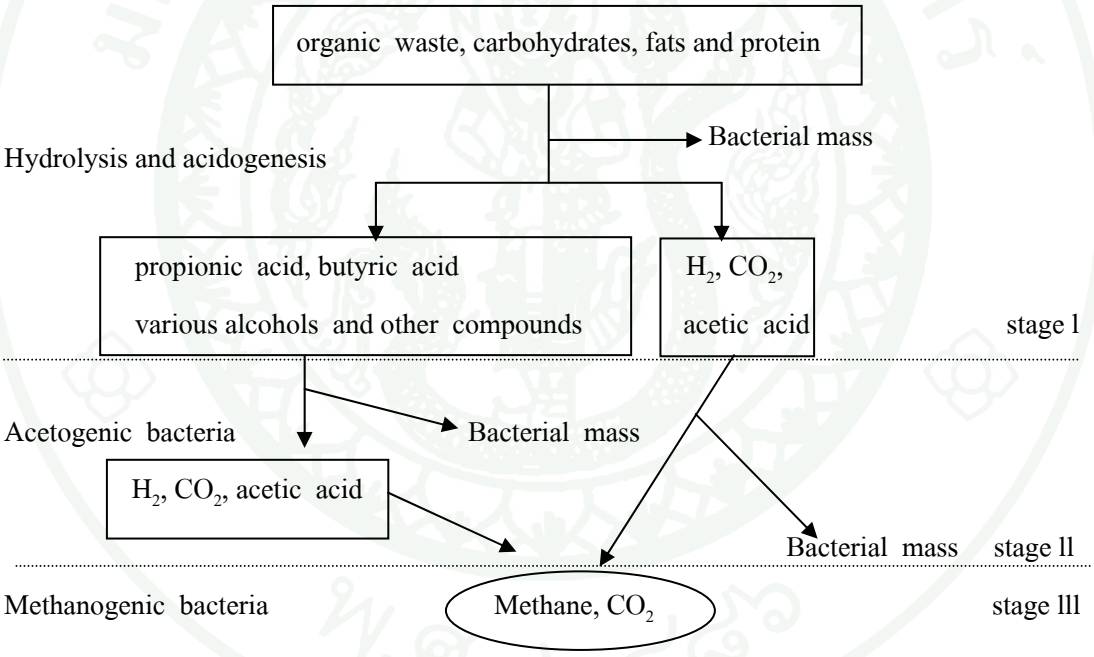
องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
มีเทน	50 – 70
คาร์บอนไดออกไซด์	25 – 40
ไนโตรเจน	0.5 - 3.0
ไฮโดรเจน	0.5 - 1.5
คาร์บอนมอนนอกไซด์	0.5 - 1.5
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.01 - 0.05

ที่มา: ดัดแปลงจาก นวลจันทร์ (2531); กรมควบคุมมลพิษ (2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic process) เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ เป็นชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ย่อยสลายให้เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลที่เล็กลง จนกระทั่งได้ก๊าซผสมที่มีองค์ประกอบเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่นๆ โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายได้ 3 ขั้น (ภาพที่ 1) (Meynell, 1976; Price and Cheremisinoff, 1981; ESCAP, 1984; Barker, 1985; Marty, 1986; Lowc *et al*., 1993) ดังนี้



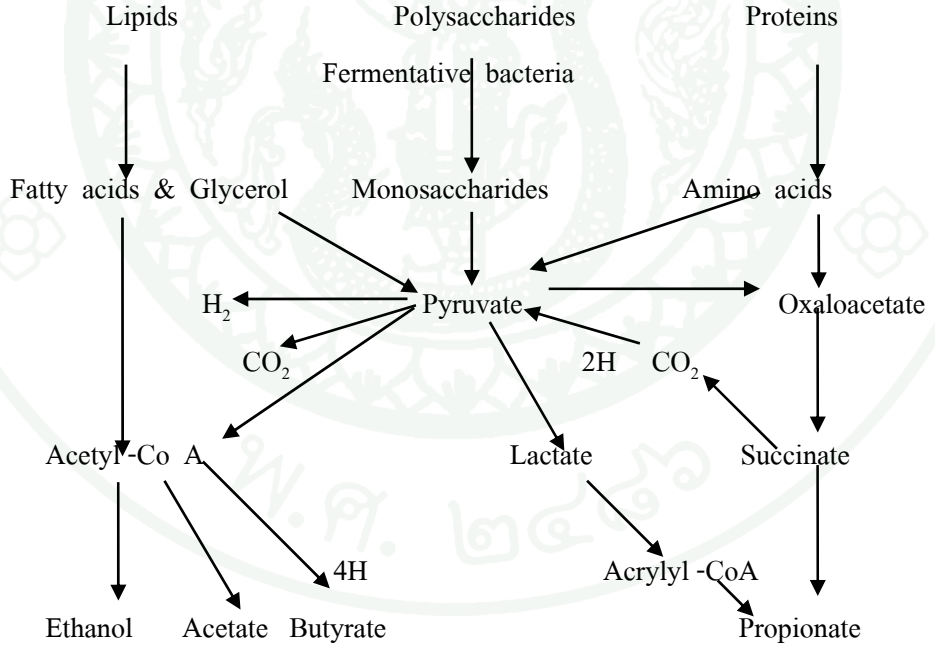
ภาพที่1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน

ที่มา: Lowe *et al.* (1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่และการผลิตกรดอินทรีย์ (Hydrolysis and acidogenesis)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (polymer) ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ปล่อยออกจากเซลล์ของแบคทีเรียในกลุ่ม hydrolytic bacteria และ fermentation bacteria ทำให้สารอินทรีย์แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ สารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรต (polysaccharides) ถูกย่อยสลายไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monosaccharides) โปรตีนถูกย่อยสลายไปเป็นกรดอะมิโน (amino acids) ไขมันถูกย่อยสลายไปเป็นกรดไขมัน (fatty acids) และกลีเซอรอล (glycerol) ส่วนกรดนิวคลีอิก (nucleic acids) จะถูกย่อยสลายไปเป็น purines และ pyrimidines สารเหล่านี้จะถูกหมักไปเป็นกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis

ที่มา: Bryant (1979); Holland. *et al.* (1987)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.2 การผลิตกรดอะซิติก (Acetogenesis)

การเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่อยู่ในรูปสารละลายได้แก่ กรดโพพิโอนิค (propionic acid) กรดบิวทิริค (butyric acid) กรดไอโซบิวทิริค (isobutyric acid) กรดไอโซวาเลอริค (isovalerric acid) กรดวาเลอริค (valeric acid) กรดแลคติก (lactic acid) และกรดฟอร์มิค(formic acid) ไปเป็น อะซิเตท (acetate) และหรือ ฟอร์เมท (formate) นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ด้วย

1.1.3 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในช่วง Acidogenesis จะถูกแบคทีเรียในกลุ่ม methanogenic bacteria ย่อยสลายแล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Barker (1985) ได้เสนอขั้นตอนของปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการเกิดก๊าซมีเทนไว้ดังนี้

$$4CH_3CH_2COOH + H_2O \longrightarrow 4CH_3COOH + CO_2 + 3CH_4 \quad (1)$$

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2)$$

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (3)$$

ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน

ที่มา: Barker (1985)

ก๊าซมีเทนเกือบทั้งหมดจะได้จากปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากกรดอะซิติก (acetic) นอกเหนือจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชั่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอร์เมท (formate) เมทธานอล (methanol) และเมทธิลลามิน (methylamine)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ปัจจัยและสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแก๊สชีวภาพ

1.2.1 อุณหภูมิ (Temperature)

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจน แบคทีเรียที่อยู่ในบ่อแก๊สชีวภาพจะทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 - 42 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แบคทีเรียสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ดีที่สุดประมาณ 35 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลงไป 10 องศาเซลเซียส (กรมควบคุมมลพิษ, 2538; พัชริน, 2538; สุริยะ, 2539)

1.2.2 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.7-7.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2538; พัชริน, 2538; สุริยะ, 2539) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในบ่อแก๊สชีวภาพ เป็นผลมาจากกรดไขมันที่สร้างขึ้นจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2538; พัชริน, 2538) กรดไขมันที่มีระดับสูงจะส่งผลทำให้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว (สุริยะ, 2539)

1.2.3 สารอาหารและธาตุอาหาร (Nutrients and elements)

ระบบบ่อแก๊สชีวภาพเป็นการทำงานของแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจึงต้องการอาหารในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ สารอาหารที่แบคทีเรียใช้ได้จากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยประกอบไปด้วย ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ได้แก่ ไนโตรเจน(nitrogen ; N) ฟอสฟอรัส(phosphorus ; P) กำมะถัน(sulfur ; S) และธาตุอาหารรอง (Micronutrients หรือ Trace elements) ได้แก่ แคลเซียม(calcium ; Ca) แมกนีเซียม(magnesium ; Mg) สังกะสี(zinc ; Zn) แมงกานีส (manganese ; Mn) ทองแดง (copper ; Cu) โดยเฉพาะธาตุเหล็ก (ferrous ; Fe) นิเกิล (nickel ; Ni) และโคบอลท์ (cobalt ; Co) เป็นธาตุที่มีองค์ประกอบสูงในเซลล์ของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน (กรมควบคุมมลพิษ, 2538; พัชริน, 2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.4 สารที่เป็นพิษ (Toxic substances)

ก. ออกซิเจน(oxygen) ก๊าซออกซิเจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (methane formers) (พัชริน, 2538; สุริยะ, 2539)

ข. กรดไขมัน(volatile fatty acid) กรดไขมันที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป มาจากการเติมสารอินทรีย์หรือน้ำเสียลงในบ่อแก๊สชีวภาพมากเกินไป เนื่องจากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดจากสารอินทรีย์ จะมีอัตราการทำงานที่เร็วกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายกรดไขมันเป็นก๊าซมีเทน จึงมีการสะสมของกรดไขมันอยู่ในบ่อแก๊สชีวภาพในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน

ค. ยาปฏิชีวนะ(antibiotics) ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะในน้ำเสีย มีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะที่มีผลต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน

ยาปฏิชีวนะ	ความเข้มข้น(มิลลิกรัมต่อลิตร)
โมเนนซีน(monensin)	>100
ออกซีเตรทตร้าไซคลิน(oxytetracycline)	500
บาซิตาซีน(bacitracin)	1,000
เพนนิซิลิน(penicilin)	>1,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2538); พัชริน (2538)

ง. แอมโมเนีย (ammonia) การย่อยสลายสารโปรตีนในน้ำเสียจะได้แอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียมีความจำเป็นต่อระบบแก๊สชีวภาพ คือ เป็นอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย และช่วยลดสภาพความเป็นกรดอันเนื่องมาจากกรดไขมันได้ แอมโมเนียที่มีในปริมาณมากเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน ทำให้การสร้างแก๊สชีวภาพในระบบมีประสิทธิภาพที่ลดลง สามารถแก้ไขโดยการลดปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นแบคทีเรียจะสามารถทำงานได้อย่างปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ของเสียจากฟาร์มสุกร

กระบวนการผลิตสุกรมีการดำเนินกิจกรรมต่างๆ เช่น การให้อาหารและน้ำ การป้องกันโรค การทำความสะอาดคอกและโรงเรือน เป็นต้น กิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดมลพิษได้แก่ มูลสุกร ซากสุกรที่ตายแล้ว รก ขวดยา ถุงใส่อาหาร ขวดน้ำเชื้อ ปัสสาวะ น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดโรงเรือน และก๊าซชนิดต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) สุกรหนึ่งตัวสามารถผลิตของเสียในปริมาณเทียบกับมนุษย์ 2 – 3 คนต่อวัน (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2540) ของเสียจากฟาร์มสุกรที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ มูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

1.3 มูลสุกร

มูลสุกรประกอบด้วยส่วนที่เหลือของอาหารเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ เช่น ส่วนที่เป็นของแข็งเยื่อใย หรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึม สิ่งที่ขับถ่ายออกมาจากร่างกายโดยเฉพาะจากทางเดินอาหาร เช่น เยื่อบุผนังลำไส้ เยื่อเมือก แร่ธาตุ แบคทีเรียและผลผลิตของแบคทีเรีย ในมูลสุกรประกอบด้วยน้ำประมาณ 65 – 85 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ และอนินทรีย์วัตถุประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ การขับถ่ายปกติของสุกรจะผันแปรไปตามอายุ เพศและขนาดของสุกร (เตือนใจ, 2546; กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ชนิดและปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณน้ำที่สุกรได้รับและปัจจัยอื่นๆ เช่น สุขภาพ เป็นต้น (Sanerlandt, 1979 อ้างโดยพัชริน, 2538) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะของสุกรต่อตัวต่อวัน

น้ำหนักสุกร	อุจจาระ	ปัสสาวะ	อุจจาระ+ปัสสาวะ	% น้ำหนักตัว		
(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	อุจจาระ(กก.)	ปัสสาวะ(กก.)	รวม
40	1.02	2.60	3.62	2.5	6.5	9.0
60	1.50	2.57	4.08	2.5	4.3	6.8
90	1.90	2.55	4.45	2.1	2.8	4.9
130	2.15	2.74	4.89	1.7	2.1	3.8

ที่มา: Sanerlandt (1979) อ้างโดย พัชริน (2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิวัฒน์ (2543) รายงานการสำรวจพบว่า ปริมาณสิ่งขับถ่ายที่เกิดจากสุกรทั่วทั้งประเทศมีวันละ 34,089 ตันต่อวัน โดยพบว่ามีปริมาณมากที่สุดในจังหวัดราชบุรีและนครปฐม 4,748.2 และ 4,035.3 ตันต่อวัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในการล้างทำความสะอาดคอกสุกรเป็นสาเหตุที่สำคัญ เนื่องจากในการล้างทำความสะอาดคอกต้องใช้น้ำ 20 – 40 ลิตรต่อตัว

นิรันดร และ คณะ (2544) ทำการสำรวจฟาร์มสุกรในการจัดการสิ่งขับถ่ายที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือนสุกร พบว่า เกษตรกรใช้วิธีการโกยมูลออกจากพื้นแล้วใช้น้ำฉีดล้างตาม 2,662 ฟาร์ม ใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดเป็นหลัก 1,047 ฟาร์ม โกยมูลสุกรออกโดยไม่มีการใช้น้ำทำความสะอาด 306 ฟาร์ม ไม่ระบุวิธีการในการทำความสะอาด 1,915 ฟาร์ม และใช้วิธีการอื่นๆ ในการจัดการ เช่น การปล่อยลงบนผิวดิน 48 ฟาร์ม คิดเป็น 44.53 17.52 5.12 32.03 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1.4 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ผู้เลี้ยงสุกรจะทำการฉีดล้างทำความสะอาดทุกวัน ส่วนน้ำปัสสาวะจะมีปริมาณน้อยกว่ามาก กรมควบคุมมลพิษ(2542) ได้ทำการสำรวจปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรสรุปได้ว่า ปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ วิธีการในการทำความสะอาดพื้นคอกและประเภทของการเลี้ยงสุกร เช่น ถ้ามีการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนใช้น้ำฉีดล้าง ความสกปรกของน้ำเสียจะต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำฉีดล้างพื้นคอกโดยไม่มีการเก็บกวาดมูล และผู้เลี้ยงสุกรมักเน้นความสะอาดของสุกรพ่อแม่พันธุ์มากกว่าสุกรขุน โดยในขณะที่ทำความสะอาดโรงเรือนของพ่อแม่พันธุ์ผู้เลี้ยงมักจะฉีดล้างตัวสุกรด้วย ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมากกว่าในสุกรขุน เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดต่างๆ ได้ดังนี้ (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ประมาณการลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดจากสุกร 1 หน่วยปศุสัตว์

	ขนาดฟาร์ม		
	เล็ก(<60 นปส.)	กลาง(60-600 นปส.)	ใหญ่(>600 นปส.)
1.มูลสุกรสด(ความชื้น 65%) (กก.)	10.5	10.5	10.5
2.ปัสสาวะ(ลิตร)	26.5	26.5	26.5
3.น้ำเสียจากสุกร(ลิตร)	37	37	37
- ของแข็งรวม(มก./ล.)	100,000	100,000	100,000
- ของแข็งระเหย(มก./ล.)	78,000	78,000	78,000
- ซีโอดี(มก./ล.)	110,000	110,000	110,000
- บีโอดี(มก./ล.)	50,000	50,000	50,000
4.น้ำล้างคอก(ลิตร)	37	74	185
5.น้ำเสียรวมทั้งหมด(ลิตร)	74	111	222
- ของแข็งรวม(มก./ล.)	50,000	33,000	16,000
- ของแข็งระเหย(มก./ล.)	39,000	25,000	12,000
- ซีโอดี(มก./ล.)	55,000	36,000	18,000
- บีโอดี(มก./ล.)	28,000	18,000	9,000

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2542)

3. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การสำรวจชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกรขนาดต่างๆ ในประเทศไทย พบว่าในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ (สุกรมากกว่า 5,000 ตัว) ชนิดของระบบบำบัดที่ใช้เป็นแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย 81.2 เปอร์เซ็นต์ และการใช้เครื่องแยกมูลสุกรร่วมกับบ่อเก็บน้ำเสีย 18.2 เปอร์เซ็นต์ ในฟาร์มสุกรขนาดกลาง (จำนวนสุกร 501 – 5,000 ตัว) พบการใช้ระบบบำบัดเป็นบ่อพักน้ำเสีย 1 บ่อ พบ 44.1 เปอร์เซ็นต์ (จากการเลือกใช้ระบบบำบัดรูปแบบนี้ พบว่ามีการไหลล้นลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ) ใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย 38.2 เปอร์เซ็นต์ ใช้เครื่องแยกมูลสุกรร่วมกับบ่อเก็บน้ำเสีย 8.8 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระบบไบโอแก๊ส 2.9 เปอร์เซ็นต์ ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก (จำนวนสุกรน้อยกว่า 500 ตัว) มีการใช้ระบบบำบัดหลายรูปแบบตามความเหมาะสมกับพื้นที่และความต้องการของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจ้าของฟาร์ม คือ ไม่มีการใช้ระบบบำบัด 12.7 เปอร์เซ็นต์ ใช้เครื่องแยกมูลสุกรร่วมกับการใช้บ่อเก็บน้ำเสีย 3.6 เปอร์เซ็นต์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร

ขนาดฟาร์ม	เปอร์เซ็นต์ฟาร์มสุกร				
	1*	2*	3*	4*	5*
เล็ก (<500 ตัว)	12.7	34.5	36.3	3.6	9.1
กลาง(501 – 5,000 ตัว)	0	44.1	38.2	8.8	2.9
ใหญ่(>5,000 ตัว)	0	0	81.2	18.2	0
เฉลี่ย	7	37	42	7	6

หมายเหตุ 1* = ไม่มีระบบบำบัด 2* = บ่อพักน้ำเสีย 1 บ่อ 3* = ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย
4* = เครื่องแยกมูลสุกรร่วมกับบ่อเก็บน้ำเสีย 5* = ระบบไบโอแก๊ส

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2542)

4. ส้วมน้ำที่ใช้ในโรงเรือนเลี้ยงสุกร

ปัจจุบันการทำฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นสาเหตุสำคัญของแหล่งกำเนิดของเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียที่ไม่ได้รับการบำบัดก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก ดังนั้น การนำส้วมน้ำ (Dunging wallow) มาใช้ประกอบในโรงเรือนเลี้ยงสุกรจะช่วยให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นไปได้สะดวกขึ้น สุกรจะถ่ายมูลและปัสสาวะลงในส้วมหรืออ่างน้ำ ทำให้พื้นที่ภายในคอกและโรงเรือนไม่สกปรก ประหยัดแรงงานในการทำความสะอาด และเป็นการเตรียมคุณสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ให้มีความเหมาะสมในการที่จะนำไปบำบัดขั้นต่อไป การสร้างส้วมน้ำยึดหลักตามลักษณะทางสรีระวิทยาของสุกร เนื่องจากสุกรไม่มีต่อมเหงื่อที่ช่วยในการระบายความร้อนออกจากร่างกาย ดังนั้น การสร้างส้วมน้ำหรืออ่างน้ำเพื่อให้สุกรลงไปแช่เพื่อลดความร้อนออกจากร่างกาย เป็นการลดสภาวะเครียดของสุกรได้ทางหนึ่ง (ประวัติ, 2545) และส่งผลให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี ส้วมน้ำที่นิยมใช้ในฟาร์มสุกรมี 4 รูปแบบ (วนิดา, 2547) ได้แก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 ส้วมน้ำแบบหาดทราย (Sloped – floor wallow)

ส้วมน้ำชนิดนี้เป็นแบบที่ทำพื้นให้ลาดเทลงไปด้านท้าย มีความลาดเอียงประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และปล่อยให้น้ำท่วมขังท้ายเล้าประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร ส้วมน้ำลักษณะนี้ได้ผลดี สามารถลดการสูญเสียน้ำที่รั่วซึมจากหัวให้น้ำอัตโนมัติได้ดี แต่การระบายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากระดับน้ำที่ขังในส้วมน้ำไม่สูงมากนัก ทำให้สุกรไม่สามารถลงไปนอนแช่ทั้งตัวได้ และไม่มีขอบเขตที่แน่นอนของส้วมน้ำ ขึ้นกับการเอ่อของน้ำเมื่อสุกรลงไปนอนแช่ ซึ่งอาจทำให้มูล ปัสสาวะและน้ำเสียท่วมเข้าไปในพื้นที่นอนของสุกรได้ แต่ส้วมน้ำแบบนี้สะดวกต่อการจัดการ ประหยัดน้ำ ทำความสะอาดง่ายและเหมาะสำหรับโรงเรือนที่สร้างใหม่ (ภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 ส้วมน้ำแบบหาดทราย (Sloped – floor wallow)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ส้วมน้ำแบบพื้นลาดเอียงและท้ายเล้าขุดเป็นบ่อตื้น (Under – floor wallow)

ส้วมน้ำแบบนี้สุกรสามารถลงไปนอนแช่ได้ มีความลาดเอียงของพื้นคอกไปทางด้านท้ายของคอก และขุดเป็นบ่อเพื่อขังน้ำบริเวณท้ายคอก เหมาะกับการสร้างร่วมกับโรงเรือนสร้างใหม่ ข้อดีของส้วมน้ำแบบนี้คือ ประหยัดน้ำเพราะน้ำไม่รั่วไหล แต่มีข้อเสียคือสุกรที่ย้ายเข้ามาใหม่จากโรงเรือนอนุบาล ช่วง 1 – 2 สัปดาห์แรก สุกรจะกลัว ไม่กล้าก้าวลงไปแช่น้ำหรือถ่ายมูลในส้วมน้ำ ทำให้พื้นคอกจะสกปรกมากในระยะแรก และเมื่อสุกรสามารถปรับตัวได้จะลงไปแช่ในส้วมน้ำตามปกติ (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 5 ส้วมน้ำแบบพื้นลาดเอียงและท้ายเล้าขุดเป็นบ่อตื้น (Under – floor wallow)

4.3 ส้วมน้ำแบบก่อปูนเป็นอ่างน้ำ (Above – floor wallow)

ส้วมน้ำชนิดนี้เป็นรูปแบบที่เหมาะสำหรับฟาร์มที่มีโรงเรือนเดิมอยู่แล้ว และต้องการสร้างส้วมน้ำให้กับสุกร สามารถทำได้ง่ายโดยการก่ออิฐเป็นบ่อ ยกขอบสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร กว้างยาวประมาณ 1.2 x 2 เมตร ส้วมน้ำแบบนี้ก่อสร้างง่าย แต่มีข้อเสีย คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

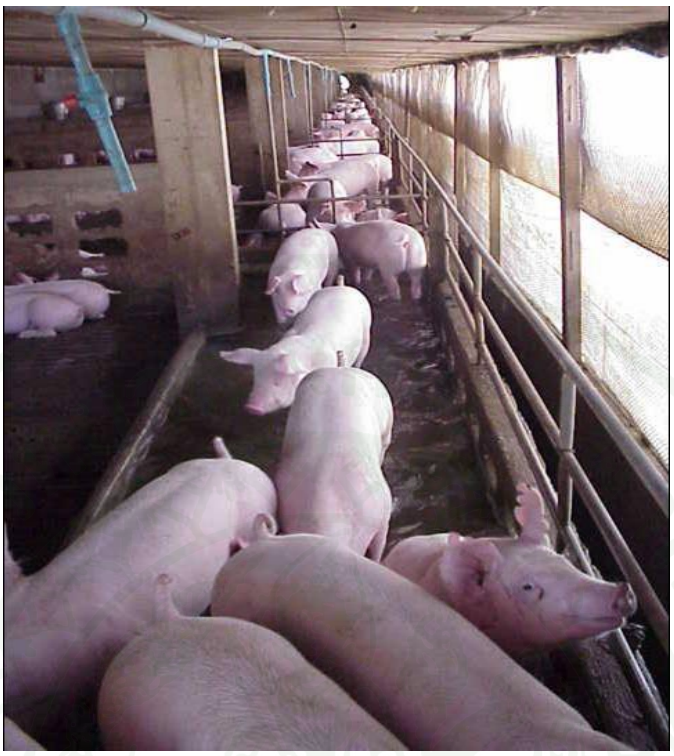
สิ้นเปลืองน้ำ เนื่องจากในช่วงที่สุกรหลายตัวลงไปนอนแช่ในส้วมน้ำทำให้น้ำล้นจากบ่อ ทำให้พื้นคอกเฉอะแฉะ ที่สำคัญไม่สะดวกต่อการทำความสะอาด (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 ส้วมน้ำแบบก่อปูนเป็นอ่างน้ำ (Above – floor wallow)

4.4 ส้วมน้ำแบบแนวยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นถึงท้ายโรงเรือน (Wallow along the length of the house)

ส้วมน้ำแบบนี้เป็นรูปแบบที่ก่อขอบปูนสูงจากพื้นประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร ยาวตลอดตั้งแต่ต้นจนถึงท้ายโรงเรือน และพื้นส้วมน้ำลาดเอียงประมาณ 0.12 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่ส้วมน้ำประมาณ ¼ ของพื้นที่คอก และตรงบริเวณรอยต่อระหว่างส้วมน้ำกับพื้นคอกจะใช้พื้นสแลต 1 แผ่นวางยาวตลอดแนวส้วมน้ำ ในเวลาที่สุกรขึ้นจากส้วมน้ำ สแลตจะช่วยสะเด็ดน้ำจากตัวสุกรทำให้พื้นคอกไม่แฉะ และเป็นการระบายน้ำที่ล้นจากส้วมน้ำในขณะที่สุกรลงแช่ การเติมน้ำในส้วมน้ำจะอาศัยการควบคุมโดยระบบลูกลอย ส่วนการระบายน้ำเสียออกจะใช้การเปิดท่อที่ปิดเอาไว้ น้ำเสียทั้งหมดจะไหลออกจากโรงเรือนอย่างรวดเร็ว ทำให้มีข้อดีคือประหยัดแรงงานในการทำความสะอาด การจัดการทำความสะอาดได้ง่าย แต่เมื่อเกิดโรคระบาดหรือโรคติดต่อจะสามารถติดต่อกันทั้งโรงเรือน (ภาพที่ 7)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ส้วมน้ำแบบแนวยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นถึงท้ายโรงเรือน
(Wallow along the length of the house)

5. เทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ร่วมกับส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร

การขับถ่ายของสุกรลงในส้วมน้ำ ทำให้มูลและปัสสาวะละลายรวมกันอยู่ในส้วมน้ำ จากลักษณะดังกล่าว เราสามารถที่จะนำเทคโนโลยีทางชีวภาพ มาช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น และเป็นขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดเป็นอย่างดี เทคโนโลยีทางชีวภาพที่มีการใช้ในการเลี้ยงสุกร ได้แก่ การใช้สารสกัดจากพืช เช่น สารสกัดจากต้นยัคคา (วนิดา, 2543) การใช้น้ำสกัดชีวภาพ (Bio-extract; BE) หรือการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective microorganism; EM) เป็นต้น เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถใช้ร่วมกับการใช้ส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร เทคโนโลยีทางชีวภาพที่มุ่งเน้นในการศึกษาครั้งนี้ คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1 น้ำสกัดชีวภาพหรือไบโอเอกซ์แทรก (Bio-extract; BE)

น้ำสกัดชีวภาพได้จากการหมักโดยใช้ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ส่วนของใบพืชชนิดต่างๆ ใบหญ้า ส่วนของพืชที่ตัดแต่งจากแปลง ส่วนที่มีตาข้างและผลอ่อน ฯลฯ โดยนำส่วนของพืชคลุกน้ำตาลหรือกากน้ำตาล ปิดให้สนิทในภาชนะ น้ำเลี้ยงในพืชจะถูกสกัดออกมา การหมักจะเกิดขึ้นโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (ชมรมเกษตรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ม.เกษตร, ม.ป.ป.) น้ำสกัดชีวภาพจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเลี้ยงในต้นพืช โดยปกติน้ำเลี้ยงในต้นพืชสดจะมีอยู่ประมาณ 90 – 98 เปอร์เซ็นต์ (ชัยสิทธ์ และ สุดประสงค์, 2543)

การผลิตน้ำสกัดชีวภาพเป็นการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ต่างๆ เช่น เศษวัสดุที่ได้จากการเกษตร การดำรงชีวิตในครัวเรือน เป็นต้น ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตได้จึงมีความแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำสกัดชีวภาพโดยกลุ่มงานวิจัยปุ๋ย กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร พบว่า ในน้ำสกัดชีวภาพมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 (วีระศรี, 2543)

ตารางที่ 6 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของน้ำสกัดชีวภาพ

	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	3.92	4.060
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิโมล/ซม.)	3.66	79.500
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	0.2055	3.1766
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส	0.0274	0.0329
เปอร์เซ็นต์พอแทสเซียม	0.699	1.0337
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	15.1828	8.4550
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	74.00	3.00

ที่มา: กลุ่มงานวิจัยปุ๋ย กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร อ้างโดย วีระศรี (2543)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรรถ (2544) ได้ทำการทดลองหมักพืชชนิดต่างๆ โดยใช้แนวทางของทางสมาคมเกษตรธรรมชาติประเทศเกาหลี พบว่า พืชผักทุกชนิดสามารถนำมาทำน้ำสกัดชีวภาพได้เป็นอย่างดี ขั้นตอนในการทำคือ นำพืชผักทุกส่วนสับให้เป็นชิ้นเล็ก ใส่ในภาชนะที่มีผาปิด ใส่กากน้ำตาลหรือน้ำตาลทรายแดงหรือขาวลงไป 1 ใน 3 ของน้ำหนักผัก ในอัตราส่วนนี้ถ้ามีน้ำสกัดชีวภาพอยู่แล้วให้ใส่กากน้ำตาลน้อยลง ปิดฝาหมักทิ้งไว้ 5 – 7 วัน จะมีน้ำสีน้ำตาลไหลออกมา กรอกใส่ขวดปิดฝาให้สนิท

น้ำสกัดชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการเลี้ยงสัตว์ คือ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีเยื่อใยสูง จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำสกัดชีวภาพจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในย่อยอาหารให้สูงขึ้น ช่วยให้ลดปริมาณการใช้อาหารลงได้ ช่วยเพิ่มความต้านทานโรค สัตว์เลี้ยงที่ได้รับน้ำสกัดชีวภาพอย่างสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็นการผสมน้ำหรืออาหารจะมีความต้านทานโรคต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะโรคระบบทางเดินอาหาร ช่วยลดความเครียดจากการเปลี่ยนอาหารระยะต่างๆ จากการขนย้ายสัตว์และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ กำจัดกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์และบริเวณคอกสัตว์ โดยการใช้น้ำสกัดชีวภาพผสมน้ำล้างคอกสัตว์เป็นประจำจะช่วยลดกลิ่นเหม็น และผสมน้ำสกัดชีวภาพให้สัตว์กินทุกวัน จะช่วยลดกลิ่นของมูลสัตว์ลงได้มากจนถึงไม่มีกลิ่น สามารถช่วยลดปัญหาเรื่องแมลงวันและยุงในคอกและบริเวณใกล้เคียง มีวิธีการใช้น้ำสกัดชีวภาพในสัตว์ดังนี้ (ชมรมเกษตรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ม.เกษตร, ม.ป.ป.)

สัตว์ปีก สามารถนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้ในการเลี้ยงโดย ผสมน้ำสกัดชีวภาพในน้ำให้สัตว์กินในอัตรา 1 : 1,000 คลุกอาหารให้สัตว์กิน ฉีดพ่นบนพื้นคอกเพื่อลดกลิ่นเหม็น ช่วยให้สัตว์ปีกแข็งแรง โตเร็วสม่ำเสมอ ให้ไข่ดีและไม่มีปัญหาเรื่องท้องเสีย

สุกร นำน้ำสกัดชีวภาพผสมในน้ำให้สุกรกินในอัตรา 1 : 1,000 พ่นในรางบนอาหารทำเป็นอาหารเปียก ผสมน้ำล้างคอกสุกรในอัตรา 1 : 200 – 300 คอกสุกรจะไม่เหม็น ไม่มีแมลงวันและน้ำในบ่อเก็บกักมูลสุกรจะไม่เหม็น สามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

โค - กระบือ นำน้ำสกัดชีวภาพผสมในน้ำให้กินในอัตรา 1 : 1,000 พรมบนหญ้าสดก่อนให้สัตว์กิน หมักกับฟางก่อนให้สัตว์กินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย ผสมน้ำในอัตรา 1 : 200 – 300 ล้างคอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 จุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective microorganism ; EM)

จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ดังนี้ (เทรูโอะ, 2536) จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria) เป็นพวกที่ไม่ชอบอากาศ จุลินทรีย์กลุ่ม actinomyces เป็นจุลินทรีย์ที่ทำลายจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่มีประโยชน์ให้ลดจำนวนลง จุลินทรีย์กลุ่ม lactobacillus ทำหน้าที่ผลิตกรดแลกติก เพื่อต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นพิษ จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อรา (fungi) เป็นพวก hydrolytic fungi สามารถผลิตกรดแลกติก และจุลินทรีย์กลุ่มของยีสต์ (yeast) ได้แก่ พวก Saccharomyces เป็นหลัก สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถทำงานได้ดีในสภาพไร้ออกซิเจน โดยทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงและได้กรดอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ EM จะสร้างสาร antioxidation ป้องกันไม่ให้เกิดการย่อยสลายเน่าเปื่อย แต่จะเกิดการย่อยสลายแบบการหมัก

การนำจุลินทรีย์ EM มาใช้ในการเลี้ยงสุกร มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขหรือกำจัดมลภาวะจากสิ่งขับถ่ายของสุกรหรือน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเลี้ยงสุกร กระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ EM ต่อการกำจัดมลภาวะ เกิดจากการที่จุลินทรีย์บางประเภทใน EM สามารถดึงไฮโดรเจนที่ประกอบอยู่ในก๊าซพิษพวกแอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกมาใช้ได้ (นิรนาม, 2536) ซึ่ง Chantsavang *et al*. (1993) รายงานผลการทดลองใช้จุลินทรีย์ EM บำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร โดยผสมจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำล้างคอกและผสมน้ำให้สุกรดื่มกิน โดยใช้จุลินทรีย์ EM ผสมน้ำล้างคอกในอัตราส่วน 1 : 1,000 พบว่าน้ำเสียจากการล้างคอกที่มีจุลินทรีย์ EM ผสมอยู่สามารถค่า BOD_5 ลงได้ 91 เปอร์เซ็นต์ ในจุดที่มีตะกอนสูง และลดลง 46 เปอร์เซ็นต์ ในจุดที่มีตะกอนต่ำ และ สุริยะ (2539) ศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกร ด้วยจุลินทรีย์ EM กับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน พบว่า เมื่อทำการหมักมูลสุกรที่ได้รับการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ EM ให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพและปริมาณเปอร์เซ็นต์มีเทนในองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพสูงสุด สูงกว่าระบบที่ใช้มูลปกติเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษารายงานการใช้จุลินทรีย์ EM หรือ BEในการบำบัดน้ำเสีย ดังกล่าว คาดว่าการใช้จุลินทรีย์ EM หรือ BE สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ร่วมกับการใช้ส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 ถังปฏิกิริยา (Reactor) ดัดแปลงมาจากถังแกลอนพลาสติกสีดำขนาด 20 ลิตร เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้วถังปฏิกิริยาจะมีความจุ 16.50 ลิตร จำนวน 12 ถัง สำหรับ 6 ตำรับการทดลองๆ ละ 2 ซ้ำ การทดลองทำในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) โดยเจาะถังทางด้านหน้าเป็นท่อน้ำล้น(Effluent) โดยใส่ท่องอ PVC สีเทา ขนาด 3/8 นิ้ว มีปลายเปิดด้านนอกอุดด้วยจุกยาง ปลายอีกด้านหนึ่งของท่องอจะจมอยู่ในส่วนของน้ำเสียในถังปฏิกิริยา ด้านบนเหนือบริเวณท่อน้ำล้นต่อเป็นท่อเพื่อนำแก๊สชีวภาพออก ใช้สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร อีกด้านหนึ่งของสายยางต่อเข้ากับหลอดแก้วที่มีลักษณะ T- joint connector เป็นหลอดแก้วสามทาง ปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้วต่อเข้ากับสายยางขนาดเดียวกันเชื่อมเข้ากับระบบเก็บแก๊สชีวภาพ ปิดด้านบนของ T- joint connector ด้วย self sealing silicone septum ใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ (ภาพที่ 8)

ภาพที่ 8 หลอดสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้านปากถังต่อเป็นท่อสำหรับเติมน้ำเสียจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าระบบ (Influent) โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาวประมาณ 35 เซนติเมตร ต่อเข้าไปในถังปฏิกิริยาให้ปลายของท่ออยู่สูงจากก้นถังประมาณ 10 เซนติเมตร ด้านบนของท่อใช้จุกปิดเกลียวนอกปิดให้สนิทและใช้เทปพันท่อน้ำพันทับเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้า รอยต่อต่างๆ ของระบบถังปฏิกิริยาใช้กาวซิลิโคนทาให้ทั่วเพื่อป้องกันการรั่วซึมของแก๊สชีวภาพ (ภาพที่ 9)

ภาพที่ 9 องค์ประกอบของถังปฏิกิริยา

1.2 ระบบเก็บแก๊สชีวภาพ (gas collection system) ใช้หลักการเก็บแก๊สชีวภาพโดยวิธีการแทนที่น้ำ ระบบเก็บแก๊สชีวภาพทำโดยใช้ถังบรรจุน้ำดื่มขนาดความจุ 20 ลิตร นำมาวางนอนด้านปากขวดปิดด้วยจุกยาง เจาะรูจุกยางเพื่อใส่แท่งแก้ว 3 แท่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร แท่งหนึ่งต่อกับสายยางที่นำก๊าซออกมาจากถังหมัก โดยงอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะด้านบนของถังน้ำ อีกแท่งหนึ่งต่อเข้ากับสายยาง งอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะส่วนล่างของถังน้ำ เพื่อนำน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยแก๊สชีวภาพออกจากระบบเก็บแก๊สชีวภาพ ใช้ถังรองรับน้ำส่วนนี้ไว้แล้วใช้กระบอกตวง (cylinder) ตวงปริมาตรน้ำที่รองรับได้ ปริมาตรน้ำส่วนนี้คือปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น จะทำการวัดปริมาตรแก๊สชีวภาพที่เกิดต่อวันและแก้วแท่งสุดท้ายสำหรับปล่อยแก๊สชีวภาพออกจากถังน้ำเมื่อเติมน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (ภาพที่ 10)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 10 ระบบเก็บแก๊สชีวภาพ

2. สัตว์ทดลองและการจัดการ

2.1 สุกรขุน

สุกรขุนที่ใช้ในการทดลอง มีน้ำหนักเฉลี่ย 25 – 30 กิโลกรัม อายุ 9 สัปดาห์ จำนวนทั้งหมด 18,300 ตัว

2.2 โรงเรือนเลี้ยงสุกรและการจัดการ

2.2.1 การทดลองที่ 1 และ 2

โรงเรือนที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ2 เป็นโรงเรือนปิดที่มีระบบระเหยไอเย็นจากน้ำ (Evaporative cooling system) สามารถควบคุมอุณหภูมิและการระบายอากาศได้ ขนาดของโรงเรือนกว้าง 16 เมตร ยาว 130 เมตร ใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 นิ้ว จำนวนทั้งหมด 12 ตัว อยู่ทางด้านหัวและด้านท้ายของโรงเรือนทั้ง 2 ด้านๆ ละ 6 ตัว ภายใน 1 โรงเรือนจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ คือ บริเวณตรงกลางโรงเรือนจะเป็นทางเดินผ่านกลางโรงเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยตลอด ติดตั้งเยื่อกระดาษและระบบระเหยไอเย็นจากน้ำทั้งสองด้านของทางเดิน ทำให้แบ่งโรงเรือนออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านหัวและท้ายโรงเรือน แต่ละด้านยังแบ่งโรงเรือนออกเป็น 2 ส่วน คือทางด้านซ้ายและขวาที่ใช้ผนังร่วมกัน ทำให้โรงเรือน 1 หลังแบ่งออกเป็นห้องได้ทั้งหมด 4 ห้อง แต่ละห้องมีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 60 เมตร แต่ละห้องแบ่งเป็นคอกทั้งหมด 10 คอก พื้นคอกเป็นพื้นแบบ solid กึ่งสแลต (slat) และใต้สแลตจะเป็นรางระบายน้ำเสีย ที่จะเก็บรวบรวมน้ำเสียที่ไหลจากตัวสุกรเวลาขึ้นจากส้วมน้ำและน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

ส้วมน้ำที่ใช้ภายในโรงเรือนในแต่ละห้อง เป็นส้วมน้ำแบบอ่างน้ำเป็นแนวยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นถึงท้ายห้อง พื้นลาดเอียงประมาณ 0.12 เปอร์เซ็นต์ และก่อขอบปูนสูงจากพื้นประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร พื้นที่ส้วมน้ำประมาณ ¼ ของพื้นที่คอก และตรงบริเวณรอยต่อระหว่างส้วมน้ำกับพื้นคอกจะใช้พื้นสแลต 1 แผ่นวางยาวตลอดแนวส้วมน้ำ เพื่อในเวลาที่สุกรขึ้นจากส้วมน้ำ จะทำให้น้ำที่ติดตัวสุกรหยดลงไปด้านล่างรวมกันในรางระบายน้ำทำให้พื้นคอกไม่แฉะ และเป็นการระบายน้ำที่ล้นจากส้วมน้ำในขณะที่สุกรลงแช่ การเติมน้ำในส้วมน้ำจะอาศัยการควบคุมโดยระบบลูกลอย

2.2.2 การทดลองที่ 3

โรงเรือนที่ใช้ในการทดลองที่ 3 เป็นโรงเรือนปิดที่มีระบบระเหยไอเย็นจากน้ำ (Evaporative cooling system) สามารถควบคุมอุณหภูมิและการระบายอากาศได้ ขนาดของโรงเรือนกว้าง 16 เมตร ยาว 80 เมตร ใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 นิ้ว จำนวน 4 ตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 นิ้ว จำนวน 8 ตัว อยู่ทางด้านหัวและด้านท้ายของโรงเรือนทั้ง 2 ด้านๆ ละ 6 ตัว ภายใน 1 โรงเรือนจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ คือ บริเวณตรงกลางโรงเรือนจะเป็นทางเดินผ่านกลางโรงเรือนโดยตลอด ติดตั้งเยื่อกระดาษและระบบระเหยไอเย็นจากน้ำทั้งสองด้านของทางเดิน ทำให้แบ่งโรงเรือนออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านหัวและท้ายโรงเรือน พื้นคอกเป็นพื้นแบบ solid

ส้วมน้ำที่ใช้ภายในโรงเรือนเป็นส้วมน้ำแบบพื้นลาดเอียงและท้ายเล้าขุดเป็นบ่อตื้นยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นถึงท้ายห้อง พื้นลาดเอียงประมาณ 0.12 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ส้วมน้ำประมาณ ¼ ของพื้นที่คอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 การให้อาหารและน้ำ

การให้อาหารจะเป็นระบบถังอาหารแบบอัตโนมัติ (Lean machine) มีอาหารให้สุกรกินตลอดเวลา มีการติดตั้งไซโลเก็บอาหารไว้บริเวณด้านหัวโรงเรือน อุปกรณ์ในการให้น้ำสุกรเป็นแบบหัวอัตโนมัติ (nipple)

2.4 การใช้จุลินทรีย์ EM และ BE

การเติม BE หรือจุลินทรีย์ EM เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาเรื่องอัตราส่วนการเติม BE หรือจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนที่ใช้สำหรับผสมน้ำล้างคอกสุกร คือ BE ใช้ในอัตรา 1 : 300 และจุลินทรีย์ EMใช้ในอัตรา 1 : 1000 ซึ่งจะทำการเติมลงในส้วมน้ำทุกครั้งที่มีการเติมน้ำใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. วิธีการ

3.1 แผนการทดลอง

3.1.1 การทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design ; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 1 2 และ 3 วัน ตำรับการทดลองที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกวัน (T1)
ตำรับการทดลองที่ 2 ระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง (T2)
ตำรับการทดลองที่ 3 ระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือน 3 วันต่อครั้ง (T3)

3.1.2 การทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ 2 x3 Factorial in CRD จำนวน 2 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ

ปัจจัยที่ 1 คือ ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรทุก 2 และ 3 วัน

ปัจจัยที่ 2 คือ การไม่เสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE และการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE

ตำรับการทดลองที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง (T1)
ตำรับการทดลองที่ 2 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง ร่วมกับ การเสริมจุลินทรีย์ EM (T2)
ตำรับการทดลองที่ 3 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง ร่วมกับ การเสริม BE (T3)
ตำรับการทดลองที่ 4 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 3 วันต่อครั้ง (T4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำรับการทดลองที่ 5 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 3 วันต่อครั้ง ร่วมกับ
การเสริมจุลินทรีย์ EM (T5)
ตำรับการทดลองที่ 6 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 3 วันต่อครั้ง ร่วมกับ
การเสริม BE (T6)

3.1.3 การทดลองที่ 3 วางแผนการทดลองแบบเปรียบเทียบกลุ่มการทดลอง จำนวน 2 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ การไม่เสริม และการเสริมจุลินทรีย์ EM

ตำรับการทดลองที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง (T1)
ตำรับการทดลองที่ 2 ระบายน้ำเสียจากโรงเรือน 2 วันต่อครั้ง ร่วมกับ
การเสริมจุลินทรีย์ EM (T2)

3.2 การบันทึกข้อมูล

3.2.1 บันทึกปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ส้วมน้ำที่มีการระบายน้ำในระยะเวลาตามตำรับการทดลองที่ได้รับในแต่ละการทดลอง

3.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคุณสมบัติต่างๆ ทางสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นเวลา 5 วัน (Biochemical Oxygen Demand; BOD_5) ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand; COD) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) ของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (Total Volatile Solids; TVS) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

3.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

3.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงเรือน เนื่องจากน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนในแต่ละครั้งมีปริมาณมาก ดังนั้นการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม ปฏิบัติดังนี้ คือจับเวลาในการระบายน้ำเสียจากรางระบายน้ำของโรงเรือน และสุ่มตักตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 1 นาที ปริมาตรน้ำเสียที่สุ่มเก็บครั้งละ 500 มิลลิลิตร นำน้ำเสียที่เก็บได้มารวมกันในถังใส่น้ำ แล้วทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียอีกครั้งจากตัวอย่างน้ำเสียที่รวบรวมมา เพื่อให้เป็นตัวแทนที่แท้จริงตัวอย่างละ 250 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

3.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังปฏิกิริยา เมื่อทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนและเติมน้ำเสียใส่ลงในถังปฏิกิริยา (Reactor) ตามปริมาตรที่ได้จากคำนวณ เมื่อเติมน้ำเสียเข้าไปจะมีส่วนที่ล้นออกมา (effluent) เก็บตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม

3.4 การเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ โดยใช้หลอดสุญญากาศ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance ตามแผนการทดลองแบบ Completely randomized design ; CRD แบบ 2x3 Factorial in CRD และแบบเปรียบเทียบกลุ่มการทดลองตามลำดับ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (มนต์ชัย, 2544; SAS, 1988)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองที่ฟาร์มสุกรพระพุทธบาท อำเภอหนองโดน จังหวัดสระบุรี และ ฟาร์มสุกรหนองหว้า อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา บริษัท กรุงเทพอาหาร จำกัด ในเครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด มหาชน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 1

1. ปริมาตรน้ำเสีย

ปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยเฉลี่ยพบว่า ตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 32.10 30.44 และ 32.16 ลูกบาศก์เมตร (ลบม.) ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อคิดเป็นปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 1 มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด 32.10 ลบม. ตำรับการทดลองที่ 2 มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 15.22 ลบม.ต่อวัน และ ตำรับการทดลองที่ 3 มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด 10.72 ลบม. (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	Treatments		
	Everyday (±SD)	Every two days (±SD)	Every three days (±SD)
Total wastewater (m^3)	32.10 (±0.56)	30.44 (±0.76)	32.16 (±0.65)
Average wastewater/day (m^3)	32.10	15.22	10.72

กรมควบคุมมลพิษ (2542) รายงานว่า ปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ไม่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน จะมีปริมาตรการใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดเฉลี่ย 20 – 40 ลิตรต่อตัวต่อวัน จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า การใช้ส้วมน้ำและระยะเวลาการระบายน้ำที่ 3 วันต่อครั้ง เป็นการลดปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรต่อวันอย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีน้ำเสียเกิดขึ้นเฉลี่ย 32.16 ลบม.ต่อครั้งของการระบายน้ำ และเกิดน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุดคือ 10.72 ลบม.ต่อวัน (ตารางที่ 10) ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกรลดลง สอดคล้องกับ Ma.Rosario (2003) รายงานว่า เมื่อมีการนำส้วมน้ำมาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงสุกร สามารถช่วยลดปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้น จากเดิมมีปริมาตรน้ำเสีย 150 ลบม. เหลือเพียง 35 ลบม. และการใช้ส้วมน้ำยังสามารถช่วยลดปริมาณการใช้แรงงาน เก็บกวาดมูลสุกร การฉีดน้ำล้างคอกและตัวสุกรลงด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม (Environmental parameters)

2.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรในตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่า pH ใกล้เคียงกัน คือ 7.06 7.16 และ 7.14 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) มีความแตกต่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) น้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรของการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดให้น้ำเสียที่ระบายออกจากฟาร์มเลี้ยงสุกรทั้งประเภท ก และ ข ต้องมีค่า pH ในช่วง 5.5 – 9 (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

Parameters	Treatments		
	Everyday (±SD)	Every two days (±SD)	Every three days (±SD)
pH	7.06 (±0.04)	7.16 (±0.04)	7.14 (±0.05)
BOD_5(mg/l)	1,791.70^{c} (±152.48)	2,529.20^{b} (±149.29)	3,016.70^{a} (±164.14)
COD (mg/l)	7,778.90^{c} (±170.28)	8,463.10^{b} (±135.23)	8,979.60^{a} (±138.78)
TS (g/l)	11.45^{c} (±0.541)	20.70^{b} (±0.916)	26.44^{a} (±1.261)
TVS (g/l)	2.93^{c} (±0.120)	5.41^{b} (±0.216)	6.72^{a} (±0.293)

หมายเหตุ อักษรตัวยก$^{(a,b,c)}$ ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

2.2 ค่าปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นเวลา 5 วัน (Biochemical Oxygen Demand; BOD_5)

ค่า BOD_5 ของน้ำเสียที่ระบายจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีค่าเฉลี่ยในตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 1,791.7 2,529.2 และ 3,016.7 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 8) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) สอดคล้องกับระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มขึ้นทำให้ค่า BOD_5 ของน้ำเสียที่สูงขึ้นตาม กรมควบคุมมลพิษ (2542) รายงานว่าลักษณะของน้ำเสียที่ออกมาจากฟาร์มสุกรแตกต่างกันตามรูปแบบการทำความสะอาด พบว่าฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่มีการเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อนใช้น้ำฉีดล้าง น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่า BOD_5 ประมาณ 3,000 mg/l และฟาร์มที่ไม่มีการเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อนการใช้น้ำฉีดล้าง มีค่า BOD_5 ประมาณ 9,000 mg/l เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติน้ำเสียจากการทดลอง พบว่าการใช้ส้วมน้ำในการเลี้ยงสุกรทำให้ค่า BOD_5 ของน้ำเสียต่ำลง โดยตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่า BOD_5 ต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ในตำรับการทดลองที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่มีการใช้ส้วมน้ำ และมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมีค่า BOD_5 ในช่วง 60 mg/l ซึ่งค่า BOD_5 ของน้ำเสียจากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐาน จึงไม่สามารถที่จะปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัดก่อน

2.3 ค่าปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand; COD)

ค่า COD ของน้ำเสียที่ระบายจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีค่าเฉลี่ยในตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 7,778.9 8,463.1 และ 8,979.6 mg/l ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) (ตารางที่ 8) สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2540) รายงานว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดกลาง - ขนาดใหญ่มีค่า COD เฉลี่ย 3,700 – 18,000 mg/l สอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ (2542) รายงานว่าลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่า COD เฉลี่ย 7,000 mg/l เมื่อพิจารณามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร พบว่าค่า COD ของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมได้อยู่ในช่วง 300 mg/l ซึ่งค่า COD ของน้ำเสียจากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐานมาก ทำให้ไม่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัดหรือต้องผ่านการบำบัดในกระบวนการต่างๆ จนกระทั่งค่า COD เหลือน้อย จึงสามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมหรือหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) และค่าของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (Total Volatile Solids; TS)

ค่า TS ของน้ำเสียที่ระบายจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีค่าเฉลี่ยในตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 11.27 20.70 และ 26.44 g/l ตามลำดับ(ตารางที่ 8) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และค่า TVS ของน้ำเสียที่ระบายจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีค่าเฉลี่ยในตำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 2.90 5.42 และ 6.80 g/l ตามลำดับ (ตารางที่ 8) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) สอดคล้องกับพงศธร (2535) รายงานว่าสุกรมีการขับถ่ายมูลรวมปัสสาวะประมาณ 4.6 – 5.8 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณมูลสะสมสูงส่งผลให้ ค่า TS และค่า TVS สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 2

1. ปริมาตรน้ำเสีย

การทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน โดยจัดให้มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 2 และ 3 วัน ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE บันทึกปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการระบายออกจากโรงเรือนตามตำรับการทดลองที่ได้รับมีผลดังนี้ (ตารางที่ 9)

ผลการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อปริมาณน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ ที่ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเฉลี่ย 32.81 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำ ซึ่งมีปริมาตรมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ซึ่งมีปริมาตร 30.85 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำ และปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเฉลี่ยต่อวัน พบว่า ที่การระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาตรเฉลี่ย 15.42 ลบ.ม.ต่อวัน และที่การระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเฉลี่ย 10.93 ลบ.ม.ต่อวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	Wastewater (m^3) (±SD)	Wastewater (m^3)/day
Drainage (A)		
2 days	30.85[b]	15.42
3 days	32.81[a]	10.93
Additive (B)		
Control	33.09	-
with EM	31.42	-
with BE	30.98	-
A x B		
2 days/drainage	32.67 (± 0.09)	16.33
2 days/drainage with EM	30.06 (± 0.29)	15.03
2 days/drainage with BE	29.81 (± 0.06)	14.90
3 days/drainage	33.52 (± 0.18)	11.17
3 days/drainage with EM	32.78 (± 2.70)	10.92
3 days/drainage with BE	32.14 (± 1.27)	10.71
P-value		
Drainage (A)	0.0326	-
Additive (B)	0.1086	-
A x B	0.5564	-

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)]ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า กลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE (control) กลุ่มที่เสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่เสริม BE มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 33.09 31.42 และ 30.98 ลบม.ต่อครั้งของการระบายน้ำ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ระยะเวลาในการระบายน้ำที่ต่างๆ กัน พบว่า ในตำรับการทดลองที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 30.85 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำ และในตำรับการทดลองที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 32.81 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำ และเมื่อคิดเป็นปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันในการทดลองครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 15.42 และ 10.93 ลบ.ม.ต่อวัน มีค่าใกล้เคียงกับ การศึกษาผลของการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อคุณสมบัติของน้ำเสีย (การทดลองที่ 1) พบว่า การระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรทุก 2 วัน มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 30.44 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำทุก 3 วัน มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 32.16 ลบ.ม.ต่อครั้งการระบายน้ำ และเมื่อคิดเฉลี่ยต่อวันมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 15.22 และ 10.72 ลบ.ม.ต่อวัน ตามลำดับ

กรมควบคุมมลพิษ (2542) รายงานปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นของฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ไม่มีการใช้ส้วมน้ำว่ามีอัตราการใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดคอกเฉลี่ย 20 – 40 ลิตรต่อตัวต่อวัน มีปริมาณการใช้น้ำที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบในการทดลองครั้งนี้ ที่ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 2 วัน และทุก 3 วัน ที่มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 15.42 และ10.93 ลบ.ม.ต่อวัน และเมื่อคำนวณปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรทดลอง 700 ตัว เฉลี่ยมีการใช้น้ำ 22.02 และ 15.61 ลิตรต่อตัวต่อวัน สอดคล้องกับ Ma.Rosario (2003) รายงานว่า เมื่อมีการนำส้วมน้ำมาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงสุกร สามารถช่วยลดปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้น จากเดิมมีปริมาตรน้ำเสีย 150 ลบม. เหลือเพียง 35 ลบม. และการใช้ส้วมน้ำยังช่วยลดปริมาณการใช้แรงงานในการเก็บกวาดมูลสุกร การฉีดน้ำล้างคอกและตัวสุกรลงด้วย ในการทดลองนี้อิทธิพลของการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ลงในส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือน ทั้งปริมาตรโดยรวมทั้งหมดหรือปริมาตรเฉลี่ยต่อวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม (Environmental parameters)

2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ผลของการศึกษาค่า pH ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า pH ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า pH ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า pH เฉลี่ย 6.84 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.85 และเมื่อเติมน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร เข้าสู่ถังหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) จะมีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดล้นออกมาจากถังหมัก บริเวณทางระบายน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก (effluent) เก็บตัวอย่างของ effluent เพื่อวิเคราะห์ค่า pH พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า pH เฉลี่ยของ effluent ที่ล้นออกจากถังหมัก คือ ค่า pH เฉลี่ยของกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มมีค่า 6.88 เท่ากัน ($p>0.05$)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อค่า pH ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.09 และ7.04 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่ม control มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.42 และค่า pH ของ effluent กลุ่ม control และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่าเท่ากับ 7.04 และ 6.88 ตามลำดับ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.70 (ตารางที่ 10)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	pH	
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)
Drainage (A)		
2 days	6.84	6.88
3 days	6.85	6.88
Additive (B)		
Control	6.42[b]	7.04[a]
with EM	7.09[a]	6.70[b]
with BE	7.04[a]	6.88[a]
A x B		
2 days/drainage	6.40 (± 0.10)	7.09 (± 0.14)
2 days/drainage with EM	7.14 (± 0.33)	6.64 (± 0.28)
2 days/drainage with BE	7.03 (± 0.14)	6.86 (± 0.20)
3 days/drainage	6.44 (± 0.28)	6.99 (± 0.30)
3 days/drainage with EM	7.05 (± 0.18)	6.74 (± 0.23)
3 days/drainage with BE	7.05 (± 0.25)	6.90 (± 0.17)
P-value		
Drainage (A)	0.9801	0.9136
Additive (B)	<0.0001	0.0010
A x B	0.7527	.04802

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า pH ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า ในตำรับการทดลองที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ก่อนที่จะนำเข้าสู่ถังหมัก (influent) มีค่า pH ต่ำกว่าตำรับการทดลองที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า pH คาดว่าเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำจะเกิดกระบวนการหมักในระยะแรกของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไร้ออกซิเจนอย่างช้าๆ ในส้วมน้ำที่อยู่ภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ส่งผลทำให้ค่า pH ของน้ำเสียลดลง ใกล้เคียงกับ วนิดา (2543) ที่รายงานผลการทดลองเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบ่อไบโอก๊าซด้วยสารสกัดจากต้นยัคคาว่า น้ำเสียที่มีส่วนผสมของมูลสุกรที่จะนำเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน มีค่า pH อยู่ที่ระดับเฉลี่ย 6.15 – 6.77 และบุษบา (2537) รายงานผลศึกษาเรื่องการกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket พบว่า ค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 6.21 – 7.11 และน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่า pH เฉลี่ยสูงกว่า คือ 6.91 – 8.13 เป็นเพราะว่าในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สชีวภาพ ในช่วงแรกของกระบวนการเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ๆ ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงและผลิตกรดอินทรีย์ (Marty, 1986) ปฏิกิริยาดังกล่าว คาดว่าเริ่มเกิดขึ้นในช่วงที่น้ำเสียขังอยู่ภายในส้วมน้ำก่อนที่จะระบายออกจากโรงเรือน และเมื่อเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบหมักแก๊สชีวภาพ จุลินทรีย์ผลิตแก๊สชีวภาพจะนำกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นไปใช้ผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป ทำให้ค่า pH ของน้ำที่ออกจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพสูงขึ้นเล็กน้อย

แต่ในกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วกว่า เพราะมีจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างและนำกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ไปใช้ประโยชน์ ทำให้ค่า pH ของน้ำเสียตลอดขบวนการผลิตแก๊สชีวภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อนำน้ำเสียไปผ่านระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมดุล แต่จุลินทรีย์ในกลุ่มที่สร้างมีเทนจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่ากลุ่มสร้างกรด (Archer and Kirsop, 1991 ; Koga. *et al*., 1993 ; Taylor, 1982) มีผลทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่า pH ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ใกล้เคียงกับรายงานของ สุริยะ (2539) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกรด้วยจุลินทรีย์ EM กับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำล้างคอกสุกร พบว่า ค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ย 7.76 และน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 6.84 และเป็นไปในแนวทางเดียวกับรายงานของ สมชัยและคณะ (2547) ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกลุ่มเป้าหมาย 138 ฟาร์ม ในจังหวัดนครปฐม พบว่า ค่า pH เฉลี่ยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ก่อนที่จะได้รับการอบรมการบำบัดของเสียด้วยวิธีชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ EM มีค่าอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในช่วง 7.18 – 7.99 และเมื่อเกษตรกรได้รับอบรมการบำบัดของเสียโดยวิธีชีวภาพ พบว่า ค่า pH เฉลี่ยของน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง 6.84 – 7.93

กรมควบคุมมลพิษ (2538) รายงานค่า pH ของน้ำเสียมูลสุกรที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน คือ 6.5 – 7.5 ซึ่งค่า pH ของน้ำเสียในการวิจัยนี้ยังอยู่ในช่วงที่มีเหมาะสม

2.2 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5)

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำ ต่อปริมาณค่า BOD_5 ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า BOD_5 ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า BOD_5 ของน้ำเสีย คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 2 วัน มีค่า BOD_5 เฉลี่ย 1,684.80 mg/l มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 3 วัน ที่มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ2,260.70 mg/l และเมื่อเติมน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร เข้าสู่ถังหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน จะมีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วล้นออกมาจากถังหมัก บริเวณทางระบายน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก (effluent) เก็บตัวอย่างของ effluent เพื่อวิเคราะห์ค่า BOD_5 พบว่ากลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 1,092 mg/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า BOD_5 เฉลี่ย 894.80 mg/l (ตารางที่ 11)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อค่า BOD_5 ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า กลุ่มcontrol กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 2,032.80 1,733.33 และ 2,056.33 mg/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และค่า BOD_5 ของ effluent ของกลุ่ม control มีค่า1,310.90 mg/l สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์EM มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 903.60 mg/l และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 742.20 mg/l

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	BOD_5 (mg/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal(%)(± SD)
Drainage (A)			
2 days	1,684.80[b]	1,092.00	35.30[y]
3 days	2,260.70[a]	894.80	56.34[x]
Additive (B)			
Control	2,032.80	1310.90[a]	34.62[y]
With EM	1,733.33	903.60[b]	41.44[xy]
With BE	2,056.33	742.20[b]	61.40[x]
A x B			
2 days/drainage	1,956.25 (± 623.60)	1,453.12 (±529.22)	25.25 (± 8.21)
2 days/drainage with EM	1,714.28 (± 506.38)	1,233.33 (± 452.40)	25.79 (± 27.45)
2 days/drainage with BE	1,387.50 (± 287.22)	625.00 (± 282.84)	54.85 (± 4.56)
3 days /drainage	2,109.37 (± 490.55)	1,168.75 (± 249.19)	44.00 (± 10.22)
3 days/drainage with EM	1,760.00 (± 238.22)	656.25 (± 191.67)	62.72 (± 7.77)
3 days/drainage with BE	2,725.00 (± 604.15)	859.37 (± 434.64)	67.95 (± 4.75)
P-value			
Drainage (A)	0.0004	0.0806	0.0319
Additive (B)	0.2928	0.0004	0.0366
A x B	0.0013	0.0163	0.6269

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

อักษรตัวยก[(x,y)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า BOD_5 พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า BOD_5 removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ที่มีค่า BOD_5 removal เฉลี่ยเท่ากับ 35.30 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า BOD_5 removal เฉลี่ย 56.34 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า BOD_5 removal 61.40 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่ม control มีค่าเท่ากับ 34.62 เปอร์เซ็นต์ แต่กลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ที่มีค่าเฉลี่ย 41.44 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาผลของการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียในการทดลองที่ 1 ที่ทำการทดลองโดยให้มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 1 2 และ 3 วันต่อครั้ง โดยไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำ พบว่า น้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 1,791.70 2,529.20 และ 3,016.70 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบกับค่า BOD_5 จากการทดลองนี้ พบว่า มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยโดยมีค่าเฉลี่ย 1,684.80 และ 2,260.70 mg/l ในตำรับการทดลองที่มีการระบายน้ำทุก 2 และ 3 วันตามลำดับ อาจเป็นผลเนื่องจากการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์บางส่วนในขณะที่น้ำเสียขังอยู่ภายในส้วมน้ำ การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเป็นการย่อยสลายขั้นต้นของกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย คือกรดอินทรีย์ ซึ่งกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของค่า pH และการเสริม BE ลงในส้วมน้ำ ทำให้เกิดผลในทำนองเดียวกัน แต่ค่า BOD_5 ไม่ลดลง คาดว่าเป็นผลมาจากวิธีการนำน้ำสกัดชีวภาพไปใช้ มีการปนเปื้อนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตลงไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากน้ำตาลที่มีการใช้ในขบวนการผลิต BE ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงมาก และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพจากการเสริม BE หรือจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ โดยพิจารณาจาก % BOD_5 removal พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า กลุ่มที่ไม่มีการเสริม BE หรือจุลินทรีย์ EM และเมื่อระยะเวลาในการระบายน้ำออกจากโรงเรือนเพิ่มขึ้นเป็นทุกๆ 3 วัน ร่วมกับการเสริม BE หรือจุลินทรีย์ EM ทำให้ค่า % BOD_5 removal สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริม BE หรือจุลินทรีย์ EM

การทดลองนี้อิทธิพลของการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ลงในส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร และจำนวนวันต่อครั้งของการระบายน้ำที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการลดค่า BOD_5 และ ค่า % BOD_5 removal ของน้ำเสีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี (COD)

คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร ที่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน โดยมีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 2 และ 3 วัน ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE พบว่าผลของค่า COD ของน้ำเสีย (ตารางที่ 12) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า COD ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า COD ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า COD เฉลี่ย 5,154.20 mg/l มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ที่มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 4,139.10 mg/l และเมื่อเติมน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าสู่ถังหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) จะมีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (effluent) ล้นออกมาจากถังหมัก บริเวณทางระบายน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก เก็บตัวอย่างของ effluent เพื่อวิเคราะห์ค่า COD พบว่า กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 2,818.20 mg/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า COD เฉลี่ย 2,447.90 mg/l

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ลงในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อค่า COD ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า กลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า COD เฉลี่ย 5,118.80 mg/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$) กับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ที่มีค่า COD เฉลี่ย 4,240 mg/l และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า COD เฉลี่ยใกล้เคียงกับกลุ่ม control ที่มีค่า COD เฉลี่ย 4,587.50 mg/l แต่กลุ่ม control มีค่า COD เฉลี่ยใกล้เคียงกับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM เมื่อพิจารณาค่า COD ของ effluent ในกลุ่ม control มีค่า 3,556.30 mg/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 2,017.90 mg/l และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 2,225 mg/l ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี (COD) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	COD (mg/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal (%)(± SD)
Drainage (A)			
2 days	4,139.10[b]	2,818.20	33.59[b]
3 days	5,154.20[a]	2,447.90	51.55[a]
Additive (B)			
Control	4,587.50[xy]	3,556.30[a]	22.35[b]
With EM	4,240.00[y]	2,017.90[b]	50.86[a]
With BE	5,118.80[x]	2225.00[b]	54.50[a]
A x B			
2 days /drainage	4,525.00 (± 613.53)	3.975.00 (± 1942.56)	12.18 (± 2.62)
2 days/drainage with EM	4,357.14 (±1128.20)	2,600.00 (±1003.99)	40.24 (± 11.23)
2 days/drainage with BE	3,562.50 (± 838.25)	1,825.00 (± 547.07)	48.33 (± 10.31)
3 days /drainage	4,650.00 (±1062.34)	3,137.50 (± 509.72)	32.52 (± 4.94)
3 days/drainage with EM	4,137.50 (±1449.07)	1,581.25 (± 264.49)	61.47 (± 7.61)
3 days/drainage with BE	6,675.00 (± 960.28)	2,625.00 (±1248.71)	60.66 (± 0.72)
P-value			
Drainage (A)	0.0018	0.2529	0.0054
Additive (B)	0.0593	0.0006	0.0015
A x B	< 0.0001	0.0464	0.6590

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

อักษรตัวยก[(x,y)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p=0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า COD พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกันมีผลต่อค่า COD removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีค่า COD removal เฉลี่ยเท่ากับ 51.55 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า COD removal เฉลี่ยเท่ากับ 33.59 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า COD removal เท่ากับ 50.86 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเสริม BE ที่มีค่า COD removal เท่ากับ 54.50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่ม control ที่มีค่า COD removal เท่ากับ 22.35 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาผลของการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียในการทดลองที่ 1 ที่ทำการทดลองโดยให้มีการระบายน้ำออกจากโรงเรือน ทุก 1 2 และ 3 วันต่อครั้ง โดยไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำ พบว่า น้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรมีค่า COD เฉลี่ย 7,778.9 8,463.1 และ 8,979.6 mg/l ตามลำดับ ค่า COD จากการทดลองในตำรับการทดลองที่มีการระบายน้ำทุก 2 และ 3 วันมีค่าเฉลี่ย 4,139.10 และ 5,154.20 mg/l ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย คาดว่าเป็นผลเช่นเดียวกับค่า BOD_5

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2540) รายงานว่าน้ำเสียจากฟาร์มขนาดกลาง - ขนาดใหญ่มีค่า COD เฉลี่ย 3,700 – 18,000 mg/l สอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ (2542) รายงานว่าลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่า COD เฉลี่ย 7,000 mg/l วันเพ็ญและคณะ (2542) รายงานผลการศึกษาโครงการนำร่องการจัดการมูลสัตว์ ของฟาร์มสุกรภายในจังหวัดขอนแก่น จำนวน 6 แห่ง พบว่า ค่า COD เฉลี่ยของฟาร์มสุกรขุนมีค่า 35,000 – 95,000 mg/l มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองนี้ ค่า COD ที่สูงกว่าอาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการจัดการฟาร์มและลักษณะของโรงเรือนที่แตกต่างกัน แต่ค่า COD เฉลี่ยของทั้งการทดลองมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน จากลักษณะดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดทำให้สามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับผลการศึกษาของนเรศ (2546) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกร แบบไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบี (UASB) และระบบลูกผสม UASB และเครื่องกรอง ใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 9.34 ลิตร และ 15.33 ลิตร ตามลำดับ ภายในห้องปฏิบัติการ มีสภาวะแวดล้อมปกติที่อุณหภูมิห้อง และควบคุมให้ค่า COD เข้าถังหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,000 mg/l พบว่า ระบบบำบัด UASB มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD เท่ากับ 48 – 76.7 เปอร์เซ็นต์ และระบบลูกผสม UASB และเครื่องกรอง มีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการกำจัดค่า COD เท่ากับ 45.2 – 74.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร พบว่าค่า COD ของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมได้อยู่ในช่วง 300 mg/l ซึ่งค่า COD ของน้ำเสียจากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐานมาก ไม่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัด หรือน้ำเสียที่ออกจากระบบต้องผ่านการบำบัดในกระบวนการต่างๆ (ขั้นหลัง) จนกระทั่งค่า COD เหลือน้อย จึงสามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมหรือหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

2.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

ผลการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า TS ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า TS ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า TS เฉลี่ย 24.97 g/l มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ที่มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 22.37 g/l และเมื่อเติมน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร เข้าสู่ถังหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) จะมีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (effluent) ล้นออกมาจากถังหมัก บริเวณทางระบายน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก เก็บตัวอย่างของ effluent เพื่อวิเคราะห์ค่า TS พบว่า กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 6.23 g/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า TS เฉลี่ย 6.58 g/l (ตารางที่ 13)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อค่า TS ในน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า กลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TS เฉลี่ย 25.44 g/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ที่มีค่า TS เฉลี่ย 22.10 g/l และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TS เฉลี่ยใกล้เคียงกับกลุ่ม control ที่มีค่า TS เฉลี่ย 23.33 g/l แต่กลุ่ม control มีค่า TS เฉลี่ยใกล้เคียงกับกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และเมื่อพิจารณาค่า TS ของ effluent กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TS เท่ากับ 6.56 7.14 และ 5.67 g/l ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของทั้งสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	TS (g/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal (%)(± SD)
Drainage (A)			
2 days	22.37^{y}	6.23	71.51
3 days	24.97^{x}	6.58	74.76
Additive (B)			
Control	23.33^{xy}	6.56	72.89
With EM	22.10^{y}	7.14	68.52
With BE	25.44^{x}	5.67	78.00
A x B			
2 days /drainage	22.40 (± 3.73)	5.71 (± 2.24)	76.02 (± 10.27)
2 days/drainage with EM	21.98 (± 3.16)	8.90 (± 0.38)	59.48 (± 1.40)
2 days/drainage with BE	22.64 (± 2.94)	4.74 (± 0.86)	79.04 (± 4.89)
3 days /drainage	24.39 (± 3.91)	7.41 (± 3.04)	69.77 (± 12.04)
3 days/drainage with EM	22.20 (± 4.64)	5.62 (± 2.94)	77.55 (± 8.38)
3 days/drainage with BE	28.24 (± 3.78)	6.60 (± 1.21)	76.96 (± 1.79)
P-value			
Drainage (A)	0.0261	0.5670	0.4896
Additive (B)	0.0462	0.1761	0.2876
A x B	0.1486	0.0029	0.1315

หมายเหตุ อักษรตัวยก$^{(x,y)}$ ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า TS พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า TS removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ที่มีค่า TS removal เฉลี่ยเท่ากับ 71.51 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า TS removal เฉลี่ยเท่ากับ 74.76 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TS removal เท่ากับ 72.89 68.52 และ 78 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

การศึกษาผลของการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียในการทดลองที่ 1 ที่ทำการทดลองโดยให้มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือน ทุก 1 2 และ 3 วันต่อครั้ง โดยไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำ พบว่า ค่า TS เฉลี่ย 11.27 20.70 และ 26.44 g/l ค่า TVS เฉลี่ย 2.90 5.42 และ 6.80 g/l ตามลำดับ ซึ่งค่า TS และ TVS ของน้ำเสียจากการทดลองนี้ ในตำรับการทดลองที่มีการระบายน้ำทุก 2 และ 3 วันมีค่า TS เฉลี่ย 22.37 24.96 g/l ค่า TVS เฉลี่ย 5.58 6.24 g/l ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเสริม BE หรือการเสริมจุลินทรีย์ EM พบว่า ในการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อค่า TS และTVS ในน้ำเสีย มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม control หรือกลุ่มที่มีการเสริม BE เป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ EM ที่เสริมลงในส้วมน้ำจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในส้วมน้ำทันที ส่งผลให้ค่า TS และ TVS ลดลง และรายงานของ ศุภวันจักรี (2545) ที่ศึกษาการเสริมจุลินทรีย์ EM ในอาหารสุกรมีผลทำให้ค่า TS ในมูลสุกรลดลงได้ เพราะว่าการเสริมจุลินทรีย์ EM ในอาหารสัตว์จะใช้ในลักษณะของโปรไบโอติกส์ (probiotics) ซึ่งจุลินทรีย์ EM สามารถที่จะช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้น สามารถดูดซึมอาหารได้ดีขึ้น จะทำให้ลดการขับถ่ายของเสียลงได้ ดังนั้นการเสริมจุลินทรีย์ EM ในอาหารหรือเติมลงในน้ำเสียมีผลทำให้ค่า TS และTVS ลดลงได้

แต่การเสริม BE ในรายงานของ ราชาวดี (2546) ที่ศึกษาการเสริมสเม็ดไทต์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม หัวเชื้อจุลินทรีย์ BE จากพืชและสัตว์ในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตและระดับแอมโมเนียในมูลไก่ไข่ พบว่า การเสริม BE จากพืชและ BE จากสัตว์ มีผลลด เปอร์เซ็นต์ TS ในมูลไก่ลง ($p<0.05$) แต่ในการทดลองครั้งให้ผลเป็นที่คัดแย้งกัน คือ ในกลุ่มที่มีการเสริม BE ลงในส้วมน้ำ มีค่า TS และTVS สูงกว่ากลุ่ม control และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM คาดว่าเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลมาจากลักษณะของ BE ที่นำมาใช้ มีส่วนของวัตถุดิบในการผลิตปนเปื้อนลงไปด้วย และรูปแบบวิธีการใช้ BE ที่แตกต่างกันทำให้ค่า TS และTVS ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ไม่ลดลง

2.5 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (TVS)

ผลการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อค่า TVS ในน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า TVS ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า TVS ของน้ำเสีย คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า TVS เฉลี่ย 5.58 g/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีค่า TVS เฉลี่ยเท่ากับ 6.24 g/l และเมื่อเติมน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร เข้าสู่ถังหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) จะมีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (effluent) ล้นออกมาจากถังหมัก บริเวณทางระบายน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก เก็บตัวอย่างของ effluent เพื่อวิเคราะห์ค่า TVS พบว่า กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีค่า TVS เฉลี่ยเท่ากับ 2.23 g/l มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า TVS เฉลี่ย 2.48 g/l (ตารางที่ 14)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณ TVS ในน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TVS เท่ากับ 6.02 5.35 และ 6.33 g/l ตามลำดับ และค่า TVS ของ effluent กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TVS เท่ากับ 2.32 2.51 และ2.27 g/l ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มทั้งในส่วนของ influent และ effluent แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า TVS พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน มีผลต่อค่า TVS removal ของน้ำเสีย คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน ที่มีค่า TVS removal เฉลี่ยเท่ากับ 59.82 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน มีค่า TVS removal เฉลี่ยเท่ากับ 65.19 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีค่า TVS removal เท่ากับ 62.90 60.19 และ 64.43 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	TVS (g/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal (%)(± SD)
Drainage (A)			
2 days	5.58	2.23	59.82
3 days	6.24	2.48	65.19
Additive (B)			
Control	6.02	2.32	62.90
with EM	5.35	2.51	60.19
with BE	6.33	2.27	64.43
A x B			
2 days/drainage	5.66 (± 1.05)	2.02 (± 0.45)	66.37 (± 9.61)
2 days/drainage with EM	5.42 (± 0.77)	2.75 (± 0.17)	49.24 (± 1.29)
2 days/drainage with BE	5.63 (± 0.57)	2.04 (± 0.13)	63.86 (± 1.07)
3 days/drainage	6.44 (± 1.41)	2.62 (± 0.89)	59.43 (± 11.91)
3 days/drainage with EM	5.29 (± 1.66)	2.29 (± 0.68)	71.15 (± 5.38)
3 days/drainage with BE	7.02 (± 1.99)	2.50 (± 0.54)	65.00 (± 5.81)
P-value			
Drainage (A)	0.1133	0.1390	0.2365
Additive (B)	0.1208	0.5335	0.7068
A x B	0.3241	0.0352	0.0658

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.6 ปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

ผลการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันจากน้ำเสีย พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกันไม่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 16.12 ลิตรต่อวัน มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 16.45 ลิตรต่อวัน (ตารางที่ 15)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันจากน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 17.01 ลิตรต่อวัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับ กลุ่ม control และกลุ่มที่มีการเสริม BE ที่มีปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 16 และ 15.84 ลิตรต่อวันตามลำดับ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพต่อวันในการทดลองนี้ คือ การเสริมจุลินทรีย์ EM ในส้วมน้ำ ทำให้จุลินทรีย์สามารถผสมและสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและเกิดการผลิตแก๊สชีวภาพได้ดี (anonymous, 2003) ผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ มีปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ย 17.62 ลิตรต่อวัน จากถังหมักที่มีความจุเฉลี่ย 16.5 ลิตร มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของสุริยะ(2539) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกรด้วยจุลินทรีย์ EM กับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน โดยใช้ถังหมักที่มีความจุเฉลี่ย 4.15 ลิตร หมักมูลสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ EM 20 เปอร์เซ็นต์ และมีตะกอนจุลินทรีย์ผลิตมีเทน 10 เปอร์เซ็นต์ ขณะเริ่มต้นการทดลอง ผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงสุดเฉลี่ย 4.549 ลิตรต่อวัน สูงกว่าการหมักมูลสุกรปกติที่ผลิตแก๊สชีวภาพได้เฉลี่ย 3.065 ลิตรต่อวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (ลิตร)

	Biogas (l/day)(± SD)
Drainage (A)	
2 days	16.12
3 days	16.45
Additive (B)	
Control	16.00[b]
With EM	17.01[a]
With BE	15.84[b]
A x B	
2 days/drainage	16.31 (± 1.91)
2 days/drainage with EM	16.41 (± 3.00)
2 days/drainage with BE	15.59 (± 1.68)
3 days/drainage	15.72 (± 2.44)
3 days/drainage with EM	17.62 (± 2.55)
3 days/drainage with BE	16.05 (± 2.45)
P-value	
Drainage (A)	0.1669
Additive (B)	< 0.0001
A x B	0.0073

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยต่อวัน มีค่าสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จากระบบ (% removal) ในการทดลอง พบว่า กลุ่มที่ได้รับการเสริมจุลินทรีย์ EM ในส้วมน้ำ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยรวมได้ดีที่สุด แสดงว่าจุลินทรีย์ EM มีความสามารถในการช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียก่อน เพื่อเป็นการเตรียมสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพดี

การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatograph (GC) เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทน (% CH_4) ในก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (% composition) พบว่า การระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อปริมาณค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทน ในปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันจากน้ำเสีย พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกันมีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 70.96 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 76.09 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16)

การเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยในแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันจากน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือน พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 78.67 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 75.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับ กลุ่ม control ที่มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 66.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)

	% CH_4 ($\pm$ SD)
Drainage (A)	
2 days	70.96 [y]
3 days	76.09 [x]
Additive (B)	
Control	66.44 [b]
with EM	78.67 [a]
with BE	75.24 [a]
A x B	
2 days/drainage	63.77 ($\pm$ 3.96)
2 days/drainage with EM	75.70 ($\pm$ 6.90)
2 days/drainage with BE	74.40 ($\pm$ 7.78)
3 days/drainage	69.65 ($\pm$ 5.97)
3 days/drainage with EM	81.19($\pm$ 9.39)
3 days/drainage with BE	75.95 ($\pm$ 7.45)
P-value	
Drainage (A)	0.045
Additive (B)	< 0.0001
A x B	0.5431

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)]ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

อักษรตัวยก[(x,y)]ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในน้ำล้นจากระบบบำบัดและกากตะกอน

ผลการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ระยะเวลาต่างๆ กันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำต่อปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในน้ำล้นจากระบบบำบัด โดยปริมาณธาตุอาหารที่พิจารณาได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุพอแทสเซียม ได้ผลการศึกษาดังนี้

2.7.1 ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเฉลี่ย 0.16 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่จากระบบเฉลี่ย 0.17 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 17)

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเท่ากับ 0.16 0.17 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 17)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Nitrogen (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	0.16
3 days	0.17
Additive (B)	
Control	0.16
with EM	0.17
with BE	0.17
A x B	
2 days/drainage	0.14 (± 0.00)
2 days/drainage with EM	0.18 (± 0.00)
2 days/drainage with BE	0.16 (± 0.01)
3 days/drainage	0.18 (± 0.06)
3 days/drainage with EM	0.16(± 0.02)
3 days/drainage with BE	0.18 (± 0.01)
P-value	
Drainage (A)	0.4622
Additive (B)	0.7813
A x B	0.3704

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 4.17 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 3.75 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 18)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนเท่ากับ 4.11 3.90 และ 3.87 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Nitrogen (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	4.17
3 days	3.75
Additive (B)	
Control	4.11
with EM	3.90
with BE	3.87
A x B	
2 days/drainage	4.34 (± 0.11)
2 days/drainage with EM	3.90 (± 0.13)
2 days/drainage with BE	4.29 (± 0.52)
3 days/drainage	3.90 (± 0.38)
3 days/drainage with EM	3.91(± 0.31)
3 days/drainage with BE	3.45 (± 0.24)
P-value	
Drainage (A)	0.0602
Additive (B)	0.5266
A x B	0.2367

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7.2 ธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเฉลี่ย 0.010 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเฉลี่ย 0.010 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 19)

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเท่ากับ 0.010 0.010 และ 0.011 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 19)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 3.87 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 3.85 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 20)

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริมBE มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอนเท่ากับ 3.82 3.94 และ 3.82 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 20)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Phosphorus (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	0.010
3 days	0.010
Additive (B)	
Control	0.010
with EM	0.010
with BE	0.011
A x B	
2 days/drainage	0.011 (± 0.005)
2 days/drainage with EM	0.010 (± 0.004)
2 days/drainage with BE	0.012 (± 0.003)
3 days/drainage	0.012 (± 0.008)
3 days/drainage with EM	0.009(± 0.001)
3 days/drainage with BE	0.011 (± 0.001)
P-value	
Drainage (A)	0.4696
Additive (B)	0.6676
A x B	0.7904

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Phosphorus (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	3.87
3 days	3.85
Additive (B)	
Control	3.82
with EM	3.94
with BE	3.82
A x B	
2 days/drainage	3.77 (± 0.163)
2 days/drainage with EM	4.27 (± 0.671)
2 days/drainage with BE	3.59 (± 0.311)
3 days/drainage	3.88 (± 0.042)
3 days/drainage with EM	3.62 (± 0.247)
3 days/drainage with BE	4.06 (± 0.177)
P-value	
Drainage (A)	0.9076
Additive (B)	0.8515
A x B	0.1303

2.7.3 ธาตุพอแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเฉลี่ย 0.077 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่จากระบบเฉลี่ย 0.082 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 21)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบ พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นที่ออกจากระบบเท่ากับ 0.075 0.080 และ 0.083 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในน้ำล้นจากระบบ (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Potassium (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	0.077
3 days	0.082
Additive (B)	
Control	0.075
with EM	0.080
with BE	0.083
A x B	
2 days/drainage	0.071 (± 0.007)
2 days/drainage with EM	0.079 (± 0.010)
2 days/drainage with BE	0.081 (± 0.002)
3 days/drainage	0.078 (± 0.017)
3 days/drainage with EM	0.082(± 0.004)
3 days/drainage with BE	0.086 (± 0.004)
P-value	
Drainage (A)	0.1325
Additive (B)	0.1694
A x B	0.9611

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า ระยะเวลาในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอน คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาในการระบายน้ำเสียทุก 2 วัน มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 3.87 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีการระบายน้ำเสียทุก 3 วัน ที่มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอนเฉลี่ย 3.85 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอน (เปอร์เซ็นต์ตัวอย่าง)

	Total Potassium (%) (± SD)
Drainage (A)	
2 days	1.811
3 days	1.871
Additive (B)	
Control	1.888
with EM	1.695
with BE	1.943
A x B	
2 days/drainage	2.000 (± 0.566)
2 days/drainage with EM	1.690 (± 0.566)
2 days/drainage with BE	1.745 (± 0.007)
3 days/drainage	1.775 (± 0.290)
3 days/drainage with EM	1.700(± 0.042)
3 days/drainage with BE	2.140 (± 0.297)
P-value	
Drainage (A)	0.5710
Additive (B)	0.1870
A x B	0.1102

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือการเสริม BE ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ต่อปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า กลุ่ม control กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และกลุ่มที่มีการเสริม BE มีปริมาณธาตุพอแทสเซียมทั้งหมดในกากตะกอนเท่ากับ 3.82 3.94 และ 3.82 เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 22)

ผลการศึกษาการจัดการส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ (การทดลองที่ 2) ต่อปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้น ค่าคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ และปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ สามารถสรุปได้ดังนี้ (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 สรุปผลการทดลองการจัดการส้วมน้ำเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

Parameters	Treatment					
	2 days/drainage			3 days/drainage		
	Control	with EM	with BE	control	with EM	with BE
Waste water						
- Waste water/ time (m^3)	32.67	30.06	29.81	33.52	32.78	32.14
- Waste water/day (m^3)	16.33	15.03	14.90	11.17	10.92	10.71
pH						
- Influent	6.40	7.14	7.03	6.44	7.05	7.05
- Effluent	7.09	6.64	6.86	6.99	6.74	6.90
Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)						
- Influent (mg/l)	1,956.25	1,714.28	1,387.50	2,109.38	1,760.00	2,725.00
- Effluent (mg/l)	1,453.13	1,233.33	625.00	1,168.75	656.25	895.38
- Removal (%)	25.25	25.79	54.85	44.00	62.72	67.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Parameters	Treatment					
	2 days/drainage			3 days/drainage		
	Control	with EM	with BE	control	with EM	with BE
Chemical Oxygen Demand (COD)						
- Influent (mg/l)	4,525.00	4,357.14	3,562.50	4,650.00	4,137.50	6,675.00
- Effluent (mg/l)	3,975.00	2,600.00	1,825.00	3,137.50	1,581.25	2,625.00
- Removal (%)	12.18	40.24	48.33	32.52	61.47	60.66
Total Solids (TS)						
- Influent (g/l)	22.40	21.98	22.64	24.39	22.20	28.24
- Effluent (g/l)	5.71	8.90	4.74	7.41	5.62	6.60
- Removal (%)	76.02	59.48	79.04	69.77	77.55	76.96
Total Volatile Solids (TVS)						
- Influent (g/l)	5.66	5.42	5.63	6.44	5.29	7.02
- Effluent (g/l)	2.02	2.75	2.04	2.62	2.29	2.50
- Removal (%)	66.37	49.24	63.86	59.43	71.15	65.00
Biogas/day (l)	16.31	16.41	15.59	15.72	17.62	16.05
$\%CH_4$	63.77	75.70	74.02	69.65	81.19	75.95
Total Nitrogen (%)						
- Effluent	0.14	0.18	0.16	0.18	0.16	0.18
- Sludge	4.34	3.90	4.29	3.90	3.91	3.45
Total Phosphorus (%)						
- Effluent	0.011	0.010	0.012	0.012	0.009	0.011
- Sludge	3.77	4.27	3.59	3.88	3.62	4.06
Total Potassium (%)						
- Effluent	0.071	0.079	0.081	0.078	0.082	0.086
- Sludge	2.000	1.690	1.745	1.775	1.700	2.140

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

การทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยมุ่งเน้นเชื้อซัลโมเนลา (*Salmonella* spp.) และเชื้ออีโคไล (*E.coli*) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเลือกจำเพาะ (Selective media) ชนิด xylose lysine deoxycholate agar (XLD) ในการเพาะเลี้ยงเชื้อซัลโมเนลา และใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแยกประเภท (Differential media) ชนิด eosin methylene blue agar (EMB) ในการเพาะเลี้ยงเชื้ออีโคไล (กนกรัตน์, 2548 ; จุรีย์รัตน์, 2548) จากตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน ผลการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในน้ำเสียที่ระบายออกจากส้วมน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ กัน ร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ลงในส้วมน้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่าไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคทั้งในน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรก่อนที่จะเข้าสู่ถังหมัก (influent) และน้ำล้นที่ออกจากถังหมัก (effluent) ในทุกตำรับการทดลอง สอดคล้องกับคุณสมบัติในด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ (นิรนาม, 2543) ที่พบว่า การหมักมูลสัตว์ในระบบการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นระยะเวลานานๆ สามารถช่วยลดปริมาณเชื้อโรคและไข่พยาธิลงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 3

จากการทดลองที่ 2 พบว่า ตำรับการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณของแก๊สชีวภาพ รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรได้ดีที่สุด คือ ตำรับการทดลองที่มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 3 วันต่อครั้งร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM ดังนั้นจึงพิจารณาที่จะเลือกใช้ตำรับนี้ในการทดลองครั้งนี้แต่เนื่องจากการเลือกหน่วยทดลองให้เหมาะสมกับการทดลอง โดยพิจารณาร่วมกับหลายๆ ปัจจัย ทำให้ไม่สามารถใช้ตำรับการทดลองที่มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 3 วันต่อครั้งร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM ได้ เพราะการรบกวนความเป็นอยู่ของสุกรมากเกินไปและไม่สอดคล้องกับสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกรของฟาร์มสุกรหนองหว้า ในการทดลองนี้จึงได้ปรับตำรับการทดลองเป็นการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 2 วันต่อครั้งร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM แทนผลการศึกษาดังนี้

1. ปริมาตรน้ำเสีย

การทดลองที่ 3 ทำการศึกษาปริมาตรน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน โดยให้มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุกๆ 2 วันร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ EM ทำการบันทึกปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการระบายออกจากโรงเรือนตามตำรับการทดลองที่ได้รับ มีผลการศึกษาดังนี้ คือ ปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรโดยเฉลี่ย พบว่าตำรับการทดลองที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และมีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 855.36 และ 830.48 ลบม. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำเสียมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อคิดเป็นปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน พบว่า ตำรับการทดลองที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 28.51 ลบม.ต่อวัน และตำรับการทดลองที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ย 27.68 ลบม.ต่อวัน ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำเสียมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 24)

จากผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 2 ในกรณีที่ศึกษาถึงปัจจัยการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อปริมาตรน้ำเสีย พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำไม่ใช่ปัจจัยที่มีผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อการเพิ่มหรือลดลงของปริมาตรน้ำเสียที่เกิดขึ้น จากการระบายน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ส้วมน้ำภายในโรงเรือน

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	Wastewater	
	Total wastewater (m^3) ($\pm$ SD)	Wastewater/day (m^3) ($\pm$ SD)
Treatment		
Control	855.36 ($\pm$ 136.28)	28.51 ($\pm$ 4.54)
with EM	830.40 ($\pm$ 4.27)	27.68 ($\pm$ 0.14)

2. คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม (Environmental parameters)

2.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรในตำรับการทดลองที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM และมีการเสริมจุลินทรีย์ EM โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า pH ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์ม (influent) ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นแบบระบบบ่อคลุมพลาสติก (covered lagoon) พบว่าค่า pH เฉลี่ยของน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัด คือ 7.09 และ 7.70 ตามลำดับ (ตารางที่ 25) มีความแตกต่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 2 ในตำรับที่มีและไม่มีการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มลงในส้วมน้ำ พบว่าแนวโน้มของค่า pH ในน้ำเสียมีผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ น้ำเสียในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM น้ำเสียมีค่า pH ต่ำกว่ากลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์เล็กน้อย คาดว่าเป็นผลจากการเกิดกระบวนการหมักในระยะแรกของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไร้ออกซิเจนอย่างช้าๆ ภายในส้วมน้ำที่มีอยู่ในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ทำให้มีปริมาณกรดอินทรีย์ที่สูงขึ้นโดยไม่มีการนำไปใช้หรือเปลี่ยนให้เป็นสารอินทรีย์ต่อไปของขบวนการสร้างแก๊สชีวภาพ ส่งผลทำให้ค่า pH ของน้ำเสียลดลง แต่ในกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่า กลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM เพราะในจุลินทรีย์ EM ประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่ทำงานประสานกับอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และนำกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้ค่า pH ของน้ำเสียไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

เมื่อน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดของฟาร์ม จะมีน้ำเสียส่วนที่ได้รับการบำบัดแล้วล้นออกทางท่อระบบน้ำล้นของระบบบำบัด (effluent) ทำการเก็บตัวอย่างของน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ค่า pH พบว่าการเสริมจุลินทรีย์ EM ไม่มีผลต่อค่า pH เฉลี่ยของน้ำล้นที่ออกจากระบบบัด คือ ค่า pH เฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีค่า 7.24 เท่ากัน ($p>0.05$) คาดว่าเป็นผลของการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มเลี้ยงสุกร มีความสมดุลย์ของการใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในการสร้างกรดอินทรีย์และการเปลี่ยนจากกรดอินทรีย์ไปเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เหมาะสมของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษ (2538) รายงานว่า ค่า pH ของน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่เหมาะสม คือ 5.5 – 9 ซึ่งค่า pH ของน้ำทิ้งในการทดลองอยู่ในช่วงที่มีเหมาะสมสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

ตารางที่ 25 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	pH	
	Influent ($\pm$ SD)	Effluent ($\pm$ SD)
Treatment		
Control	7.09 ($\pm$ 0.673)	7.24 ($\pm$ 0.053)
with EM	7.70 ($\pm$ 0.221)	7.24 ($\pm$ 0.169)

2.2 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5)

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5) ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า BOD_5 ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (influent) พบว่า ตำรับการทดลองที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีค่า BOD_5 เฉลี่ยของน้ำเสีย เท่ากับ 2,187.5 mg/l และตำรับการทดลองที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 2,450 mg/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 26)

เมื่อน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร จะมีน้ำเสียส่วนที่ได้รับการบำบัดแล้วล้นออกทางท่อระบบน้ำล้นของระบบบำบัด (effluent) เก็บตัวอย่างของน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ค่า BOD_5 พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อค่า BOD_5 เฉลี่ยของน้ำล้นที่ออกจากระบบบัด คือ มีค่า BOD_5 เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 642 mg/l และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 478 mg/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ผลค่าเฉลี่ย BOD_5 ของกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่าที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดแล้วกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จะทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถลดค่าเฉลี่ยของ BOD_5 ลงได้อย่างมากในส่วนของน้ำล้นจากระบบ ทั้งที่ค่าเฉลี่ย BOD_5 ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าสูงกว่า

ตารางที่ 26 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD_5) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	BOD_5 (mg/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal(%)(± SD)
Treatment			
Control	2,187.5 (± 17.68)	641.25[a] (±30.10)	69.56[b] (± 1.56)
with EM	2,450 (± 353.55)	478.75[b] (± 65.41)	79.79[a] (± 5.82)

หมายเหตุ อักษรตัวยก[(a,b)] ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า BOD_5 พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำมีผลต่อค่า BOD_5 removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร คือ กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทีย์ EM ลงในน้ำเสียที่มีค่า BOD_5 removal เฉลี่ยเท่ากับ 79.79 เปอร์เซ็นต์ มีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า BOD_5 removal เฉลี่ย 69.56 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่า BOD_5 ของการทดลองที่ 3 กับการศึกษาผลของการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต่อคุณสมบัติของน้ำเสียในการทดลองที่ 1 ที่ทำการทดลองโดยให้มีการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนทุก 1 2 และ 3 วันต่อครั้ง โดยไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM หรือ BE ในส้วมน้ำ พบว่าน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรมีค่า BOD_5 เฉลี่ยทุก 2 วันมีค่า 2,529.20 mg/l ซึ่งเปรียบเทียบกับการทดลองนี้ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 2,187.5 และ 2,450 mg/l ตามลำดับ

2.3 ค่าปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า COD ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (influent) พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรไม่มีผลต่อค่า COD ของน้ำเสีย คือ มีค่า COD เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 6,462.5 mg/l และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 6,562.5 mg/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร จะมีน้ำเสียส่วนที่ได้รับการบำบัดแล้วล้นออกทางท่อระบบน้ำล้นของระบบบำบัด (effluent) เก็บตัวอย่างของน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ค่า COD พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อค่า COD เฉลี่ยของน้ำล้นที่ออกจากระบบบัด คือ มีค่า COD เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 1,887.5 mg/l สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 1,500 mg/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) (ตารางที่ 27)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี (COD) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	COD (mg/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal(%)(± SD)
Treatment			
Control	6,462.5 (± 229.81)	$1,887.5^{x}$ (± 123.74)	69.76^{b} (± 1.01)
with EM	6562.5 (± 265.17)	$1,500^{y}$ (± 35.36)	76.85^{a} (± 0.16)

หมายเหตุ อักษรตัวยกที่ต่างกัน$^{(a,b)}$บนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

อักษรตัวยกที่ต่างกัน$^{(x,y)}$บนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$)

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่า COD พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำมีผลต่อค่า COD removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร คือ กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทีย์ EM ลงในน้ำเสีย มีค่า COD removal เฉลี่ยเท่ากับ 76.85 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า COD removal เฉลี่ย 79.76 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร พบว่าค่า COD ของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมได้อยู่ในช่วง 300 mg/l ซึ่งค่า COD ของน้ำเสียจากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐานมาก ไม่สามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมได้โดยไม่ได้รับการบำบัด หรือต้องผ่านการบำบัดในกระบวนการต่างๆ จนกระทั่งค่า COD เหลือน้อย จึงสามารถปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมหรือ หมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

2.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า TS ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (influent) พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรไม่มีผลต่อค่า TS ของน้ำเสีย คือ มีค่า TS เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 21.79 g/l และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 20.83 g/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร จะมีน้ำเสียส่วนที่ได้รับการบำบัดแล้วล้นออกทางท่อระบบน้ำล้นของระบบบำบัด(effluent) เก็บตัวอย่างของน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ค่า TS พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อค่า TS เฉลี่ยของน้ำล้นที่ออกจากระบบบัด คือ มีค่า TS เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 2.88 g/l สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 3.12 g/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	TS (g/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal(%)(± SD)
Treatment			
Control	21.79 (± 2.17)	2.88 (± 1.25)	86.56 (± 4.62)
with EM	20.83 (± 4.53)	3.12 (± 1.61)	84.40 (± 4.46)

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่าเฉลี่ย TS พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย TS removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร คือ กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทีย์ EM ลงในน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ย TS removal เฉลี่ยเท่ากับ 86.56 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่าเฉลี่ย TS removal เฉลี่ย 84.40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 2 ที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่า มีค่าเฉลี่ย TS removal ที่ต่ำกว่าการทดลองนี้ คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของถังปฏิกิริยาในการทดลองที่ 2 มีขนาดเล็ก ทำให้เมื่อมีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา อาจจะทำให้มีกากตะกอนบางส่วนฟุ้งกระจายปนเปื้อนออกมาได้ ส่งผลต่อค่าเฉลี่ย TS removal ให้ต่ำกว่าระบบบำบัดที่ใช้อยู่ภายในฟาร์ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS)

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS) ของน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ได้รับตำรับการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่า TVS ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (influent) พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรไม่มีผลต่อค่า TVS ของน้ำเสีย คือ มีค่า TVS เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 17.34 g/l และกลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์มีค่า TVS เฉลี่ยเท่ากับ 16.78 g/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร จะมีน้ำเสียส่วนที่ได้รับการบำบัดแล้วล้นออกทางท่อระบบน้ำล้นของระบบบำบัด (effluent) เก็บตัวอย่างของน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ค่า TVS พบว่าการเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อค่า TVS เฉลี่ยของน้ำล้นที่ออกจากระบบบัด คือ มีค่า TVS เฉลี่ยในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์เท่ากับ 1.04 g/l สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่า TVS เฉลี่ยเท่ากับ 1.20 g/l ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 29)

ตารางที่ 29 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS) ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร

	TVS (g/l)		
	Influent (± SD)	Effluent (± SD)	Removal(%)(± SD)
Treatment			
Control	17.34 (± 1.56)	1.04 (± 0.64)	93.91 (± 3.34)
with EM	16.78 (± 2.80)	1.20 (± 0.86)	92.54 (± 4.21)

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% removal) ในค่าเฉลี่ย TVS พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย TVS removal ของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร คือ กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ย TVS removal เฉลี่ยเท่ากับ 93.91 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มที่มีไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีค่าเฉลี่ย TVS removal เฉลี่ย 92.54 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ 2 ที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร พบว่ามีค่าเฉลี่ย TVS removal ที่ต่ำกว่าการทดลองนี้ คาดว่าเป็นผลเช่นเดียวกับค่า TS removal

2.5 ปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

การวัดปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพของระบบบำบัดขนาดใหญ่ ที่ใช้อยู่จริงภายในฟาร์ม สามารถทำได้โดยการติดตั้งก๊าซมิเตอร์ (Gas meter) แต่จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องก๊าซมิเตอร์ก่อนทำการทดลอง พบว่า เมื่อทำการติดตั้งก๊าซมิเตอร์แล้ว ส่งผลทำให้อัตราการไหลของแก๊สชีวภาพเข้าสู่เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ามีปัญหา ไม่สามารถเดินเครื่องได้ตามปกติ ดังนั้นในการทดลองนี้ใช้การบันทึกชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าแทนการวัดปริมาณด้วยก๊าซมิเตอร์ได้ผลการบันทึกดังนี้

ผลการศึกษาการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ต่อชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM ในส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้านานกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ เท่ากับ 214.5 ชั่วโมง และ 136 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยจำนวนชั่วโมงการทำงานดังกล่าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) (ตารางที่ 30)

ตารางที่ 30 ชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและปริมาณของก๊าซมีเทน

	Work Hours (hrs.) ($\pm$ SD)	CH_4 (%)($\pm$ SD)
Treatment		
Control	136.0^{b} ($\pm$ 0.00)	50.90 ($\pm$ 3.40)
with EM	214.5^{a} ($\pm$ 33.24)	59.10 ($\pm$ 4.67)

หมายเหตุ อักษรตัวยก$^{(a,b)}$ ที่ต่างกันบนค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatograph (GC) เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทน (% CH_4) ในก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (% composition) พบว่าการเสริมจุลินทรีย์ EM ในส้วมน้ำต่อปริมาณค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทนในปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันจากน้ำเสีย พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 59.10 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ไม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ มีค่าเท่ากับ 50.10 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทนในการทดลองที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทนการทดลองนี้ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในระดับที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ ส่วนหนึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากบริเวณท่อที่เก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพเป็นบริเวณที่เปิดโล่งและอยู่ด้านท้ายของเครื่องยนต์ ทำให้ไม่สามารถควบคุมการเก็บตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่ากับการทดลองที่ 2

จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ที่แสดงถึงปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพที่ระบบบำบัดสามารถผลิตได้ มีค่าสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จากระบบ (% removal) ในการทดลอง พบว่า กลุ่มที่ได้รับการเสริมจุลินทรีย์ EM ในส้วมน้ำ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยรวมได้ดีที่สุด แสดงว่าจุลินทรีย์ EM สามารถช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่มีในน้ำเสียและเปลี่ยนไปเป็นแก๊สชีวภาพได้ดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบระเหยไอเย็นจากน้ำ (Evaporative cooling system) ร่วมกับการใช้ส้วมน้ำเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพได้ ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณของแก๊สชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อร่วมกับการจัดการระยะเวลาที่เหมาะสมในการระบายน้ำเสียออกจากโรงเรือน คือ ที่ระยะเวลาการระบายน้ำทุกๆ 3 วันต่อครั้ง และยังช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่จะต้องเข้าสู่ระบบบำบัด ทำให้สามารถลดขนาดของระบบบำบัดลงได้

ข้อเสนอแนะ

การใช้จุลินทรีย์ EM มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ดังนั้นไม่ควรส่งเสริมให้มีการใช้จุลิทรีย์ EM ในฟาร์มสุกรหรือฟาร์มปศุสัตว์ ที่ไม่มีการจัดการของเสียอย่างถูกวิธีและเหมาะสม หรือไม่มีการนำของเสียเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน เพื่อนำแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เพราะจะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความรุนแรงของภาวะโลกร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกรัตน์ ศิริพานิชกร. 2548. **คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยา.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2538. **คู่มือการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ.** กองจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำ ปี พ.ศ.2541 – 2542**. กองจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 199 หน้า

_____. 2549. **คู่มือแนวทางปฏิบัติด้านการผลิตที่สะอาดสำหรับฟาร์มสุกร**. ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

จุรีย์รัตน์ ลีสมิทธิ์. 2548. **ปฏิบัติการจุลชีววิทยาทั่วไป.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชมรมเกษตรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ม.เกษตร. ม.ป.ป. **เกษตรออแกนิคและสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิคน้ำสกัดชีวภาพ(BIOEXTRACT: B.E).** กองพัฒนาการบริหารงานเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ท.

ชัยสิทธิ์ ทองจู และ สุดประสงค์ สุวรรณเลิศ. 2543. น้ำสกัดชีวภาพ (Bioextract: B.E.). **วารสาร ส.ก.ว.** 7 (3): 43 – 57.

เตือนใจ จันทร์ชัย. 2546. **ปริมาณสิ่งขับถ่ายและค่าความสกปรกของของเสียจากสุกรที่น้ำหนักต่างๆ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เทรูโอะ ฮิงะ. 2536. EM คืออะไร. **เกษตรคิวเซ.** (ก.ค.- ก.พ.): 21 – 23.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นวลจันทร์ พารักษา. 2531. การใช้มูลสุกรในการผลิตกระแสไฟฟ้า. **สุกรสาส์น** 14 (54): 69-75.

นิรนาม. 2536. เกษตรธรรมชาติหรือเกษตรกรรมแบบยั่งยืน. **สาส์นไก่และการเกษตร.** 41(7): 60 – 67.

_____. 2543. เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ Biogas Technology. **KU Electronic Magazine** 3 (1). แหล่งที่มา:http://www.sci.nu.ac.th/informationit/index.php?action=printpage;topic=2110.0, 30 ธันวาคม 2551.

นิรันดร โพธิกานนท์ วราภา คุณาพร และโชค มีเกล็ด. 2544. **ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ**. โครงการแผนที่ไบโอก๊าซฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นเรศ มณีโชติ. 2546. **การเปรียบเทียบสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรแบบไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบีและระบบลูกผสมยูเอเอสบีและเครื่องกรอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุษบา ธรรมประเสริฐ. 2537. **การกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประวัติ ผลไม้. 2545. อีอ่างเทคโนโลยีชาวบ้านลดวิกฤติหน้าร้อน. **สัตว์เศรษฐกิจ.** 19 (439): 15 –18.

พงศธร อุ่นจิตต์วรรธนะ. 2535. การใช้ซีโอไลท์ปรับปรุงน้ำเสียและของเสียจากฟาร์ม. **สุกรสาส์น.** 18 (72): 47 – 52

พัชริน ดำรงกิตติกุล. 2538. มลภาวะจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์. *ใน* **การสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะและผลผลิตพลังงานในฟาร์มเลี้ยงสุกร.** หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มงคล ดำรงค์ศรี, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, เกษร ทวีเศษ และ นุษรา สินบัวทอง. 2535. **การศึกษาข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อการกำจัดของเสียจากฟาร์มโคนมและสุกรโดยถังหมักชนิดมีตัวกลางและโดยขบวนการ UASB รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ รวบรวมงานประจำปี 2535 - 2536.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 58 หน้า

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. **การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ราชาวดี ยอดเศรณี. 2546. **ผลการเสริมสเม็คไทต์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม หัวเชื้อจุลินทรีย์ น้ำสกัดชีวภาพจากพืชและสัตว์ในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตและระดับแอมโมเนียในมูลไก่ไข่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วนิดา จูลเมตต์. 2543. **การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบ่อไบโอก๊าซด้วยสารสกัดจากต้นยัคคา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2547. การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนสุกรเพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงเรือน. **สัมมนาปริญญาเอก**. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ชวนนิกุล. 2543. สถานการณ์การเลี้ยงสัตว์และปัญหาสิ่งแวดล้อมฟาร์มสุกร. **สุกรสาส์น.** 14 (55): 53-61

วีระพันธ์ เกียรติภักดี. 2538. ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียและผลิตพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ *ใน* **การสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะและผลผลิตพลังงานในฟาร์มเลี้ยงสุกร.** หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วีระศรี หวังการ. 2543. เกษตรออแกนิคและสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิคน้ำสกัดชีวภาพ. **วารสาร ส. ก.ว.**. 7 (2): 43 – 9.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ พัชรี หอวิจิตร สรพรรณ อมตะธรรม ศิษยา บุญมานุช บรรจง กาศแก้ว สุภาพร แซ่ลิ้ม และ สุรักษ์ ศรีเมืองช้าง. 2542. **โครงการนำร่องการจัดการมูลสัตว์ รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 136 หน้า

ศุภวันจักรี พลมีศักดิ์. 2544. **ผลการใช้จุลินทรีย์ผสมและโอลิโกแซคคาไรด์จากพืชเจรูซาเล็มอาร์ติโช๊คในอาหารสุกรรุ่น - ขุนเพื่อลดกลิ่นของมูลสุกร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชัย จันทร์สว่าง นวลจันทร์ พารักษา สินชัย พารักษา ศรีสุวรรณ ชมชัย และ หนูจันทร์ มาตา. 2547. **โครงการจัดการของเสียจากฟาร์มสุกรโดยวิธีชีวภาพภายใต้โครงการพัฒนาคุณภาพลุ่มแม่น้ำท่าจีนให้เอื้อต่อการดำรงชีวิตอยู่อย่างเป็นสุขและเอื้อต่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ.** ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ สถาบันสุวรรณวาจกสิกิจ เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุริยะ สะวานนท์. 2539. **การศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกรด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มและจุลินทรีย์ผลิตมีเทน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2540. **กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้การสนับสนุนการขยายโครงการการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์.** แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/vrs/VRS38.htm, 9 มิถุนายน 2547.

อรรถ บุญนิธี. 2544. หัวเชื้อจุลินทรีย์ บีอี (น้ำสกัดชีวภาพ). ใน **รายงานการสัมมนาวิชาการการพัฒนาการใช้น้ำสกัดชีวภาพเพื่อการเกษตร.** สมาคมเทคโนโลยีพืชไร่, กรุงเทพฯ.

Anonymous. 2003. **Methane (Biogas) from Anaerobic Digesters.** U.S. Department of Energy. Available Source: http://www.eren.doe.gov/consumerinto/retbriets/abb.html, January 1, 2003.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

AOAC. 1980. **Official Methods of Analysis.** 14th ed., Association of Official Analytical Chemists Inc., Virginia.

Archer, D.B. and B.H. Kirsop. 1991. The microbiology and control of anaerobic digestion, pp. 43-9. *In* A. Wheatley, ed. **Anaerobic Digestion: Waste Treatment Technology**. Elsevier Applied Sci. Pub., London.

Barker, H. A. 1985. **Bacterial Fermentation**. John Wiely and Sons.Inc., New York.95 p. Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation, Board on Science and Technology for International Development, Nation Research Council. 1977. Methane Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes. National Academy of Sci., Washington, D.C.

Bryant. 1976. The microbiology of anaerobic degradation and methanogenesis with special reference to sewage. pp. 107-117. *In* H.G. Schiegel, ed. **Seminar on Microbiol. Energy Conversion.** E. Goltz K. G., Guttingen, Germany.

Chantsavang, S., C.Sinratchatanun, K.Ayuwat and P.Sirirote. 1993. **Application of Effective Microorganism for Pig Waste treatment.** National Swine Research and Training Center Kasetsart University, Bangkok.

ESCAP. 1984. **Updata Guidebook of Biogas Development**. United Nations Pub., New York.

Holland, K.T., J.S. Knapp and J.G. Shoesmith. 1987. **Anaerobic Bacteria**. Chapman and Hall, New York.

Koga Y., N. Masateru, M. Hiroyuki and A.M. Masayo. 1993. Ether polar lipids of methanogenic bacteria: structures, comparative aspects and biosyntheses. **Microbiol. Mol. Biol. Rev**. 57 (1): 164 - 182.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lowe, S.E., K.J. Mahendra and J. Gregory Zeikus. 1993. Biology ecology and biotechnological applications of anaerobic bacteria adapted to environmental stresses in temperature pH salinity or substrates. **Microbiological Rev**. 57: 451-509.

Ma.Rosario A Ablan. 2003. **GREEN PRODUCTIVITY**. Available Source: http://www.neda.gov.ph/knowledge-emporium/details.asp?DataID=58, June 9, 2006.

Marty, B. 1986. Microbiology of Anaerobic Digestion, pp. 72-89. *In* A.M. Bruce, A. Kouzeli-Katsiri and P. J. Newman., eds. **Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Agricultural Wastes.** Elseveir and Sci. Pub, London.

Meynell, P.J. 1976. **Methane: Planning a Digesteer**. Prism Press, Great-Britain.

Price, E.C. and P.N. Cheremisinoff. 1981. **Biogas Production & Utilization**. And Arbor Sci Inc., Michigan.

SAS. 1988. **SAS / STAT User's Guide**. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

Taylor, G.T. 1982. The Methanogenic Bacteria. **Prog. Ind. Microbiol**. 16: 231 - 329.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเคมีและการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. pH

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องมือวัด pH

1.1.2 คาโลเมลอีเล็คโทรด

1.1.3 แท่งแก้วอีเล็คโทรด

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 ใช้น้ำฉีดกลั่นล้างแท่งแก้วอีเล็คโทรด และคาโลเมลอีเล็คโทรด ให้สะอาดซับให้แห้งด้วยกระดาษเนื้อเยื่อ

1.2.2 ปรับค่ามาตรฐานเครื่องมือด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่า pH ใกล้เคียงกับค่าของตัวอย่างน้ำที่จะวัด

1.2.3 ใช้น้ำฉีดกลั่นล้างแท่งแก้วอีเล็คโทรดอีกครั้ง แล้วซับให้แห้ง

1.2.4 วัดค่า pH ของน้ำตัวอย่าง

2. Chemical Oxygen Demand (COD)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 reflux apparatus ประกอบด้วย round bottom flask ขนาด 250 ml. ที่มีคอทำด้วย ground joint รับกับ condensor ซึ่งมีข้อต่อกับ ground joint เช่นกัน

2.1.2 hot plate

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.3 burette

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมท 0.25 N

ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้งดีแล้ว(103^0ซ) 12.259 กรัมในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟามิค0.12 กรัม เจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.2.2 กรดซัลฟูริครีเอเจน

กรดซัลฟูริคปกติบรรจุในขวดขนาดปอนด์ (2.65 ลิตร) เติม Ag_2SO_4 ลงไป 22 กรัม ปล่อยให้ละลายจนหมด ใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน

2.2.3 สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4).6H_2O$ 39 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งที่ใช้

ทำการการหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยเจือจางสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 10 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เติมกรด H_2SO_4เข้มข้นจำนวน 30 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 3 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วนำมาไตเตรทกับสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

$$\textbf{Normality of } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 = \frac{\textbf{ml. } K_2Cr_2O_7 \textbf{ x 0.25}}{\textbf{ml. } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.4 สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10 – Phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม พร้อมกับ $FeSO_4.7H_2O$ จำนวน 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2.2.5 ซิลเวอร์ซัลเฟต ชนิดผง

2.2.6 เมอร์คิวริคซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดเป็นผลึกบริสุทธิ์

2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 ใส่ $HgSO_4$ ประมาณ 0.4 กรัมและลูกแก้ว 5-10 เม็ด ลงในขวดแก้วก้นกลม

2.3.2 เติมตัวอย่างน้ำจำนวน 20 มิลลิลิตร หรือส่วนของตัวอย่างน้ำเจือจางด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

2.3.3 เติมสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N จำนวน 10 มิลลิลิตร

2.3.4 ค่อย ๆ เติมกรด H_2SO_4เข้มข้นที่มี $AgSO_4$ ละลายอยู่ลงไปจำนวน 30 มิลลิลิตร

2.3.5 กลั่นสารผสมทั้งหมดใน Reflux apparatus เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

2.3.6 ฉีดล้างส่วนที่ค้างอยู่ใน condenser และเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 120 มิลลิลิตร โดยประมาณปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.3.7 ไตเตรทสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด จนกระทั่งเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง แสดงว่าถึงจุดสมดุล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.8 ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นจำนวน 20 มิลลิลิตร แทนน้ำตัวอย่างและทำเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ โดย reflux พร้อมกัน

2.4 การคำนวณ

$$\textbf{mg/l COD} = \frac{\textbf{(a-b) x c x 8,000}}{\textbf{ml. sample}}$$

เมื่อ COD = Chemical Oxygen Demand from Potassium Dichromate ในหน่วย mg/l

a = ml. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ titrate blank

b = ml. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ที่ใช้ titrate sample

c = Normality of $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

3. Dissolved Oxygen (DO) โดยวิธี Axide Modification of Iodometric

วิธีนี้เหมาะสำหรับการหาปริมาณสารละลายออกซิเจนในน้ำโสโครก น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำในแม่น้ำลำคลอง แต่ใช้ไม่ได้ดีกับน้ำที่มีอนุภาคของเหล็กที่มีวาเลนซี่สองเกินกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร หรือสารที่เป็นตัวเติมหรือลดออกซิเจนปนอยู่

3.1 สารเคมี

3.1.1 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ละลาย $MnSO_4.2H_2O$ 400 กรัม หรือ $MnSo_4.H_2O$ 480 กรัมในน้ำกลั่น เจือจางได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.12 สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-อาไซด์

ละลาย NaOH 500 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร แล้วเติม NaN_3 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดสีชา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3 กรดซัลฟูริคเข้มข้น

3.1.4 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N ใช้ในการไตเตรท

ละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ และปล่อยให้เย็นเจือจางจนเป็นปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพอยู่ได้ โดยการเติม NaOH 0.4 กรัม/ลิตร สารละลายมาตรฐานนี้ 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับสารละลายออกซิเจน(DO) 0.200 มิลลิกรัม

3.1.5 น้ำแป้ง

ละลายแป้งมัน 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ต้มจนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำจนได้ 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ทิ้งให้เย็นเติมกรด salicylic 1.25 กรัม เพื่อป้องกันน้ำแป้งบูด

3.2 วิธีวิเคราะห์

3.2.1 จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวด 300 มล.เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร

3.2.2 เติมสารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-อาไซด์ ตามลงไปทันที 2 มิลลิลิตร ให้ปลายปิเปตจมอยู่ในน้ำตัวอย่าง

3.2.3 ปิดจุกระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำพลิกไปมาให้ขวดตั้งขึ้นและลง สลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

3.2.4 ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไปทันที 2 มิลลิลิตร ให้กรดไหลลงไปตามคอขวดแล้วปิดจุกค่อย ๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

3.2.5 ตวงสารละลายที่ได้ 203 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 500 มิลลิลิตร (ปริมาตร 203 มิลลิลิตร แทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 มิลลิลิตร เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มิลลิลิตร คือแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตรและอัลคาไล – ไอโอไดด์ – เอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไซด์ 2 มิลลิลิตร ที่เติมลงไปในขวดขนาด 300 มิลลิลิตร ส่วนปริมาตรของซัลฟูริค 2 มิลลิลิตร ที่เติมลงไปตอนหลังไม่นำมาคิด เพราะ oxidized floc ที่เกิดไม่ถูกแทนที่ ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึงควรเป็น (200 x 300)/(300 – 4) = 203 มิลลิลิตร

3.2.6 ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N จนได้สีเหลืองอ่อน ๆ แล้วเติมน้ำแป้ง 1-2 หยด ไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

3.3 การคำนวณ

เนื่องจาก 1 มิลลิลิตรของโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ที่ใช้ไตเตรทจะเท่ากับปริมาณ DO 0.200 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น 1 มิลลิลิตรของโซเดียมไธโอซัลเฟต จะเท่ากับ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ของ DO เมื่อใช้ปริมาตรของตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ในการไตเตรท

4. Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)

BOD_5 คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจากกระบวนการนี้ แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ ค่า BOD_5นี้จะบอกถึงคุณลักษณะของน้ำเสียนั้นว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก ค่า BOD_5 ก็จะมากด้วยและในทำนองเดียวกันถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อยค่า BOD_5 ก็จะน้อย

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 ขวดมาตรฐาน (incubation bottle) ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิทปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะ incubate ที่ 20^{O}ซ เพื่อกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดก่อนนำไปใช้

4.1.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Air incubation) ที่ 20^{O}ซ และต้องมืดเพื่อป้องกันการเกิด DO จากสาหร่ายในตัวอย่างน้ำ

4.1.3 กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1.4 เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น burette, beaker อื่น ๆ

4.2 สารเคมี

4.2.1 น้ำกลั่นบริสุทธิ์

น้ำกลั่นที่ใช้ต้องเป็นน้ำกลั่นคุณภาพสูงปราศจาก คลอรีน คลอราลีน อัลคาไลนิตี้ กรดและสารอินทรีย์ มีทองแดงได้ไม่เกิน 0.01 มก./ลิตร

4.2.2 สารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์

ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม Na_2 $HPO_4.7H_2O$ กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2

4.2.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ละลาย $MgSO_4.7H_2O$ จำนวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4.2.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ละลาย $CaCl_2$ ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4.2.5 สารละลายเฟอริคคลอไรด์

ละลาย $FeCl_3.6H_2O$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4.2.6 สารละลายกรดและด่าง 1 N สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

4.2.7 สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 N

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ละลาย Na_2SO_3 ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

4.2.8 การเติมน้ำเชื้อ (seeding)

การเติมน้ำเชื้อเพื่อให้มีจำนวนแบคทีเรียเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ เช่นน้ำโสโครกจากบ้านเรือน น้ำล้างคอกสุกร ซึ่งมีแบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมากแล้วไม่จำเป็นต้องเติมน้ำเชื้อลงไปอีก ตัวอย่างน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เช่น น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่อุณหภูมิสูง น้ำที่เป็นกรดหรือด่างแรง น้ำเชื้อมาตรฐาน เตรียมได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนที่ปล่อยให้ตกตะกอน และใส่ไว้ในตู้อุณหภูมิ 20^{O}ซ เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง จึงดูดเอาน้ำส่วนบนมาใช้โดยทั่วไปใช้น้ำเชื้อมาตรฐาน 1-2 มิลลิลิตรต่อน้ำเชื้อเจือจาง 1 ลิตร น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิด ที่มีสารอินทรีย์ที่มีเชื้อแบคทีเรียจากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนไม่สามารถย่อยสลายได้ในกรณีเช่นนี้ จะต้องเตรียมน้ำเชื้อจากดินทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำทิ้งชนิดนั้นเสียก่อน หรือเก็บจากแหล่งรับน้ำ ใต้จุดที่ทิ้งน้ำเสียนั้น (โดยปกตินิยมเก็บที่ระยะ 2-3 กม.) การทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำเสียที่ต้องการหานั้นทำได้โดยการเป่าอากาศให้น้ำโสโครก หรือจากแหล่งน้ำทิ้ง แล้วค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำเสียที่ต้องการหา BOD_5 ลงไปทุกวันจนกระทั่งได้เชื้อที่เคยชินกับน้ำเสียนั้นเจริญขึ้นจนเป็นที่น่าพอใจ

4.3 วิธีการวิเคราะห์ แบ่งได้ 2 วิธีคือ

4.3.1 Direct Method ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า BOD_5 5 วัน ไม่เกิน 7 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่จำเป็นต้องนำน้ำตัวอย่างมาเจือจางสามารถหาค่า BOD_5 ได้เลย (Direct Method ก็คือDilution Method ที่ใช้ค่าน้ำตัวอย่างของการเจือจางที่ 100 %)

4.3.2 Dilution Method ใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีค่า BOD_5 5 วัน เกินกว่า 7 มิลลิกรัม/ลิตร จำเป็นต้องนำน้ำตัวอย่างมาเจือจางก่อน

4.4 วิธีการวิเคราะห์ Dilution Method

4.4.1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

ข. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

ค. เป่าอากาศ (aerate) ที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

ง. เติมน้ำเชื้อ (seed) 2 มิลลิลิตรต่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1 ลิตร ในกรณีที่น้ำตัวอย่างจำเป็นต้องใช้

4.4.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

ก. ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ pH ประมาณ 7 ด้วย H_2SO_4 1N หรือ NaOH 1N แล้วแต่กรณี

ข. ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1 - 2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะสลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มากต้องกำจัดโดยการใช้โซเดียมซัลไฟท์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะเติมทำได้โดย ใช้ตัวอย่างน้ำ 100-1,000 มิลลิลิตร เติมกรดอาซิติค(1+1) หรือกรดซัลฟูริค (1+500) 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทด้วยโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 N ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จะทราบปริมาณโซเดียมซัลไฟท์ที่จะต้องใช้ แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำที่กำจัดคลอรีนส่วนเกินแล้วไปหาค่า BOD_5 ต่อไป

ค. ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดออกก่อนแล้วแต่กรณีเป็นพิเศษ

4.4.3 การเจือจาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD_5 อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันไปอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวกที่ 1 ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ค่า BOD_5 โดยประมาณของน้ำเสียก่อน

ข. ค่อย ๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ในกระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

ค. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

ง. ค่อย ๆ รินใส่ขวด BOD_5 3 ขวด ปิดจุกนำไปเก็บไว้ในตู้ 20^{O}ซ 2 ขวด ส่วนขวดที่เหลือนำไปหา DO ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_1)

จ. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 3.2 ถึง 3.5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่า การหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้นโดยวิธี Azide Modification of the Iodometric Method ดังกล่าวมาแล้ว

4.4.4 การเพาะเลี้ยง (incubation) โดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืดอุณหภูมิ 20 ± 1^{O}ซ เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D_2) เหมือนการหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น

4.5 การลดปริมาณ DO เนื่องจากน้ำเชื้อ

ในกรณีที่มีการเติมน้ำเชื้อ (seed) ลงในน้ำกลั่นสำหรับเจือจางจะต้องหาปริมาณ DO ที่ลดลงเนื่องจากน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง แล้วนำไปคิดคำนวณเทียบตามเปอร์เซ็นต์ของน้ำเชื้อที่ใช้ในการเจือจางตัวอย่างน้ำ โดยปกติแล้วปริมาณ DO ที่ลดลงเนื่องจากน้ำเชื้อไม่ควรเกิน 1 มิลลิลิตร/ลิตร

4.6 การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD_5 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่ 20^{O}ซ ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที ผลต่างของปริมาณ DO ที่ได้ในตอนแรกและตอนหลัง (5วัน) จะเป็นเครื่องชี้ให้เห็นคุณภาพของน้ำกลั่นที่ใช้เป็นน้ำเจือจาง ถ้าปรากฏว่าปริมาณ DO ลดลง ผลที่ได้นั้นไม่ควรใช้เป็น blank correction ปกติแล้วปริมาณ DO ไม่ควรลดลงเกินกว่า 0.2 มิลลิลิตร หรือที่ดีแล้วไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิลิตร

4.7 การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD_5

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปนั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิลิตร/ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิลิตร/ลิตร จึงจะทำให้ค่า BOD_5 ที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

4.8 การคำนวณ

4.8.1 กรณีไม่เติมเชื้อ

$$\text{mg/l } BOD_5 = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

4.8.2 ในกรณีที่เติมเชื้อ

$$\text{mg/l } BOD_5 = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)\, f}{P}$$

เมื่อ D_1 = DO of diluted sample 15 min. after preparation (0 day)

D_2 = DO of diluted sample after incubation (5 days)

P = Decimal fraction of sample used

B_1 = DO of diluted of seed control before incubation (0 day)

B_2 = DO of diluted of seed control after incubation (5 days)

f = ratio of seed in sample to seed in control (%seed in D_1/%seed in B_1)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ช่วงค่า BOD_5 ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD_5	% ตัวอย่าง
20,000 – 70,000	0.01
10,000 – 25,000	0.02
4,000 – 14,000	0.05
2,000 – 7,000	0.10
1,000 – 3,500	0.20
400 – 1,400	0.50
200 – 700	1.00
100 – 350	2.00
40 – 140	5.00
20 – 70	10.00
10 – 35	20.00
4 – 14	50.00
0 – 7	100.00

5. Total Solids (TS) วิเคราะห์ตามวิธี AOAC (1980)

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100^{O}-105^{O}ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.1.1 disiccator พร้อมกับสารดูดความชื้น

5.1.2 oven ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103^{O}ซ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1.3 ถ้วยเผา (crucible)

5.1.4 เครื่องชั่งละเอียด

5.1.5 Water bath หรือ hot plate

5.2 วิธีการวิเคราะห์

5.2.1. การเตรียมถ้วยเผาต้องอบแห้งที่อุณหภูมิ103^{O} – 105^{O}ซ ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

5.2.2 เลือกใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม

5.2.3. ค่อย ๆ รินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในถ้วยเผา นำไประเหยน้ำออกให้หมดบน water bath หรือ hot plate นำไปอบในตู้อุณหภูมิ103^{O} – 105^{O}ซ จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสซิเคเตอร์

5.2.4 ชั่งน้ำหนักถ้วยเผาทันที น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ น้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกในเทอมของมิลลิกรัมต่อลิตร

5.2.5 การคำนวณ

$$\textbf{mg/l Total solids} = \frac{\textbf{mg total solids x 1,000}}{\textbf{ml. of sample}}$$

6. Total Volatile Solids (TVS) วิเคราะห์ตามวิธี AOAC (1980)

ของแข็งระเหย (total volatile solids) หมายถึงปริมาณของสารที่ระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550^{O}ซ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ส่วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม่สลายไป เรียกว่า ปริมาณของแข็งคงตัว (fix solids)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

6.1.1 disiccator พร้อมกับสารดูดความชื้น

6.1.2 oven ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103^{O}ซ

6.1.3 ถ้วยเผา (crucible) ที่ทนความร้อนได้ที่ 600^{O}ซ

6.1.4 เตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550^{O}ซ

6.1.5 เครื่องชั่งละเอียด

6.1.6 water bath หรือ hot plate

6.2 วิธีการวิเคราะห์

6.2.1 นำถ้วยเผา (crucible) ที่ได้จากการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้ว นำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 550^{O}ซ จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที)

6.2.1 ปล่อยให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ ซึ่งหาน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (fix solids)

6.2.3 การคำนวณ

$$\textbf{mg/l Fix solids} = \frac{\textbf{mg. of fix solids x 1,000}}{\textbf{ml. of sample}}$$

mg/l Total volatile solids = mg/l total solids – mg/l fix solids

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total Nitrogen) โดยวิธี micro - kjeldahl

7.1 สารเคมี

7.1.1 Digestion mixture โดยมีวิธีการเตรียม คือ ชั่งโซเดียมซัลเฟต 250 กรัม ซีรีเนียม 2.5 กรัมและ กรดซัลฟูริค(เข้มข้น) 2.5 ลิตร ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 5 ลิตร นำไปวางบน hot plate ต้มจนได้สีขาวใส ทำให้เย็น

7.1.2 Boric acid – indicator solution

7.1.3 Sodium hydroxide (NaOH) 10 N

7.1.4 Standard sulfuric (H_2SO_4) หรือ hydrochloric acid (HCl) 0.005 N

7.2 วิธีเตรียมตัวอย่างมูลสุกร น้ำล้นจากระบบและกากตะกอน

มูลสุกร น้ำล้นจากระบบและกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องทำการอบตัวอย่างให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 103 - 105^{O}ซ นำมาบดด้วยเครื่องบด เก็บตัวอย่างที่บดไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดรัดปากถุงให้แน่น เมื่อจะนำมาวิเคราะห์ควรนำไปอบอีกครั้ง หาน้ำหนักที่แท้จริงนำมาชั่งตัวอย่างเพื่อนำไป digest ต่อไป

7.3 วิธีการย่อยตัวอย่าง

Digestion of samples ชั่งตัวอย่างมูลสุกรหรือกากตะกอน 0.2 กรัม ลงใน Micro – kjeldahl flask เติม digestion mixture ลงไป 5 มิลลิลิตร นำไป digest ใน kjeldahl heater digest ใน fume hood digest จนกระทั่งได้สีขาวใส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันให้ทั่ว กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์1 เทใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ลงใน distillation flask เติม 10 N NaOH ลงไป 5 มิลลิลิตร ทำการกลั่นประมาณ 7 นาที โดยเก็บ NH_3 ที่ได้ในสารละลาย Boric acid indicator จำนวน 5 มิลลิลิตร titrateสารละลายที่กลั่นได้ด้วย 0.005 N H_2SO_4 หรือ 0.005 N HCl ทำ blank ด้วย

7.4 การคำนวณ

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = \frac{(A - B)\ C \times 1.4 \times 5}{D}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตร ของกรดที่ใช้กับตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้กับ blank

C = ความเข้มข้นของกรด(normal)

D = น้ำหนักของตัวอย่าง(กรัม)

8. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) โดย Spectrophotometer

8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

8.1.1 เครื่อง spectrophotometer

8.1.2 เครื่องแก้วต่าง ๆ

8.2 สารเคมี

8.2.1 Ammonium molybdate tetrahydrate ($(NH_4)6Mo_7O_{24}.4H_2O$)

8.2.2 Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)

8.2.3 Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.2.4 HCl (1:3)

8.2.5 HNO_3 conc.

8.2.6 Perchloric acid (70%) , HClO4

8.3 วิธีการเตรียม

8.3.1 molybdovanadate reagent เตรียมได้ดังนี้

ละลาย ammonium molybdate tetrahydrate ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}H_2O$) 40 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มร้อนประมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้ละลายทิ้งให้เย็น = **molybdate solution**

ละลาย ammonium metavanadate (NH_4VO_3) 2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มร้อนประมาณ 250 มิลลิลิตร คนให้ละลายให้หมด ทำให้เย็นเติม perchloric acid ($HCLO_4$) 70 % จำนวน 250 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน = **vanadate solution**

ค่อย ๆ เท **molybdate solution** ผสมกับ **vanadate solution** เขย่าให้ผสมกันให้ทั่วปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร

8.3.2 stock standard phosphorus (P_2O_5) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมได้ดังนี้

ชั่ง potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) ที่อบแห้ง 8.788 กรัม ลงใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร เตรียม working solution ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลบ.ซม.

8.3.3 การเตรียม Standard curve

ก. ไปเปตสารละลายจาก working solution มาจำนวน 5 , 8 , 10 และ 15 ลบ.ซม. ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. เติมสารละลาย molybdovanadate จำนวน 20 ml ลงใน flask ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

ค. นำไปอ่านค่า absorbance จากเครื่อง spectrophotometer ที่ 400 nm. ต้องทำ blank ด้วย

ง. นำค่าที่ได้ไป plot curve เป็น standard curve

8.4 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

8.4.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยเผา นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 ^{O}ซ นาน 4 ชั่วโมง

8.4.2 เติม HCl จำนวน 400 ml และ HNO_3 conc 8 – 10 หยด นำไปต้มให้เดือดแล้วยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายตะกอนลงใน volumetric flask แล้วปรับปริมาตรเป็น 200 ml

8.4.3 ไปเปตสารละลายจากข้อ 2 จำนวน 2 ml ใส่ลงใน volumetric ขนาด 100 ml เติมสารละลาย molybdovanadate จำนวน 20 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

8.4.4 นำไปอ่านค่า absorbance จากเครื่อง spectrophotometer ที่ 400 nm. แล้วเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม) โดยเทียบจาก standard curve

9. การวิเคราะห์พอแทสเซียม (Total Potassium) โดยเครื่อง atomic emission spectrophotometer

9.1 วิธีเตรียมตัวอย่างมูลสุกรและกากตะกอน

มูลสุกรและกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105^{O}ซ นำมาบดด้วยเครื่องบดเก็บตัวอย่างที่บดไว้ในถังพลาสติก รัดปากถุงให้สนิทเพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ต่อไป

9.2 วิธีเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นำตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร มาระเหยน้ำออกให้แห้งบน hot plate นำตะกอนของแข็งที่เหลือไปวิเคราะห์ต่อไป

9.3 การ digest ตัวอย่าง

9.3.1 digestion mixture ซึ่ง sodium sulfate (Na_2SO_4) 250 กรัม selenium (Se) 2.5 กรัม และ sulfuric acid (conc.H_2SO_4) 2.5 ลิตร ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 5 ลิตร นำไปต้มบน hot plate จนสีขาวใส ปล่อยให้เย็น

9.3.2 ชั่งตัวอย่างมูลสุกรหรือกากตะกอน ประมาณ 0.2 กรัม ลงใน test tube ขนาด 75 มิลลิลิตร ที่ calibrate ไว้ 50 มิลลิลิตร เติม digestion mixture ลงไป 5 มิลลิลิตร นำไป digest ใน block digestor ใน fume hood digest จนกระทั่งมีสีขาวใส ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันให้ทั่ว แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เทใส่ขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

9.3.3 นำตะกอนของแข็งที่เหลือจากการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างน้ำ เติม digestion mixture ลงไป 5 มิลลิลิตร นำไป digest บน hot plate ใน fume hood จนกระทั่งได้ผลึกสีขาว ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่นจนได้ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ผลึกละลาย แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เทใส่ขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

9.4 การเตรียม working standard solution

ใช้สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

เมื่อ N_1 = ppm.ของ stock standard solution

V_1 = ปริมาตรที่ต้องการจะตวงจาก stock standard solution

N_2 = ppm.ของ working standard solution ที่ต้องการใช้

V_2 = ปริมาตรที่ต้องการเตรียม working standard solution (100 มิลลิลิตร)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9.5 วิธีการวิเคราะห์

9.5.1 ใช้เครื่อง atomic emission spectrophotometer วัด working standard solution ที่เตรียมไว้ในความเข้มข้น 0 , 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 ppm.

9.5.2 วัดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ ถ้ามีความเข้มข้นสูงกว่า working standard solution ต้อง dilute สารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงของ working standard solution

9.6 วิธีการคำนวณ

9.6.1 ตัวอย่างมูลสุกร หรือกากตะกอน

$$\%K \text{ in sample} = \frac{\text{ppm. From AES x dilution factor x 50 x10}^{-4}}{\text{wt. of sample}}$$

9.6.2 ตัวอย่างน้ำ

ppm K in sample = ppm from AES x dilution factor

เมื่อ ppm of AES = ความเข้มข้นของ K ที่อ่านได้จากเครื่อง atomic emission spectrophotometer มีหน่วยเป็น ppm

dilution factor = อัตราการเจือจางของตัวอย่าง (sample)

10. การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ (Gas Composition)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ คือ การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

10.1 อุปกรณ์ เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ shimadzu model GC-9A ตั้งค่า Operation conditions ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10.1.1 คอลัมน์ molecular seive 5 A เป็น packig material ใช้ silica gel ขนาด 60-80 mesh เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 2.5 เมตร

10.1.2 เครื่องตรวจวัดแบบ thermal conductivity detector (TCD)

10.1.3 อุณหภูมิคอลัมน์ 80^{O}ซ

10.1.4 อุณหภูมิ injection port 95^{O}ซ

10.1.5 อุณหภูมิ detector (TCD) 95^{O}ซ

10.1.6 bridge current ที่ใช้ 35 mA

10.1.7 carrier gas ที่ใช้คือ อาร์กอน อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

10.2 วิธีการวิเคราะห์

10.2.1 เตรียมก๊าซมีเทนมาตรฐานความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐานความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเตรียมในอัตราส่วนของก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 40 : 60 50 : 50 60 : 40 และ70 : 30

10.2.2 ฉีดก๊าซมาตรฐานที่เตรียมไว้โดยใช้ syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดก๊าซจากหลอดที่เตรียมก๊าซมาตรฐาน มา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟฟี คำนวณเป็นร้อยละของก๊าซมาตรฐานจาก peak area

10.2.3 ดูดตัวอย่างแก๊สชีวภาพจากหลอดสุญญากาศที่ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซมา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟฟี คำนวณหาร้อยละของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเทียบร้อยละของ peak area ของก๊าซมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

11. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (% Removal)

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด(\%)} = \frac{(\text{สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ} - \text{สารอินทรีย์ที่ออกจากระบบ}) \times 100}{\text{สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ}}$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด BOD ของระบบ (%)

BOD ที่เข้าระบบ = 1,956.25 mg/l

BOD ที่ออกจากระบบ = 1,453.12 mg/l

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ของระบบ} = \frac{(1{,}956.25 - 1{,}453.12) \times 100}{1{,}956.25}$$

$$= 25.25\ \%$$

ในกรณีคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คำนวณในทำนองเดียวกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางวนิดา สืบสายพรหม (จูลเมตต์)
วัน เดือน ปี ที่เกิด	1 พฤษภาคม 2517
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาสัตวบาล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนพัฒนาอาจารย์วิทยาเขตสารสนเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์