



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาความสัมพันธ์ของระดับโลหะหนัก (zinc และ copper)
และปริมาณของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* ในน้ำเสียและดิน
ที่ได้จากฟาร์มสุกร

น. สพ. ดร. พิษณุ ตุลยกุล

กรกฎาคม พุทธศักราช 2552

สัญญาเลขที่ MRG50804117

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับโลหะหนัก (zinc และ copper) และปริมาณของเชื้อ *E. coli*
และ *Salmonella spp.* ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกร

น. สพ. ดร. พิษณุ ตุลยกุล

คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	1
ABSTRACT.....	3
ผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).....	5
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	6
วัตถุประสงค์.....	7
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ระเบียบวิธีวิจัย.....	10
1. การเก็บตัวอย่าง.....	10
2. การตรวจตัวอย่าง.....	12
3. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	12
ผลการทดลอง.....	13
การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละตำแหน่งที่ได้จากฟาร์มที่มีระบบ Biogas system	30
การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสีย ระดับเชื้อแบคทีเรียและ โลหะหนักแต่ละตำแหน่งเฉพาะในฟาร์มที่มีระบบ Biogas	31
วิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
สรุปผลการทดลอง.....	43
กิตติกรรมประกาศ	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	50
ภาพแสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง และ รูปแบบการเลี้ยงสุกรในฟาร์ม.....	57
ฟาร์มที่ไม่มีระบบ BIOGAS SYSTEM.....	59
ฟาร์มสุกรที่มีระบบ BIOGAS SYSTEM.....	62

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	แสดงจำนวนตัวอย่างที่แยกได้จากการตรวจเชื้อ Salmonella spp. ที่ตามกลุ่ม	16
ตารางที่ 2	แสดงจำนวนตัวอย่างที่ตรวจเชื้อ Salmonella spp. จำแนกตาม Serovars.....	17
ตารางที่ 3	การจำแนกเชื้อ Salmonella spp. ตาม Serovars เทียบกับจำแนกเชื้อตาม group	18
ตารางที่ 4	แสดงการจำแนกเชื้อ Salmonella spp. ในแต่ละ serovars โดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างจาก ฟาร์มสุกรทั้งหมด.....	19
ตารางที่ 5	แสดงค่าเฉลี่ยรวมของพารามิเตอร์ต่างๆจากทุกตำแหน่งของน้ำเสียจากฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas ...	20
ตารางที่ 6	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ ณ ตำแหน่งของน้ำเสียและดินตกแห้ง ยกเว้นน้ำเสียเข้าสู่ อนุบาลของฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas.....	21
ตารางที่ 7	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มี ระบบ Biogas System.....	22
ตารางที่ 8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ในดินขี้หมู (Dry sludge) ระหว่างฟาร์มที่มี/ไม่มีระบบ Biogas System และไม่พบว่าแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($p < 0.05$)	23
ตารางที่ 9	เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียสุดท้ายกับค่ามาตรฐานในฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system .	24
ตารางที่ 10	เปรียบเทียบ sludge ตกแห้งกับค่ามาตรฐานในฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system.....	25
ตารางที่ 11	แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดเปรียบเทียบแต่ละตำแหน่งของตัวอย่างน้ำเสียและขี้หมูที่ตกแห้ง เพื่อทำปุ๋ยต่อไป	26
ตารางที่ 12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่วัดได้ในน้ำเสียตำแหน่งต่างๆโดยใช้ Spearman correlation coefficient (Nonparametric)	27
ตารางที่ 13	ตารางแสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักที่พบในดิน (Adapted from US EPA, 1993)	51
ตารางที่ 14	ตารางแสดงระดับของโลหะหนักในดินและในน้ำเสียที่ยอมรับได้ในทางเกษตรกรรม	51
ตารางที่ 15	ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและการเกษตร	52
ตารางที่ 16	ตารางแสดงค่ามาตรฐานการระบายน้ำจากฟาร์มสุกร.....	54

สารบัญรูป

รูปที่ 1	แสดงภาพเปรียบเทียบตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและมูลสุกรตกแห้งจากฟาร์มสุกร A: ฟาร์มที่มีระบบ Biogas system และ B: ไม่มีระบบ Biogas system.....	11
รูปที่ 2	เปรียบเทียบระดับของ Coliform ต่อค่า pH ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่า pH จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ Coliform เกินระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$).....	28
รูปที่ 3	เปรียบเทียบระดับของ Coliform ต่อค่า mV ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่า mV จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ Coliform ต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$).....	28
รูปที่ 4	เปรียบเทียบระดับของ Coliform ต่อปริมาณ Zn ซึ่งพบว่าระดับของ Coliform ที่สูงกว่าระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml จะพบปริมาณ Zn ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับระดับที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.04$).....	29
รูปที่ 5	เปรียบเทียบระดับของ Coliform ต่อปริมาณ Cu ซึ่งพบว่าระดับของ Coliform ที่สูงกว่าระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml จะพบปริมาณ Cu ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับระดับต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.02$)	29
รูปที่ 6	เปรียบเทียบระดับอุณหภูมิที่วัดในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิในน้ำเสียหน้าเล้าอนุบาลต่ำกว่าน้ำเสียภายหลังออกจากระบบ Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test.....	32
รูปที่ 7	เปรียบเทียบระดับ pH ที่วัดในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ pH น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่มอื่น, ดินจากตะกอนต่างจาก เล้าอนุบาลและหลังBiogas และ ก่อนแตกต่างจากหลัง Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test.....	32
รูปที่ 8	เปรียบเทียบระดับ E. coli ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ E. coli น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่ม ดินตะกอนตากแห้งและน้ำเสียหลังBiogas ยกเว้นน้ำเสียก่อน Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test.....	33
รูปที่ 9	เปรียบเทียบระดับ coliform ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ coliform น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่ม ดินตะกอนตากแห้งและน้ำเสียหลังBiogas ยกเว้นน้ำเสียก่อน Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test.....	34
รูปที่ 10	เปรียบเทียบระดับ BOD ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ BOD น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่มน้ำเสียก่อนและหลังBiogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test.....	34
รูปที่ 11	แสดงเปรียบเทียบระดับของ อุณหภูมิ ค่า pH และ ระดับ BOD ของตะกอนตากแห้ง (Dry Sludge) ระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System	35
รูปที่ 12	แสดงการเปรียบเทียบระดับ COD, Zn และ Cu ของตะกอนตากแห้ง (dry sludge) ของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System	36
รูปที่ 13	แสดงการเปรียบเทียบระดับของ อุณหภูมิ ค่า pH และ ระดับ BOD ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System	37

รูปที่ 14	แสดงการเปรียบเทียบระดับ COD, Zn และ Cu ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System	38
รูปที่ 15	คอกสุกรอนุบาล	58
รูปที่ 16	ลักษณะสุกรขุนที่เลี้ยงในฟาร์มที่ทำการศึกษาแห่งหนึ่ง.....	58
รูปที่ 17	การเลี้ยงสุกรขุนและลักษณะของคอกและการให้น้ำเพื่อระบายความร้อน.....	58
รูปที่ 18	ตำแหน่งเก็บน้ำเสียน้ำคอกอนุบาล	59
รูปที่ 19	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรวมใหญ่ ในฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system.....	59
รูปที่ 20	บ่อน้ำดิบที่ฟาร์มสุกรใช้ ก่อนบำบัดด้วยคลอรีนและจ่ายไปตามท่อในฟาร์ม	60
รูปที่ 21	ตำแหน่งบ่อน้ำเสียสุดท้ายของอีกฟาร์มหนึ่งที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system	60
รูปที่ 22	ลานตากมูลสุกรตากแห้งลักษณะคล้ายดินที่จะขายให้เกษตรกรภายนอก และเป็นตำแหน่งที่เก็บมูลสุกรไปวิเคราะห์.....	61
รูปที่ 23	สำหรับฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system ภายในฟาร์ม.....	62
รูปที่ 24	แสดงการปั้มน้ำเสียจากบ่อชักตะกอนกลับเข้าสู่ระบบบำบัด.....	62
รูปที่ 25	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าถังแก๊สสำหรับฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system.....	63
รูปที่ 26	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย หลังออกจากถังแก๊ส	63
รูปที่ 27	ภาพแสดงการผัน Sludge ตำแหน่งสุดท้ายหลังออกจากถังแก๊ส เพื่อทำการตากในลานตากมูลสุกร	64
รูปที่ 28	ลักษณะการตากตะกอนน้ำเสียปนมูลสุกร (Sludge) ในลานกลางแจ้ง.....	64
รูปที่ 29	ขวดตัวอย่างที่เก็บจากฟาร์ม แช่เย็นที่ 4 °C และส่งไปตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ	65
รูปที่ 30	แสดงวิธีการเก็บตัวอย่าง Pooled samples ภายในฟาร์มสุกร	65
รูปที่ 31	แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าถังแก๊ส	65
รูปที่ 32	แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย หลังผ่านถังแก๊ส และพร้อมปล่อยน้ำล้นออกภายนอกฟาร์ม.....	66

(บทคัดย่อ)

รหัสโครงการ : MRG50804117

ชื่อโครงการ : โครงการการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับโลหะหนัก (zinc และ copper) และปริมาณของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกร

ชื่อนักวิจัย : น. ศพ. ดร. พิษณุ ตูลยกุล คณะสัตวแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์(หัวหน้าโครงการ)
รศ. ดร. สุธา ขาวเขียว คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

E-mail Address: fvetpnt@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี

การศึกษานี้เป็นการหาเปรียบเทียบปริมาณของเชื้อที่สำคัญต่อความปลอดภัยอาหารและระดับของโลหะหนักในน้ำเสียและดินมูลสุกรตากแห้ง นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโลหะหนักต่อปริมาณของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* โดยศึกษาในฟาร์ม 2 ประเภทคือ ฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system และฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ตำแหน่ง, หน้าคอกลูกสุกรอนุบาล ก่อนเข้าระบบแก๊ส หลังระบบแก๊ส และมูลสุกรตากแห้ง สำหรับในฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system จึงไม่มีตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าถังแก๊ส จากการศึกษาพบว่า ฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system สามารถบำบัดน้ำเสียทำให้ปริมาณของเชื้อ *E. coli coliform* และ BOD มีค่าต่ำกว่าฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบอย่างชัดเจน แต่ทำให้ระดับ ชิงก์ คอปเปอร์ แคดเมียม ลีด มีความเข้มข้นมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียบ่อสุดท้ายจากฟาร์มทั้งสองกับค่ามาตรฐานพบว่าระดับของ *E. coli*, *coliform*, BOD, COD, ชิงก์, คอปเปอร์ และ ลีด เกินระดับมาตรฐานน้ำทิ้งและพบว่าระดับของ *E. coli*, *coliform*, แคดเมียม และ ลีด เกินระดับมาตรฐานที่กำหนดในดินที่ใช้ทางการเกษตร สำหรับ ชิงก์ และ คอปเปอร์ แม้ไม่เกินระดับมาตรฐานที่กำหนดโดย EU แต่ก็ถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงและต้องเฝ้าระวังต่อไป นอกจากนี้ยังพบ *Salmonella spp.* ที่พบมากที่สุดคือกลุ่ม C E และ B โดยคิดเป็น 30.77% (20/65ตัวอย่าง) 27.69% (18/65) และ 23.08% (15/65) ตามลำดับ และเมื่อจำแนกเป็น serovars พบว่า เป็นเชื้อ *Salmonella* serovars *Rissen* มากที่สุดคิดเป็น 18.46% (12/65ตัวอย่าง) รองลงคือ *Anatum* คิดเป็น 12.31% (8/65) และ *Kedougou* คิดเป็น 9.23% (6/65) สำหรับเชื้อที่ก่อโรคได้เช่น serovars

Paratyphi B, *Var java* และ *Typhimurium* พบเพียง 4.62% (3.65) จากตัวอย่างที่จำแนกได้จากตัวอย่างน้ำเสียหรือในมูลสุกรตกแห้งจากฟาร์มสุกร นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเชื้อ *E. coli* กับปริมาณของ ชิงก์และคอปเปอร์แต่อย่างใดและไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของเชื้อ *Salmonella* ต่อปริมาณของ ชิงก์และคอปเปอร์อีกด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อ *E. coli* / *coliform* และระดับตะกั่ว/แคดเมียม มีค่าสูงโดยมีค่า correlation coefficient ที่ 0.8744 และ 0.7338 ตามลำดับ ซึ่งคำนวณค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างของฟาร์มทั้ง 2 ประเภท

โดยสรุปน้ำเสียจากฟาร์มสุกรควรบำบัดให้ปริมาณเชื้อ *E. coli* และ *coliform* อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยฟาร์มที่มีระบบ Biogas system สามารถลดระดับของเชื้อเหล่านี้ได้เมื่อเปรียบเทียบกับฟาร์มที่ไม่ใช่ นอกจากนี้ปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและโลหะหนักที่สำคัญก็เพิ่มปริมาณขึ้นใกล้เคียงกับระดับที่กำหนดไว้ ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์น้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะและตรวจวิเคราะห์มูลสุกรก่อนขายเป็นปุ๋ยให้เกษตรกรเป็นประจำทุกทุก 6 เดือนจึงมีความสำคัญและอยากแนะนำ ซึ่งการตรวจวิเคราะห์ติดตามปัญหาเหล่านี้อย่างน้อยเป็นจุดหนึ่งที่ช่วยยกระดับความปลอดภัยทางด้านอาหารตั้งแต่ฟาร์มเลี้ยงถึงโต๊ะอาหารด้วยการยกระดับคุณภาพของสุขภาพสุกรมีชีวิตภายในฟาร์ม ก็หมายถึงผู้บริโภคสามารถบริโภคเนื้อสุกรที่ถูกสุขอนามัยอีกด้วย สุดท้ายนี้การลดการปล่อยมลพิษสู่สภาพแวดล้อมที่ถือว่ามีคามสำคัญยิ่งในโลกเราปัจจุบันซึ่งทางเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในปัจจุบันสามารถช่วยกันป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆในอนาคตต่อไป

คำหลัก : สุกร โลหะหนัก อี.โคไล ซัลโมเนลลา สิ่งแวดล้อม

Abstract

This study is to compare the level of two types of important bacteria in food safety and the level of heavy metal contamination in wastewater and dry manure. Moreover, the correlations between the levels of heavy metal to the level of *E. coli* and *Salmonella spp.* were studied by collecting samples from Swine farms which implemented Biogas system in comparison with non-Biogas system farms. Pooled samples of each location were collected as followed: wastewater at nursery housing, wastewater before entering Biogas system, wastewater after passing Biogas system and dry manure. The results showed that the levels of *E. coli*, *coliform* and BOD in Biogas farming were lower than in non-Biogas system farms. The level of zinc, copper, cadmium and lead in Biogas system farms were condensed and more concentrated than in non-Biogas system farms. Moreover, when determining all parameters from wastewater from the latter ponds before being drained to public groundwater from both farms, it was found that the levels of *E. coli*, *coliform*, BOD, COD, zinc, copper and lead were over the standard limitation in wastewater. Besides, the levels of *E. coli*, *coliform*, cadmium and lead were over the standard limitation in soil. Even though the levels of zinc and copper were under the EU standardization permission in the soil, their levels were almost as high as the permitted limitation. This should be taken into consideration and being monitored from now on. Once the *salmonella spp.* was isolated, it was found that the most abundant groups from high to low were groups C, E and B at 30.77% (20/65 samples), 27.69% (18/65) and 23.08% (15/65), respectively. With the same samples at isolated into serovars, it was found that *Rissen* is the most abundant at 18.46% (12/65), followed by *Anatum* 12.31% (8/65) and *Kedougou* 9.23% (6/65). The pathogenic strain from *Salmonella* serovars *Paratyphi B*, *Var java* and *Typhimurium* were found only 4.62% (3/65) of samples taken from all swine farms. Contrasting the

prior studies, neither correlation between the levels of *E. coli* and zinc and copper, nor correlation between the levels of *Salmonella* and these heavy metals was found. However, correlations between the levels of *E. coli* and *coliform* and between the levels of lead and cadmium were found with the coefficients of 0.8744 and 0.7338, respectively.

In conclusion, the results of the study indicate that the Biogas system might help reduce the levels of *E. coli* and *coliform* in wastewater in comparison with non-Biogas farms. As the levels of these bacteria and heavy metals were reaching the limitation levels, half-yearly examination of wastewater before drained out and in dry manure before selling out of swine farms is highly recommended. The examination and monitoring can promote the food safety of from farm to table via elevating the quality of live pigs raised in the farm, in turns, making more hygienic pork to the consumers. Last but not the least, by minimizing the excretion of pollutants initiated from their farms, the intensive swine farming can help prevent the environmental problems in the near future.

Keywords: Swine, Heavy metal, *E. coli*, *Salmonella*, Environment

ผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ขณะนี้ผู้รับทุนกำลังดำเนินการจัดเตรียมเอกสารเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ ตามที่ได้
คาดไว้ในสัญญาโครงการ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งเพื่อรอการตอบรับจากวารสารดังกล่าว นอกจากนี้การ
ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ต้องดำเนินการควบคู่กันไปโดยทางผู้รับทุนจะนำเนื้อหา
ส่วนอื่นที่สามารถจัดเตรียมได้เพื่อการณดังกล่าวด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อผลงานได้รับการตีพิมพ์แล้วจะดำเนินการ
จัดส่ง เอกสารยืนยันการตีพิมพ์ให้กับทางแหล่งทุนต่อไปโดยเร็วที่สุด

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันในขบวนการผลิตสุกรเพื่อบริโภคในประเทศไทย กลุ่มเกษตรกรได้พัฒนาการเลี้ยงในรูปแบบที่ทันสมัยทั้งในด้านวัสดุอุปกรณ์ และการเลี้ยงเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอาหารที่ผสมให้สุกรกินตั้งแต่ระยะอนุบาล และขุนจนได้น้ำหนักที่ค่อนที่จะส่งโรงฆ่า เพื่อให้เกษตรกรลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจในขบวนการผลิตสุกรนั้น ได้มีการใช้สารเคมีประเภท Zinc Oxide (ZnO) และ Copper sulfate (CuSO₄) ผสมในอาหาร (feed additive) และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในสุกรอนุบาลในทุกฟาร์มในประเทศไทยในปัจจุบัน

ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าสารเคมีดังกล่าวช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของสุกร เพิ่มระดับภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia Coli* (*E. coli*) ในลำไส้ของลูกสุกรอนุบาล แต่ในส่วนของเชื้อ *Salmonella* นั้นยังไม่ได้ยืนยัน ซึ่งผลของการใช้สารดังกล่าวทั้ง Zinc Oxide และ Copper Sulfate นั้นมีองค์ประกอบหลักเป็นโลหะหนัก และการดูดซึมในทางเดินอาหารนั้นก็อยู่ระดับที่จำกัด ทำให้โลหะหนักส่วนใหญ่ขับออกมาทางอุจจาระของลูกสุกรลงสู่พื้นที่ในฟาร์ม ซึ่งในข้อกำหนดโดยทั่วไปนั้น ปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมนั้นถือว่าจะต้องอยู่ในระดับมาตรฐานต่ำกว่าระดับที่กำหนด มิฉะนั้นจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ผัก สาหร่ายและเชื้อแบคทีเรีย ในสิ่งแวดล้อม และยังสะสมในพืชและผักที่คนบริโภคอีกด้วย ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่บริโภคพืชและผักที่มีการสะสมของโลหะดังกล่าวเป็นระยะเวลานาน

อย่างไรก็ตามระดับการตกค้างของ Zn และ Cu ในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟาร์มสุกรที่มีการใช้ feed additives ดังกล่าวยังขาดการศึกษาอย่างจริงจัง และยังไม่มีข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้อ้างอิงในระดับฟาร์ม แม้ข้อมูลจากกรมปศุสัตว์เองก็ยังไม่ครอบคลุมไม่ถึง ประกอบกับยังไม่มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักทั้งสองชนิด ต่อปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* ในสิ่งแวดล้อมโดยตรงในระดับฟาร์ม โดยเฉพาะจากน้ำเสียและดินจากฟาร์มสุกรที่นำไปใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกผักผลไม้ต่างๆในประเทศ ซึ่งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดนั้นก็มีความสำคัญมากต่อสุขภาพของสุกรเอง และต่อความปลอดภัยของอาหาร (Food safety) ที่มนุษย์บริโภคอีกด้วย

ดังนั้นถ้าเราทราบถึงความสัมพันธ์เชื้อแบคทีเรียจากสิ่งแวดล้อมและ pathways ที่เข้าสู่ร่างกายสัตว์ ไม่ว่า

จากการปนเปื้อนโรงเรือนหรือในน้ำบาดาลที่สูบน้ำมาจากแหล่งน้ำใกล้เคียง หรือ ผลของโลหะหนักทั้งสองกับปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ตรวจพบทั้งก่อนและหลังขบวนการ Biogas ด้วย ก็จะช่วยให้สัตวแพทย์และผู้เลี้ยงสุกรเข้าใจถึงธรรมชาติและสาเหตุของปัญหาทำให้การวินิจฉัยโรคและป้องกันโรคทั้งในคนและสัตว์ทำได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งยังช่วยลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจที่เกิดจากปัญหาการจัดการฟาร์มที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่มั่นคงในการที่จะเลือกใช้ feed additive ที่เหมาะสมในธุรกิจฟาร์มสุกรในประเทศไทยเอง ทำให้ประเทศไทยสามารถที่จะผลิตอาหารที่ปลอดภัยสมกับการที่ได้ชื่อว่าเป็นครัวของโลก และยังทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่าสิ่งแวดล้อมจะไม่ได้รับผลกระทบและจะได้รับการแก้ไขถ้าเกิดปัญหาจากการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ทัน่วงทีอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงระดับการตกค้างของโลหะหนักประเภท Zinc และ Copper ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกรที่ใช้ ZnO และ CuSO₄ ผสมในอาหารเป็นเวลา 1 ปี
2. สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักที่ตกค้างต่อปริมาณเชื้อ *E. Coli* และ *Salmonella* ซึ่งถือเป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีผลต่อความปลอดภัยของอาหาร ในน้ำทิ้งและดินที่ได้จากฟาร์มสุกรในประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการปศุสัตว์ด้านการผลิตสุกรนั้นมีการใช้สารกระตุ้นการเติบโต (growth promoters) กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะ ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) และ คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) (Salyer et al., 2004) เมื่อเติมลงในอาหารสัตว์ สารทั้งสองชนิดทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเติบโตของสัตว์ดีขึ้น (Hogberg et al., 2005; Li et al., 2006) อย่างไรก็ตามก็มีการรายงานของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมที่เพิ่มขึ้นจากอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์อย่างหนาแน่น (Intensive livestock) นอกจากนี้ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาพบว่ามีปัญหาการปล่อยน้ำเสียและมูลสุกรจากฟาร์มปศุสัตว์ที่สูงขึ้นทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น จนนำไปสู่การที่ต้องมีการออกมาตรการและข้อบังคับเพื่อควบคุมปัญหาดังกล่าวโดยเฉพาะสหภาพยุโรป (EU) ที่เข้ามามีบทบาทในการลดปัญหามลพิษดังกล่าว (Gassmann & Bouzaher, 1995).

ซิงก์ออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ลูกสุกรอนุบาลมีสุขภาพที่ดีและยังลดความเครียดและปัญหา

การท้องเสียและลำไส้อักเสบ colitis (Mavromichalis et al., 2000) อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาถึงอัตราการขับออกของแร่ธาตุนี้สู่สภาพแวดล้อมพบว่าถูกขับออกในรูปของ organic minerals และมีเพียง 10% เท่านั้นที่ดูดซึมกลับได้ทางปัสสาวะ แต่ส่วนใหญ่จะขับออกทางอุจจาระ (Hambidge et al., 1986)

โดยทาง Gilley และคณะ (2000) ได้รายงานไว้ว่าการเสริมแร่ธาตุประเภท คอปเปอร์ (Cu) ทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบซิลไฟด์ในน้ำสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ทำให้เพิ่มความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (phototrophic bacteria) ทางตรงกันข้ามระดับซิลไฟด์นั้นสามารถลดลงได้จากการเติมซิงก์เสริมในอาหารนั่นเอง และเป็นที่ทราบดีว่า น้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีระดับของ คอปเปอร์และซิงก์ที่สูง และน่าจะทำให้เกิดการสะสมตกค้างบนหน้าดินและตามส่วนต่างๆของพืชพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องระมัดระวังในฟาร์มแกะเนื่องจากเป็นสัตว์ที่ไวต่อความเป็นพิษของคอปเปอร์นั่นเอง (Conway & Pretty, 1991).

ในการเลี้ยงปศุสัตว์อย่างหนาแน่นทำให้มีขยะมูลสัตว์จำนวนมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่จำกัดที่สามารถรองรับของเสียดังกล่าวได้ และก็อาจพบปัญหาตามมาด้านสภาพแวดล้อมจากการสะสมของของเสียดังกล่าวในดิน (Wadman et al., 1987) และก็ถือว่าการทิ้งของเสียมูลสัตว์ในดินเป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญจากการปศุสัตว์อย่างเด่นชัดอีกด้วย (Abdel-Shafy, 1996) ทำให้เกิดการสะสมของสารอาหารต่างๆเช่น ฟอสเฟต ซิงก์ และ คอปเปอร์ ซึ่งอาจถูกชะลงแหล่งน้ำทำให้มีธาตุอาหารดังกล่าวมากเกินไป และสุดท้ายทำให้เกิดปัญหา eutrophication (สาหร่ายโตมากเกินไปและดึงออกซิเจนออกจากน้ำ) ในแหล่งน้ำต่างๆด้วย (Cast, 1996; Jongbloed & Lenis, 1997)

การเกิด eutrophication อาจทำให้มีการเติบโตของสาหร่ายที่มากเกินไปและความหลากหลายทางชีวภาพลดลงตามมา นอกจากนี้การที่ดินมีการตกค้างของธาตุโลหะหนักที่มากเกินไปจนเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ จากการใช้ปุ๋ยและการสะสมในห่วงโซ่อาหารในระยะยาว การป้องกันการปนเปื้อนของโลหะหนักนั้นต้องตระหนักอย่างยิ่งเนื่องจากขบวนการกำจัดโลหะหนักในดินมีค่าใช้จ่ายสูงมากและยุ่งยาก แม้จะเคยมีการใช้พืชชนิดต่างๆมาช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุดังกล่าวออกจากดินและน้ำก็ตามโดยใช้เทคนิคเหล่านี้คือ phytoextraction rhizofiltration และ phytostabilization. เป็นต้น

การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินก่อให้เกิดความเป็นพิษในมนุษย์และสัตว์ โดยทั่วไปแล้วถือว่าเป็น

ลักษณะเรื้อรัง (Chronic) ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร กรณีความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute) จากการกินหรือดูดซึมพิษของ โลหะหนักนั้นถือว่าน้อยแต่ก็อาจเกิดขึ้นได้ การจัดการดินและพืชสามารถช่วยลดการดูดซึมมลพิษที่มากเกินไปในพืช ได้ โดยดินถือว่ามีส่วนยับยั้งหรือสะสมมลพิษได้ในวงจร (ดิน- พืช-มนุษย์ หรือ สัตว์) ได้ (Brady & Weil, 1999) สำหรับพืชสามารถเก็บสะสมโลหะหนักปริมาณมากไปยังส่วนของใบมากกว่าส่วนของผลและเมล็ด แต่พบว่าความ เสี่ยงสูงสุดของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหารกลับพบจากการบริโภคพืชตระกูลผักใบเขียวเช่น กะหล่ำปลี หรือผักขม

อย่างไรก็ดี สำหรับอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรอย่างหนาแน่นในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น อันเนื่อง มาจากความต้องการของผู้บริโภคที่สูงขึ้น ทำให้การเลี้ยงสุกรปริมาณมากนั้นต้องมีการดูแลอย่างเข้มข้นเพื่อ ควบคุมการเกิดโรคและความปลอดภัยด้านอาหารจากผลิตภัณฑ์จากสุกรจึงสูงขึ้นตาม และสาเหตุดังกล่าวเป็นส่วน หนึ่งที่ทำให้ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นจากการที่มีขยะปศุสัตว์ที่มากเกินไปและเกิดในอัตราเดียวกับปัญหาการ ลดลงของวัตถุดิบทางธรรมชาติด้วย

ยิ่งกว่านั้น ในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ในประเทศไทยส่วนใหญ่และมีการติดตั้งเทคโนโลยี Biogas ในฟาร์ม โดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์และกำไรที่สูงสุด และทำให้ลดต้นทุนด้าน พลังงานเชื้อเพลิงและได้ปัญคุณภาพสูง เนื่องจากตั้งแต่ที่เคยมีการใช้ของเสียจากฟาร์มไปลดบนหน้าดินทาง การเกษตร หรือ การเผาทำลาย หรือง่ายสุดโดยการกองสะสมไว้เป็นกองๆ ไม่ได้เป็นที่ยอมรับเรื่องการจัดการต่อ สภาพแวดล้อม (Abdel-Shafy, 1996) ซึ่งการที่แบคทีเรียชนิด anaerobic (ไม่ใช้ออกซิเจน) หลายชนิดใช้สารประกอบ อินทรีย์ที่ซับซ้อนจนเกิดการผลิตแก๊สมีเทนขึ้น โดยพบว่า anaerobic bacteria นั้นสามารถทนทานต่อโลหะหนักได้ และยังดักตะกอนไอออนของโลหะหนักออกมาในรูปของสารประกอบ ซัลไฟด์และคาร์บอเนตด้วย นอกจากนี้ดิน และสารจากระบบ Digester รวมทั้ง เกล็น (sludge) และน้ำเสียยังมีสารอาหารที่สำคัญต่อพืชอีกหลายชนิด เช่น แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแร่ธาตุอื่นๆ) และเหมาะกับการปรับสภาพดินอีกด้วย อย่างไรก็ตาม สารพิษอื่นๆเช่น ยาฆ่าแมลง ที่มาจากพืชอาหารสัตว์ก็ถูกทำให้เข้มข้นขึ้นในระบบ Biogas นี้เช่นกันนอกจากนี้ยัง พบว่าไอออนของโลหะหนักสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกายด้วย (Nies, 1999; Codina et al., 2000)

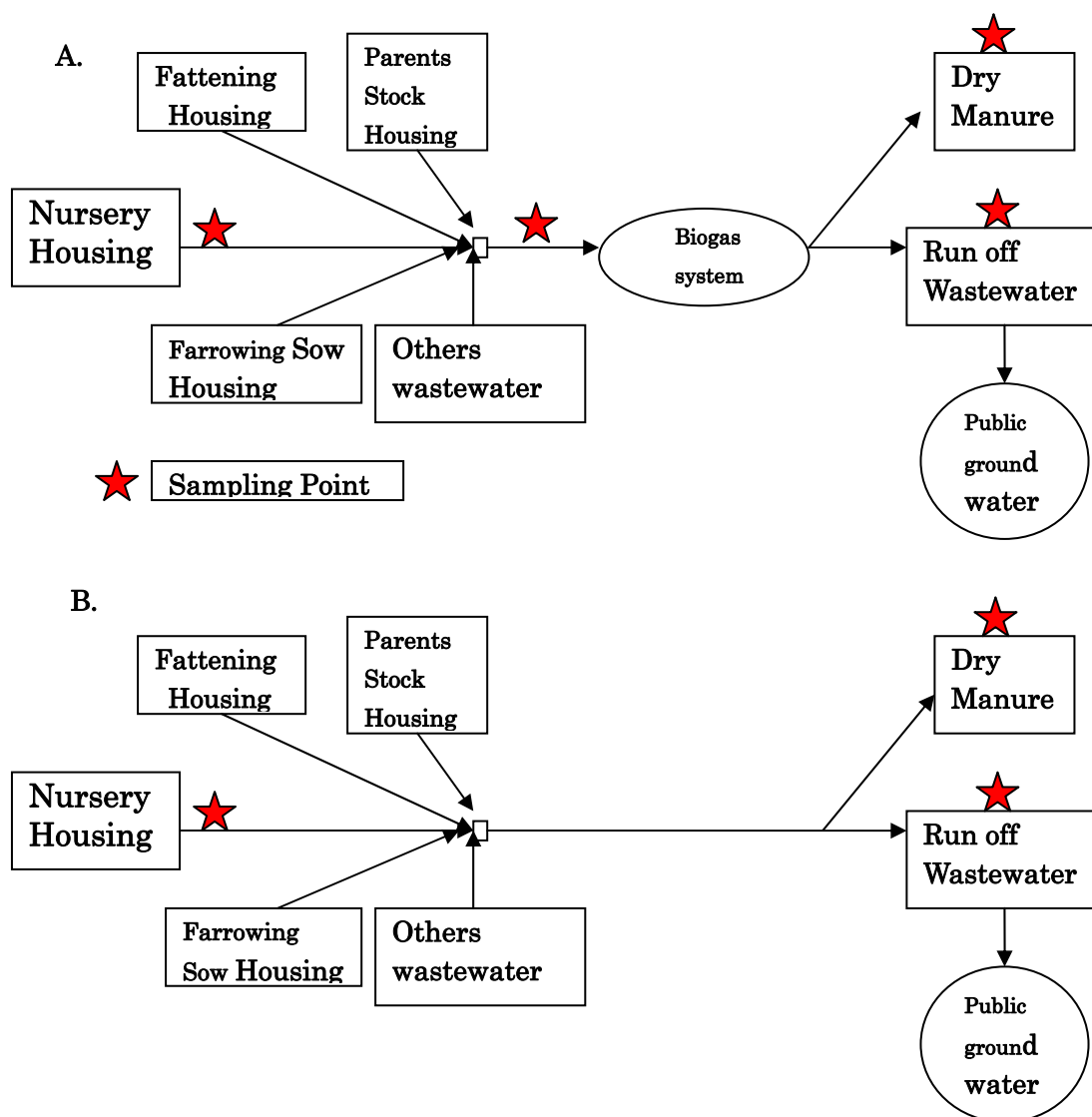
นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Meargeay และคณะในปี 1985 โดยการทดสอบค่า minimal inhibitory concentrations (MICs) ของไอออนของโลหะหลายชนิดในเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. Coli*) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าโลหะที่มีพิษมากที่สุดคือปรอท มีค่า MICs เท่ากับ 0.01mM รองลงมาคือ โครเมียม แคดเมียม คอปเปอร์ และ ชิงค์ ที่ 0.2, 0.5, 1 and 1 mM ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีสาร stressor หลายชนิดเช่น ยาปฏิชีวนะ โลหะหนัก ก็ถือว่าการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดประเภทหนึ่งของแบคทีเรียที่ต้านทานต่อสารทั้งสองชนิดนี้ แต่ถ้าวินิจฉัยว่าเป็นการต้านทานผ่านทาง plasmid mediated แบคทีเรียเหล่านั้นที่มีการถ่ายทอดยีนส์ต้านทานเป็นกลุ่ม ก็จะสามารถถ่ายทอดยีนส์สู่แบคทีเรียอื่นๆได้และทำให้แบคทีเรียชนิดอื่นๆก็อยู่รอดในสภาพแวดล้อมดังกล่าวด้วย และยังพบอีกว่าแบคทีเรียที่ทนต่อโลหะหนักนั้นยังต้านทานต่อยาปฏิชีวนะด้วย (Calomiris et al. 1984) ยิ่งไปกว่านั้น เชื้อ *Escherichia coli* และ *Salmonella spp.* มีกลไกความต้านทานที่หลากหลายแต่ไม่ทนต่อซิงค์ที่มากเกินไป (Lee et al., 2005) โดยผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น ขาเมาเชื้อ สารที่ฆ่าเชื้อแล้ว รวมทั้ง โลหะหนักที่ใช้ในอุตสาหกรรมและในบ้านเรือน ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้สามารถปรับตัวและสามารถที่จะอยู่รอดและเพิ่มจำนวนได้ (Baquero et al., 1998) ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทดสอบและหาปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมและหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนัก ชนิด ชิงค์และ คอปเปอร์ ต่อแบคทีเรียที่สำคัญต่อความปลอดภัยอาหารได้แก่เชื้อ *E. coli* and *Salmonella spp.* ในสิ่งแวดล้อม โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง ก่อนและหลังการเข้าระบบ Biogas ด้วยในฟาร์มสุกรในประเทศไทย

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 ทำการคัดเลือกฟาร์มที่มีการใช้ ZnO (ซิงค์ออกไซด์) และ CuSO₄ (คอปเปอร์ซัลเฟต) ที่ใช้ผสมในสูตรอาหารในลูกสุกรอนุบาล โดยคัดเลือกฟาร์มสุกรที่มีจำนวนแม่สุกรขนาด 1,000-1,500 แม่ จำนวน 6 ฟาร์ม ที่ติดตั้งระบบ Biogas 3 ฟาร์มและไม่ติดตั้งระบบ Biogas อีก 3 ฟาร์ม ที่ขนาดแม่สุกรเท่าๆกัน ในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์ม โดยทำการเก็บตัวอย่างในฟาร์มดังกล่าวในบ่อน้ำทิ้งและตะกอนดินก่อนเข้าสู่ระบบ Biogas 1 จุด น้ำทิ้งและตะกอนดินหลังระบบ Biogas 1 จุด และดินขี้หมูที่ตากแห้งเพื่อนำไปปลูกพืชอีก 1 จุด

1.2 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและดินตะกอนแต่ละฟาร์ม 3 เดือน/ครั้งตลอดทั้งปี โดยในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดนั้น ตัวอย่างจะถูกเก็บแบบสุ่มกระจายทั่วบริเวณอย่างน้อย 5 จุด แล้วนำมารวมกัน ก่อนที่จะทำการแยกใส่ขวดทดลองขนาด 500 cc โดยถือว่าเป็นตัวอย่างในการเก็บแต่ละครั้งในแต่ละจุด



รูปที่ 1 แสดงภาพเปรียบเทียบตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและมูลสุกรตกค้างจากฟาร์มสุกร A: ฟาร์มที่มีระบบ Biogas system และ B: ไม่มีระบบ Biogas system

2. การตรวจตัวอย่าง

2.1 ตรวจปริมาณโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนโดยวิธี Flame Atomic Absorption Spectrometry technique (FLAAS) โดยทำการบดผสมตัวอย่างที่ตากแห้งไม่ว่าจากตะกอนน้ำเสีย และในดินมูลสุกร ตากแห้งให้เป็นเนื้อเดียวโดยอบที่ตู้อบอุณหภูมิ 80 °C จนชั่งน้ำหนักได้คงที่ หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 1 กรัมมาย่อยด้วยกรดตามวิธีมาตรฐานของ USEPA (USEPA, SW-846; method 3050B).

2.2 ตรวจวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสีย ค่า COD (Chemical Oxygen Demands), BOD (Biological Oxygen Demands), pH และคุณสมบัติอื่นๆ ในตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากฟาร์มสุกรตลอดระยะเวลา 1 ปี

2.3 ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* ในน้ำเสีย ตะกอนดินขี้หมูที่จะนำไปขายให้เกษตรกรนำไปใส่เป็นปุ๋ยที่เก็บได้จากฟาร์มสุกร

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักต่อปริมาณของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* โดยวิธี regression correlation analysis.

3.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของ Zn และ Cu ที่ตกค้างในน้ำทิ้งและตะกอนจากฟาร์มสุกรในแต่ละเดือนด้วยวิธี repeated measure ANOVA และ เปรียบเทียบพารามิเตอร์ดังกล่าวในแต่ละช่วงของการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดเปรียบเทียบระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system ด้วยวิธี Mann-Whitney U test และเปรียบเทียบกับ limitation standard ที่กำหนดโดย EPA ด้วยวิธี student t test.

3.3 Isolate ชนิดของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella spp.* และจัดกลุ่ม เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคในสัตว์

ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและมูลสุกรตกแห้งในทุกตำแหน่งตลอดปีพบว่าสามารถตรวจพบเชื้อ *Salmonella* ทั้งสิ้น 65 ตัวอย่างโดยการเพาะเชื้อตามวิธีข้างต้น และสามารถจำแนกเชื้อ *Salmonella* ได้ทั้งสิ้น 6 กลุ่ม ได้แก่ B, C, D, E, G, O:30 และ O:38 โดยพบเชื้อ *Salmonella* กลุ่ม C มากที่สุด รองลงมาคือ E และ B โดยพบทั้งสิ้น 30.77%, 27.69% และ 23.08% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้เมื่อทำการแยกเชื้อ *Salmonella* ให้เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้นโดยทำการแยกเชื้อเป็นแต่ละ Serovars จากตัวอย่างทั้งหมด พบว่าสามารถจำแนกเชื้อ *Salmonella* ได้ทั้งสิ้น 22 Serovars จำแนกได้ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าเชื้อ *Salmonella* spp. Serovars Rissen พบมากที่สุดเป็นจำนวนทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งสิ้น 65 ตัวอย่างคิดเป็น 18.46 % รองลงมาคือ *Salmonella* spp. Serovars Anatum, kedougou และ Stanley โดยคิดเป็น 12.31% (8/65 ตัวอย่าง), 9.23% (6/65 ตัวอย่าง) และ 7.69% (5/65 ตัวอย่าง) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบเชื้อ Serovars typhimurium, paratyphi B var, java Lexington และ Albany ด้วยความถี่เท่าๆกันโดยคิดเป็น 4.62% (3/65 ตัวอย่าง) อย่างไรก็ตาม ในตารางที่ 3 แสดงการจำแนกเชื้อในระดับ กลุ่มเพื่อที่จะทดสอบว่าเชื้อในแต่ละ Serovars นั้นสามารถจัดอยู่ในกลุ่มใดบ้าง นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อ *Salmonella* ทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม D, G, O:30 และ O:38 นี้สามารถแยกเชื้อได้เพียง Serovars เดียวในแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Panama, Kedougou, Soerenga และ Bangkok ตามลำดับ ยกเว้นเชื้อในกลุ่มอื่นๆที่สามารถแยกเชื้อได้หลาย Serovars โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อ *Salmonella* spp. ในกลุ่ม C และ E สามารถจำแนกเชื้อได้ 7 และ 6 ชนิด ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์เชื้อ *Salmonella* จากตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างพบว่า สามารถจำแนกเชื้อจำนวนใกล้เคียงกันจากตำแหน่งน้ำเสียก่อนเข้าระบบแก๊ส ภายหลังระบบแก๊ส และในมูลสุกรตกแห้ง โดยเฉพาะพบเชื้อ *Salmonella* จำนวนน้อยที่ตำแหน่งน้ำเสียน้ำคอกสุกรอนุบาล ดังแสดงในตารางที่ 4

นอกจากนี้จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ระดับอุณหภูมิ สภาวะกรด-ด่าง ค่าเหนียวไฟฟ้า (mV) BOD, COD ปริมาณของเชื้อ coliform, *E. coli* และปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และ ตะกั่ว ในตัวอย่างของน้ำเสียจากฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas โดยเป็นการเปรียบเทียบในองค์รวมโดยคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์จากทุกตำแหน่งมาเฉลี่ยและแสดงผลเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่า

เบียงเบน (จำนวน) ของตัวอย่างน้ำเสียและดินจากมูลสุกรตกแห้งตลอดทั้งปี ดังแสดงในตารางที่ 5 และมีการจำแนกตามตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างสำหรับทุกพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 11

สำหรับตารางที่ 6 นั้นเป็นการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system ในฟาร์ม โดยได้ทำการตัดตัวอย่างของน้ำเสียในตำแหน่งของคอกสุกรอนุบาลออก และพบว่าปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *coliform* และระดับ BOD ในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system อย่างไรก็ดีสำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์อื่นๆ นั้นไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system จะอยู่ที่ระดับ 32.4 ± 3.16 °C ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งที่ระดับ 30.71 ± 2.82 °C แม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ปริมาณของโลหะหนักที่ตรวจพบเมื่อนำตัวอย่างในทุกตำแหน่งมาทำการหาค่าเฉลี่ย ยกเว้นตัวอย่างน้ำเสียจากคอกอนุบาล พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียด้านแหล่งสุดท้ายของแต่ละฟาร์ม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นน้ำเสียบ่อใหญ่รวมสำหรับฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas system กับน้ำเสียในบ่อสุดท้ายภายหลังออกจากอุ้งแก๊สภายหลังทำการหมักย่อยด้วยจุลินทรีย์สำหรับฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system โดยอาจกล่าวได้ว่าเป็นน้ำเสียบ่อสุดท้ายที่มีโอกาสถูกปล่อยออกแหล่งน้ำสาธารณะภายนอกฟาร์มหรืออาจมีการดูดกลับไปใช้ในการล้างคอกหรือรดน้ำต้นไม้ภายในฟาร์ม โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้เปรียบเทียบกัน พบว่าปริมาณของเชื้อ *coliform* และระดับของค่า BOD ในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟาร์มทั่วไปที่มีติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้จะพบว่าปริมาณของเชื้อ *E. coli* และระดับ COD ในฟาร์มที่มีระบบ Biogas system จะไปในทิศทางเดียวกันคือมีระดับที่น้อยกว่าแต่เมื่อคำนวณทางสถิติแล้วก็ยังไม่สามารถสรุปได้ และยังพบว่าระดับของโลหะหนักชนิด สังกะสี แคดเมียม และ ตะกั่ว ในฟาร์มที่มีการใช้ระบบ Biogas system อยู่ในระดับที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas อย่างเห็นได้ชัดแม้ไม่พบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตามดังแสดงในตารางที่ 7 และเมื่อคำนวณเปรียบเทียบเฉพาะในมูลสุกรตกแห้งที่เก็บได้จากฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas กับ

มูลสุกรตากแห้งลักษณะเป็นดินที่ซักรจากลานตากตะกอนในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system พบว่าปริมาณของเชื้อกลุ่ม *E. coli* และ *Coliform* มีปริมาณที่น้อยกว่าในฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas แม้ไม่พบว่าทั้งสองค่านี้แตกต่างทางสถิติ ซึ่งก็ได้ผลคล้ายคลึงกับพารามิเตอร์อื่นๆ ในตัวอย่างมูลสุกรตากแห้งที่ไม่พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 8

นอกจากนี้เมื่อนำค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างในน้ำเสียสุดท้ายที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฟาร์มที่มีและไม่มี การติดตั้งระบบ Biogas system มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดพบว่า ปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *coliform* ระดับของ BOD, COD และระดับของ สังกะสี ทองแดง และตะกั่วที่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในฟาร์มทั้งสองประเภท ยกเว้นระดับของ แคลเซียม ที่ไม่พบว่ามียกระดับสูงกว่าค่ามาตรฐานแต่อย่างใดในฟาร์มสุกรทั้งสองแบบดังแสดงในตารางที่ 9 นอกจากนี้แม้จะพบว่า อุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำในฟาร์มที่ผ่านระบบ Biogas จะมีค่าที่สูงกว่า ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (mV) ที่ต่ำกว่า ฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas system แต่ไม่พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของค่าเหล่านี้รวมทั้งค่า(pH) ที่ไม่แตกต่างกันอีกด้วย และเมื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้ในดินที่ได้จากมูลสุกรมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับดินที่เหมาะสมต่อเกษตรกรรมพบว่า มีเพียงระดับของสังกะสีและทองแดงเท่านั้นที่ไม่พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานทั้งในฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system แต่สำหรับปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *coliform* และระดับของแคลเซียมและตะกั่วพบว่าสูงเกินจากค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 10

อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *Coliform* ระดับของสังกะสี ทองแดง แคลเซียม และตะกั่ว ว่ามีแนวโน้มว่าสัมพันธ์กันอย่างไร ก็พบว่า ค่า correlation coefficient ระหว่างปริมาณเชื้อ *E. coli* และ *Coliform* เท่ากับ 0.874 และพบว่า ค่า correlation coefficient ระหว่าง ระดับตะกั่วกับระดับแคลเซียม และระดับของตะกั่วกับสังกะสีนั้น มีค่าเท่ากับ 0.733 และ 0.616 ตามลำดับ แม้ว่าจะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อชนิดใดต่อระดับของโลหะหนักที่ตรวจในทุกชนิด ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นการนำค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ที่ได้จากฟาร์มทั้งสองประเภทมาหาความสัมพันธ์ร่วมกันในภาพรวมดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่แยกได้จากการตรวจเชื้อ *Salmonella spp.* ที่ตามกลุ่ม

<i>Salmonella</i> (Group)	จำนวนตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์
B	15	23.08
C	20	30.77
D	2	3.08
E	18	27.69
G	8	12.31
O:30	1	1.54
O:38	1	1.54
ผลรวมทั้งหมด	65	100.00

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ตรวจเชื้อ *Salmonella spp.* จำแนกตาม Serovars

<i>Salmonella</i> (serovars)	จำนวนตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์
Albany	3	4.62
Anatum	8	12.31
Bangkok	1	1.54
Corvallis	1	1.54
Give	2	3.08
I 4,5,12:i:	4	6.15
Kedougou	6	9.23
Lexington	3	4.62
Mbandaka	1	1.54
Montevideo	1	1.54
Newport	1	1.54
Orion	2	3.08
Panama	2	3.08
Paratyphi B Var,Java	3	4.62
Rissen	12	18.46
Senftenberg	1	1.54
Soerenga	1	1.54
Stanley	5	7.69
Thompson	1	1.54
Typhimurium	3	4.62
Weltevreden	2	3.08
Worthington	2	3.08
ผลรวมทั้งหมด	65	100

ตารางที่ 3 การจำแนกเชื้อ *Salmonella spp.* ตาม Serovars เทียบกับจำแนกเชื้อตาม group

<i>Salmonella</i> (serovars)/Group	B	C	D	E	G	O:30	O:38	Total Samples
Albany	-	3	-	-	-	-	-	3
Anatum	-	-	-	8	-	-	-	8
Bangkok	-	-	-	-	-	-	1	1
Corvallis	-	1	-	-	-	-	-	1
Give	-	-	-	2	-	-	-	2
I 4,5,12:i:	4	-	-	-	-	-	-	4
Kedougou	-	-	-	-	6	-	-	6
Lexington	-	-	-	3	-	-	-	3
Mbandaka	-	1	-	-	-	-	-	1
Montevideo	-	1	-	-	-	-	-	1
Newport	-	1	-	-	-	-	-	1
Orion	-	-	-	2	-	-	-	2
Panama	-	-	2	-	-	-	-	2
Paratyphi B Var,Java	3	-	-	-	-	-	-	3
Rissen	-	12	-	-	-	-	-	12
Senftenberg	-	-	-	1	-	-	-	1
Soerenga	-	-	-	-	-	1	-	1
Stanley	5	-	-	-	-	-	-	5
Thompson	-	1	-	-	-	-	-	1
Typhimurium	3	-	-	-	-	-	-	3
Weltevreden	-	-	-	2	-	-	-	2
Worthington	-	-	-	-	2	-	-	2
Total Samples	15	20	2	18	8	1	1	65

ตารางที่ 4 แสดงการจำแนกเชื้อ *Salmonella* spp. ในแต่ละ serovars โดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างจาก

ฟาร์มสุกรทั้งหมด

ผล(Salmonell serovars)	Dry manure	Nursery wastewater	Post-Biogas	Pre-Biogas	Raw water	Treated water	Total
Albany	1		2				3
Anatum	2	1	2	3			8
Bangkok	1						1
Corvallis	1						1
Give			1	1			2
I 4,5,12:i:		2		2			4
Kedougou	3		3				6
Lexington			1	2			3
Mbandaka						1	1
Montevideo				1			1
Newport	1						1
Orion				2			2
Panama	2						2
Paratyphi B Var,Java	3						3
Rissen		1	8	3			12
Senftenberg				1			1
Soerenga			1				1
Stanley	1			3		1	5
Thompson	1						1
Typhimurium	1		2				3
Weltevreden					1	1	2
Worthington	1			1			2
Total	18	4	20	19	1	3	65

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของพารามิเตอร์ต่างๆจากทุกตำแหน่งของน้ำเสียจากฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas

ปัจจัย	มีระบบ Biogas		ไม่มีระบบ Biogas	
	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน
อุณหภูมิ (Temperature)	45	30.61 $\pm$ 3.25	30	30.05 $\pm$ 2.37
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	56	6.59 $\pm$ 0.78	43	6.69 $\pm$ 0.77
ค่า mV	56	29.42 $\pm$ 46.85	43	23.76 $\pm$ 44.95
ปริมาณ <i>E.coli</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	60	591167.8 $\pm$ 1,515,522	45	214,952.2 $\pm$ 403,720
ปริมาณ <i>Coliform</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	60	854,631.7 $\pm$ 2,112,084	45	2,157,969 $\pm$ 1,101,492
ค่า BOD (mg/L)	39	2,394.35 $\pm$ 2,327.29	26	4,921.43 $\pm$ 4,602.84
ค่า COD (mg/L)	39	77,703.46 $\pm$ 98,476.38	26	106,485.5 $\pm$ 105,546.8
ค่าซิงค์(Zn) รูปตากแห้ง(mg/kg)	57	3,192.4 $\pm$ 3,735.1	45	3,781.9 $\pm$ 4,610.73
ค่าคอปเปอร์ (Cu) รูปตากแห้ง(mg/kg)	57	725.52 $\pm$ 773,65	44	797.53 $\pm$ 973.31
ค่าแคดเมียม (Cd) รูปตากแห้ง(mg/kg)	37	19.7 $\pm$ 49.83	30	9.67 $\pm$ 20.86
ค่าลีด (Pb) รูปตากแห้ง(mg/kg)	41	57.51 $\pm$ 119.13	32	61.81 $\pm$ 97.14

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ ณ ตำแหน่งของน้ำเสียและดินตากแห้ง ยกเว้นน้ำเสียเล้าสุกร

อนุบาลของฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas

ปัจจัย	มีระบบ Biogas		ไม่มีระบบ Biogas	
	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน
อุณหภูมิ (Temperature)	15	32.4 $\pm$ 3.16	30	30.71 $\pm$ 2.82
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	15	7.14 $\pm$ 0.32	30	7.10 $\pm$ 0.46
ค่า mV	15	-3.66 $\pm$ 19.28	30	-1.02 $\pm$ 26.92
ปริมาณ <i>E.coli</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	28,913.33 $\pm$ 28,791.09**	30	448,781.1 $\pm$ 1,269,977**
ปริมาณ <i>Coliform</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	38,400 $\pm$ 33,109.77**	30	752,401.1 $\pm$ 1,797,079**
ค่า BOD (mg/L)	13	1,371.5 $\pm$ 2,554.05**	26	3,423.65 $\pm$ 3,897.45**
ค่า COD (mg/L)	13	51,454.28 $\pm$ 76,000.38	26	75,316.73 $\pm$ 91,073.14
ค่าซิงค์ (Zn) รูปตากแห้ง(mg/kg)	13	4,600.02 $\pm$ 4,682.84	30	1,992.02 $\pm$ 3,055.84
ค่าคอปเปอร์ (Cu) รูปตากแห้ง(mg/kg)	13	1,143.75 $\pm$ 1,068.57	30	863.04 $\pm$ 1,018.51
ค่าแคดเมียม (Cd) รูปตากแห้ง(mg/kg)	11	21.25 $\pm$ 31.63	25	9.22 $\pm$ 22.31
ค่าลีด (Pb) รูปตากแห้ง(mg/kg)	10	44.24 $\pm$ 33.14	21	38.36 $\pm$ 57.74

** Significant different at $p < 0.01$ (Mann-Whitney U test)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มี

มีระบบ Biogas System

ปัจจัย	มีระบบ Biogas		ไม่มีระบบ Biogas	
	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบน	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบน
อุณหภูมิ (Temperature)	15	32.4±3.16	15	31.16±2.65
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	15	7.14± 0.32	15	7.30 ± 0.19
ค่า mV	15	-3.66± 19.28	15	-12.57± 13.69
ปริมาณ <i>E.coli</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	28,913.33± 28,791.09	15	49,562.2± 59,691.16
ปริมาณ <i>Coliform</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	38,400± 33,109.77*	15	161,468.9± 127,826.1*
ค่า BOD (mg/L)	13	1,371.5±2,554.05**	13	4,967.30± 5,049.32**
ค่า COD (mg/L)	13	51,454.28±76,000.38	13	80,004.77±88,720.98
ค่าซิงค์ (Zn) รูปตากแห้ง(mg/kg)	13	4,600.02±4,682.84	15	2,468.79 ±4,040.91
ค่าคอปเปอร์ (Cu) รูปตากแห้ง(mg/kg)	13	1,143.75±1,068.57	15	1,155.78±1,353.59
ค่าแคดเมียม (Cd) รูปตากแห้ง(mg/kg)	11	21.25±31.63	15	4.31±7.26
ค่าลีด (Pb) รูปตากแห้ง(mg/kg)	10	44.24±33.14	13	31.09±26.38

*, ** Significant different at $p < 0.05, 0.01$ (Mann-Whitney U test)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ในดินขี้หมู (Dry sludge) ระหว่างฟาร์มที่มี/ไม่มีระบบ Biogas System และไม่พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($p < 0.05$)

ปัจจัย	มีระบบ Biogas		ไม่มีระบบ Biogas	
	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	จำนวน (n)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	11	6.48 $\pm$ 0.75	13	6.89 $\pm$ 0.50
ค่า mV	11	35.22 $\pm$ 44.58	13	12.56 $\pm$ 27.70
ปริมาณ <i>E.coli</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	3,624.67 $\pm$ 5719.50	15	155,940.2 $\pm$ 466,458.1
ปริมาณ <i>Coliform</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	15	51,193.4 $\pm$ 67,209.39	15	5,315,104 $\pm$ 1,901,607
ค่าซิงค์ (Zn) รูปตากแห้ง (mg/kg)	15	2,169.82 $\pm$ 3,243.12	15	2,360.88 $\pm$ 3,923.97
ค่าคอปเปอร์ (Cu) รูปตากแห้ง (mg/kg)	14	614.66 $\pm$ 1,031.54	14	363.52 $\pm$ 523.61
ค่าแคดเมียม (Cd) รูปตากแห้ง (mg/kg)	5	2.57 $\pm$ 1.10	6	2.31 $\pm$ 1.80
ค่าลีด (Pb) รูปตากแห้ง (mg/kg)	12	21.97 $\pm$ 10.24	10	20.40 $\pm$ 10.80

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียสุดท้ายกับค่ามาตรฐานในฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system

ตัวอย่าง	ระบบ Biogas	Dependent Variables	p-value	ค่ามาตรฐาน
	Yes/No (Y/N)			
น้ำเสียบ่อสุดท้าย (Final waste water)	N	<i>E. coli</i>	< 0.05	<2.2 cfu/ml ^A
”	Y	<i>E. coli</i>	< 0.05	
”	N	<i>Coliform</i>	< 0.05	< 200 cfu/ml ^A
”	Y	<i>Coliform</i>	< 0.05	
”	N	BOD	< 0.05	60 mg/L ^B
”	Y	BOD	< 0.05	
”	N	COD	< 0.05	300 mg/L ^B
”	Y	COD	< 0.05	
”	N	Zn	< 0.05	150-300 mg/L ^C
”	Y	Zn	< 0.05	
”	N	Cu	< 0.05	50-140 mg/L ^C
”	Y	Cu	< 0.05	
”	N	Cd	0.494	1.0-3.0 mg/L ^C
”	Y	Cd	0.085	
”	N	Pb	< 0.05	150-300 mg/L ^C
”	Y	Pb	< 0.05	

^A, มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในการปศุสัตว์

^B, ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539)

^C, Alloway&Ayres,1997 ระดับของโลหะหนักในน้ำเสียที่ยอมรับได้ทางเกษตรกรรม (EU standard)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบ sludge ตกค้างกับค่ามาตรฐานในฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas system

ตัวอย่าง	ระบบ Biogas	Dependent Variables	p-value	ค่ามาตรฐาน
	Yes/No (Y/N)			
Dry Sludge (ดินขี้หมูตากแห้ง)	N	<i>E. coli</i>	< 0.05	<2.2 cfu/ml ^A
”	Y	<i>E. coli</i>	< 0.05	
”	N	<i>Coliform</i>	< 0.05	< 200 cfu/ml ^A
”	Y	<i>Coliform</i>	< 0.05	
”	N	Zn	0.061	<300 mg/L ^C
”	Y	Zn	0.042	
”	N	Cu	0.082	< 100 mg/L ^C
”	Y	Cu	0.085	
”	N	Cd	< 0.05	< 2.0 mg/L ^C
”	Y	Cd	< 0.05	
”	N	Pb	< 0.05	< 100 mg/L ^C
”	Y	Pb	< 0.05	

^A, มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในการปศุสัตว์

^C, Webber et al.,1984 ระดับของโลหะหนักในน้ำดินที่ยอมรับได้ทางเกษตรกรรม (France standard)

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดเปรียบเทียบแต่ละตำแหน่งของตัวอย่างน้ำเสียและขี้หมูที่ตากแห้งเพื่อทำปุ๋ยต่อไป

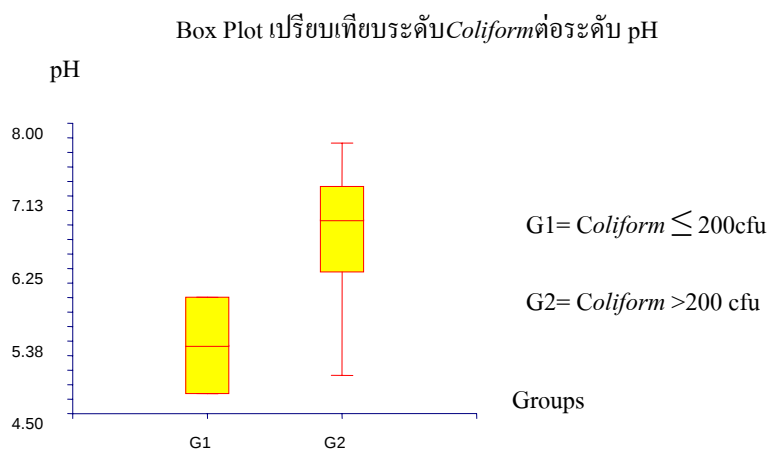
Sampling locations	Mean $\pm$ SD (n)			
	Nursery Sludge	Pre-Biogas Sludge	Post-Biogas Sludge	Dry manure
อุณหภูมิ (Temperature)	29.05 $\pm$ 2.22 (30)	30.26 $\pm$ 3.00 (15)	31.78 $\pm$ 2.93 (30)	-
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.85 $\pm$ 0.67 (30)	6.90 $\pm$ 0.56 (15)	7.22 $\pm$ 0.27 (30)	6.70 $\pm$ 0.65 (24)
ค่า mV	73.48 $\pm$ 39.45 (30)	10.52 $\pm$ 32.06 (15)	-8.12 $\pm$ 17.04 (30)	22.95 $\pm$ 37.38 (24)
ค่าคอปเปอร์ (Cu) ละลาย	0.86 $\pm$ 0.96 (15)	0.25 $\pm$ 0.22 (7)	0.24 $\pm$ 0.31 (22)	0.41 $\pm$ 0.30 (7)
ค่าซิงค์ (Zn) ละลาย	0.47 $\pm$ 0.58 (20)	0.02 $\pm$ 0.01 (3)	0.27 $\pm$ 0.95 (18)	0.95 $\pm$ 1.57 (20)
ปริมาณ <i>E.coli</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	961,743.8 $\pm$ 1,678,796 (30)	848,000 $\pm$ 1,730,839 (15)	39,237.77 $\pm$ 47,228.45 (30)	79,782.44 $\pm$ 333,250.5 (30)
ปริมาณ <i>Coliform</i> (CFU) น้ำเสียสุดท้าย	1,491,468 $\pm$ 2,567,729 (30)	1,343,333 $\pm$ 2,434,140 (15)	99,934.43 $\pm$ 111,060 (30)	2,683,149 $\pm$ 1,348,106 (30)
ค่า BOD (mg/L)	4,403.55 $\pm$ 3448.90 (26)	1,880 $\pm$ 993.80 (13)	3,169.40 $\pm$ 4,327.91 (26)	-
ค่า COD (mg/L)	121,996.8 $\pm$ 115,198.1 (26)	70,628.7 $\pm$ 96,751.21 (13)	65,729.52 $\pm$ 82,235.75 (26)	-
ค่าซิงค์(Zn) รูปตากแห้ง(mg/kg)	5,676.93 $\pm$ 4,477.95 (29)	1,515.26 $\pm$ 1,589.74 (15)	3,458.29 $\pm$ 4,402.80 (28)	2,265.35 $\pm$ 3,538.41 (30)
ค่าคอปเปอร์ (Cu) รูปตากแห้ง(mg/kg)	733.04 $\pm$ 539.75 (30)	570.29 $\pm$ 364.69 (15)	1,150.2 $\pm$ 1207.29 (28)	489.09 $\pm$ 812.83 (28)
ค่าแคดเมียม (Cd) รูปตากแห้ง(mg/kg)	26.40 $\pm$ 63.28 (20)	16.59 $\pm$ 33.83 (10)	11.48 $\pm$ 22.42 (26)	2.43 $\pm$ 1.46 (11)
ค่าลีด (Pb) รูปตากแห้ง(mg/kg)	130.98 $\pm$ 182.92 (20)	50.19 $\pm$ 89.85 (8)	36.81 $\pm$ 29.55 (23)	21.26 $\pm$ 10.28 (22)

จำนวน n ที่ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานและไม่นำมาคำนวณ ND (Non-detectable)มีดังนี้ Zn, Cu, Cd, Pb $\leq$ 300,140, 3,300 mg/kg, BOD, COD $\leq$ 60, 300 mg/L และ

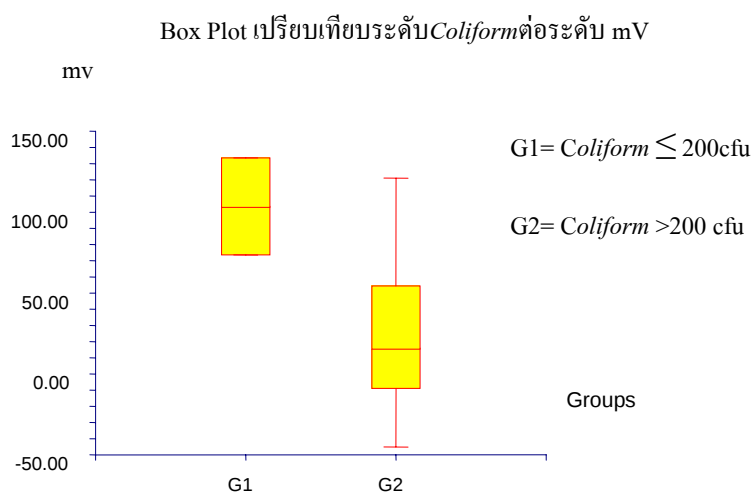
dissolved Zn และ Cu $\leq$ 40 และ 5 mg/Lตามลำดับ

ตารางที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่วัดได้ในน้ำเสียตำแหน่งต่างๆโดยใช้ Spearman correlation coefficient (Nonparametric)

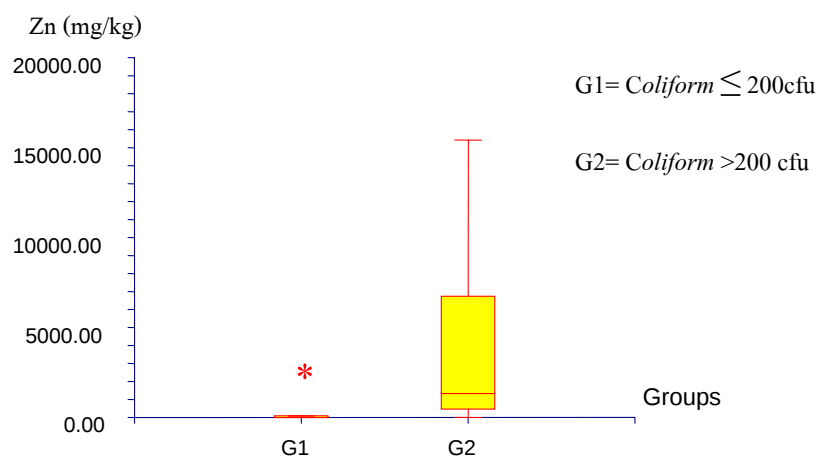
Correlation	<i>E coli</i> (cfu/ml)	<i>Coliform</i> (cfu/ml)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
<i>E coli</i> (cfu/ml)	1	0.874437	0.244716	-0.080061	0.25529	0.175984
<i>Coliform</i> (cfu/ml)	0.874437	1	0.243976	0.060994	0.280874	0.195783
Zn (mg/kg)	0.244716	0.243976	1	0.177444	0.479699	0.616541
Cu (mg/kg)	-0.080061	0.060994	0.177444	1	0.497744	0.13985
Cd (mg/kg)	0.25529	0.280874	0.479699	0.497744	1	0.733835
Pb (mg/kg)	0.175984	0.195783	0.616541	0.13985	0.733835	1



รูปที่ 2 เปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ต่อค่า pH ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่า pH จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ *Coliform* เกินระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$)

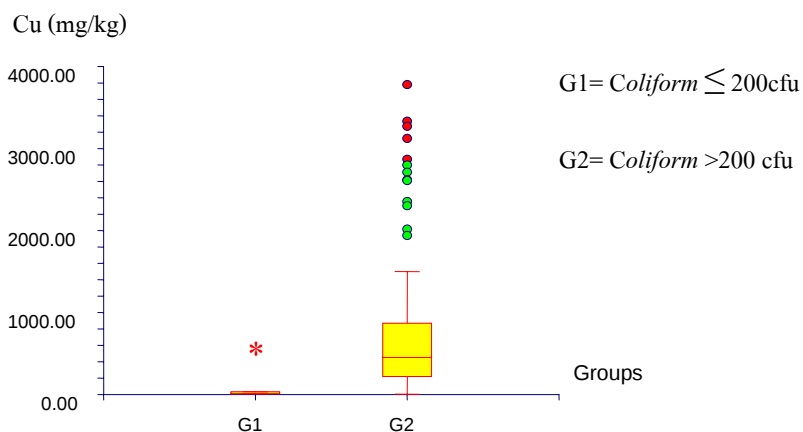


รูปที่ 3 เปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ต่อค่า mV ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่า mV จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ *Coliform* ต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$)

Box Plot เปรียบเทียบระดับ *Coliform* ต่อปริมาณ Zn

รูปที่ 4 เปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ต่อปริมาณ Zn ซึ่งพบว่าระดับของ *Coliform* ที่สูงกว่าระดับมาตรฐานที่

200 cfu/ml จะพบปริมาณ Zn ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับระดับที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.04$)

Box Plot เปรียบเทียบระดับ *Coliform* ต่อปริมาณ Cu

รูปที่ 5 เปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ต่อปริมาณ Cu ซึ่งพบว่าระดับของ *Coliform* ที่สูงกว่าระดับมาตรฐานที่

200 cfu/ml จะพบปริมาณ Cu ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับระดับต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.02$)

จากการที่ได้ศึกษาปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มของ *Coliform* โดยคำนวณจากทุกฟาร์มในทุกตำแหน่ง และไม่ได้แยกว่าตัวอย่างที่ได้นั้นมาจากฟาร์มที่มีหรือไม่มีระบบ Biogas system พบว่าเมื่อทำการแยกเชื้อที่ตรวจพบได้โดยจัดออกเป็นกลุ่มที่มีปริมาณเชื้อเกินมาตรฐานและกลุ่มที่เชื่อดำกว่าค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของเชื้อ *Coliform* เท่ากับ ≤ 200 cfu/ml) ต่อระดับของ pH ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าระดับ pH ของน้ำเสียมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ *Coliform* เกินระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$) นอกจากนี้ เมื่อนำเชื้อ *Coliform* ทั้งสองกลุ่มเปรียบเทียบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (mV) ในน้ำเสีย พบว่าค่า mV มีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของ *Coliform* ดำกว่าระดับมาตรฐานที่ 200 cfu/ml แม้จะไม่พบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.06$) เช่นเดียวกับระดับของ pH น้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ต่อปริมาณ Zn พบว่าระดับของ *Coliform* ที่สูงกว่า 200 cfu/ml จะพบปริมาณ Zn และ Cu ในระดับที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อ *Coliform* ที่ต่ำกว่าระดับมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆในตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละตำแหน่งที่ได้จากฟาร์มที่มี

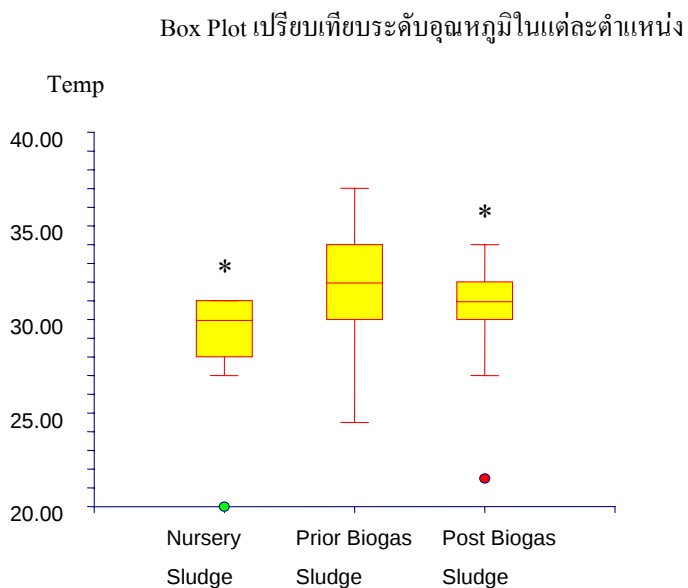
ระบบ Biogas system

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างในฟาร์มสุกรที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system นั้นตัวอย่างที่เก็บเพื่อมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นมีทั้งหมด 4 ตำแหน่งได้แก่ น้ำเสียหน้าคอกอนุบาล น้ำเสียก่อนเข้าถังแก๊ส น้ำเสียหลังจากออกจากถังแก๊ส และดินตะกอนตากแห้ง ซึ่งที่จะกล่าวถึงได้แก่การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่สำคัญในตำแหน่งต่างๆ โดยพบว่าอุณหภูมิในน้ำเสียหน้าเล้าอนุบาลต่ำกว่าน้ำเสียภายหลังออกจากระบบ Biogas แต่ไม่พบว่าคุณหมิน้ำเล้าอนุบาลมีความแตกต่างกว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบ Biogas อย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใดดังแสดงในรูปที่ 6 นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับ pH ของตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 3 ตำแหน่งร่วมกับค่า pH ของตัวอย่างดินมูลสุกร พบว่าระดับ pH ของน้ำเสียจากเล้าอนุบาลมีค่าน้อยกว่าหรือแสดงความเป็นกรดที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำเสียในตำแหน่งอื่นๆและเมื่อเทียบกับมูลสุกรตากแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) จากตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system ดังแสดงในรูปที่ 7 และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของเชื้อ *E. coli* จากน้ำเสียทั้ง 3 ตำแหน่งและ

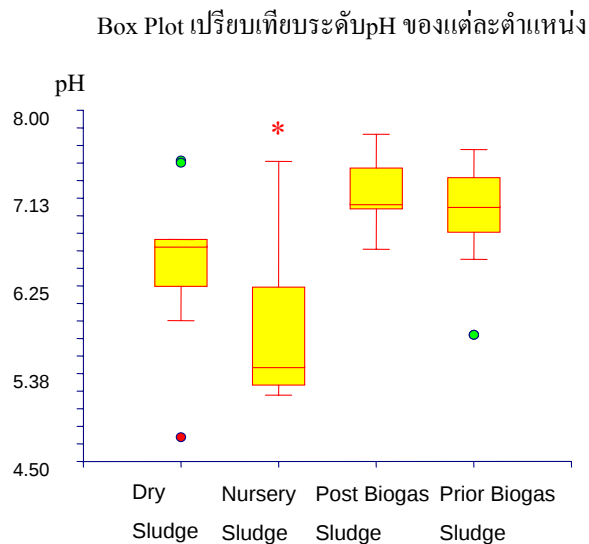
มูลสุกรตากแห้งพบว่า ปริมาณของเชื้อ *E. coli* มีค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อดังกล่าวทั้งในตัวอย่างน้ำเสีย ภายหลังผ่านระบบ Biogas และตัวอย่างในดินมูลสุกรที่ตากแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งไม่พบว่าปริมาณของเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบในตำแหน่งก่อนเข้าสู่ระบบ Biogas แสดงความแตกต่างจาก ตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากหน้าเล้าอนุบาลแต่อย่างใด ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อ *Coliform* เปรียบเทียบกัน เช่นเดียวกับกรณีของเชื้อ *E. coli* ดังแสดงในรูปที่ 9 ก็พบว่าได้รูปแบบเช่นเดียวกับกรณีของเชื้อ *E. coli* โดยพบว่า ปริมาณเชื้อ *Coliform* ที่ได้จากตัวอย่างหน้าคอกอนุบาลพบสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากตำแหน่งภายหลังผ่านการหมัก ย่อยจากถุงแก๊ส และจากตัวอย่างจากมูลสุกรตากแห้งก่อนจะส่งขายเป็นปุ๋ยให้เกษตรกรต่อไป แต่ไม่พบว่าปริมาณ เชื้อ *Coliform* ในตำแหน่งหน้าเล้าอนุบาลจะมีค่าแตกต่างจากปริมาณเชื้อดังกล่าวในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถุงแก๊สอย่างมี นัยสำคัญแต่อย่างใด นอกจากนี้เมื่อทำการตรวจวัดระดับของค่า BOD และ COD ของตัวอย่างน้ำเสียในฟาร์มที่มี ระบบแก๊สและเปรียบเทียบกันในแต่ละตำแหน่งพบว่า ระดับของ BOD ในน้ำเสียจากเล้าอนุบาลพบค่าที่สูงกว่าใน ตำแหน่งของน้ำเสียจากก่อนและหลังBiogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบว่าระดับของ BOD ระหว่างก่อนและหลังผ่านถุงแก๊สมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใดดังแสดงในรูปที่ 10 อย่างไรก็ตาม ระดับของ COD ของน้ำเสียทั้ง 3 ตำแหน่งไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อคำนวณทางสถิติแล้ว

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสีย ระดับเชื้อแบคทีเรียและโลหะหนักแต่ละตำแหน่งเฉพาะใน ฟาร์มที่มีระบบ Biogas

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆระหว่างฟาร์มทั้งสองประเภทตลอดระยะเวลาที่ศึกษาเป็นเวลา 1 ปี ทำให้เห็นภาพแนวโน้มของปริมาณของโลหะหนักและภาพรวมในการเลี้ยงสุกรระหว่างฟาร์มที่ติดตั้งและที่ไม่ได้ ติดตั้งระบบ Biogas system ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบเฉพาะระดับของ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่า BOD และ COD (เฉพาะในน้ำเสีย) และปริมาณของ สังกะสีและทองแดงที่ตรวจพบในตัวอย่างของมูลสุกรตากแห้ง ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มที่น่าสนใจ จึงนำมาแสดงไว้ดังรูปที่ 11 และ 12 และในน้ำเสียดำเนินสุดท้ายหรือหลังจาก ระบบแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

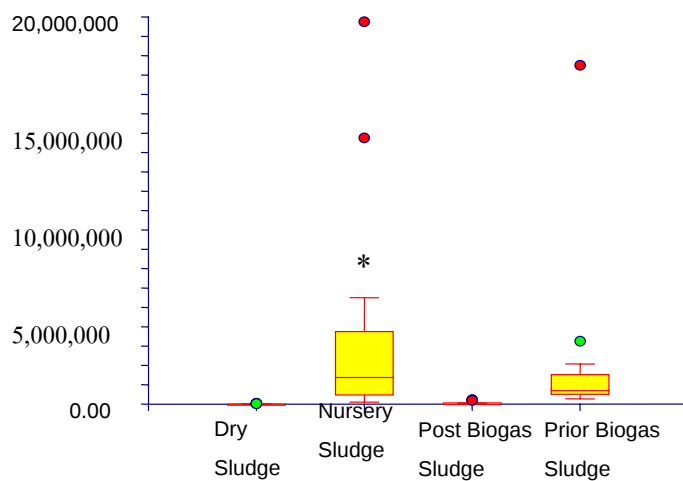


รูปที่ 6 เปรียบเทียบระดับอุณหภูมิที่วัดในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิในน้ำเสียหน้าเล้าอนุบาลต่ำกว่าน้ำเสียภายหลังออกจากระบบ Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test



รูปที่ 7 เปรียบเทียบระดับ pH ที่วัดในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ pH น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่มอื่น, ดินจากตะกอนต่างจาก เล้าอนุบาลและหลัง Biogas และ ก่อนแตกต่างจากหลัง Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Box Plot เปรียบเทียบระดับของ *E. coli* ที่วัดได้ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง
E. coli (cfu/ml)

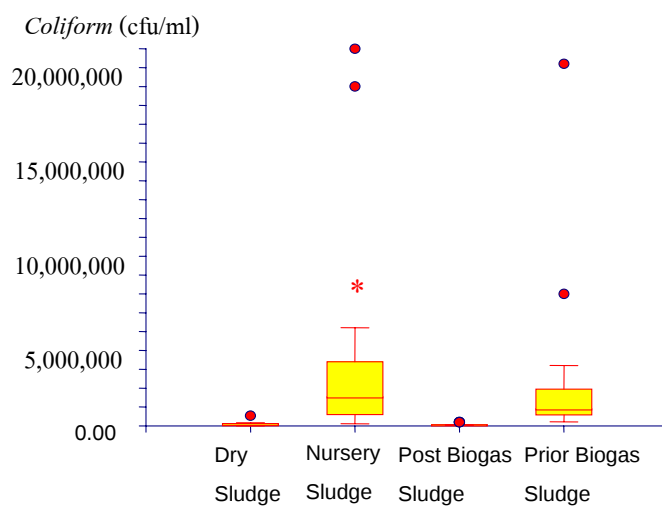


รูปที่ 8 เปรียบเทียบระดับ *E. coli* ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ *E. coli* น้ำเสียแล้วอนุบาลแตกต่าง

จากกลุ่ม ดินตะกอนตากแห้งและน้ำเสียหลังBiogas ยกเว้นน้ำเสียก่อน Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$)

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

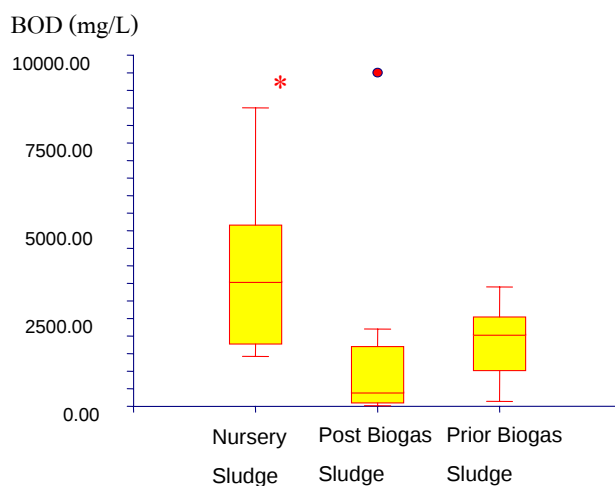
Box Plotเปรียบเทียบระดับของ *Coliform* ในน้ำเสียและดินตากแห้ง



รูปที่ 9 เปรียบเทียบระดับ *coliform* ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ *coliform* น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่ม ดินตะกอนตากแห้งและน้ำเสียหลังBiogas ยกเว้นน้ำเสียก่อน Biogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$)

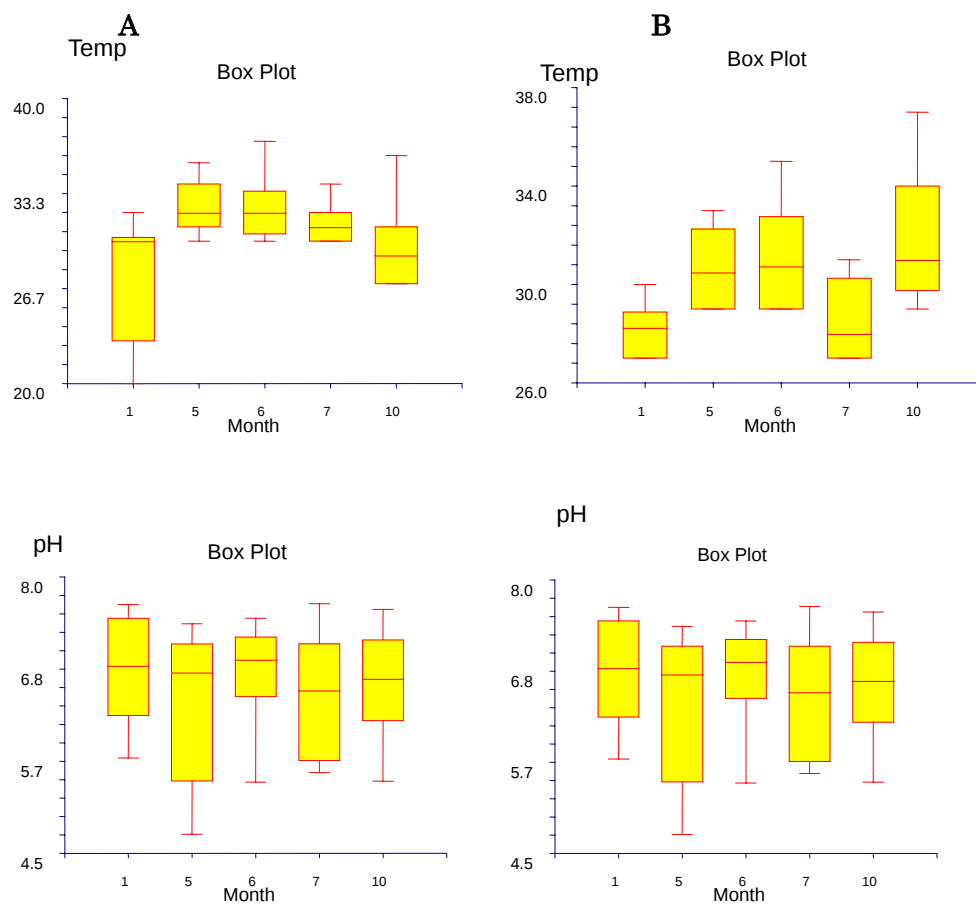
Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Box Plot เปรียบเทียบระดับ BOD ของน้ำเสียจากฟาร์มตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 10 เปรียบเทียบระดับ BOD ในน้ำเสียของแต่ละตำแหน่ง พบว่าระดับของ BOD น้ำเสียเล้าอนุบาลแตกต่างจากกลุ่มน้ำเสียก่อนและหลังBiogas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$) Tukey-Kramer Multiple-Comparison

Test

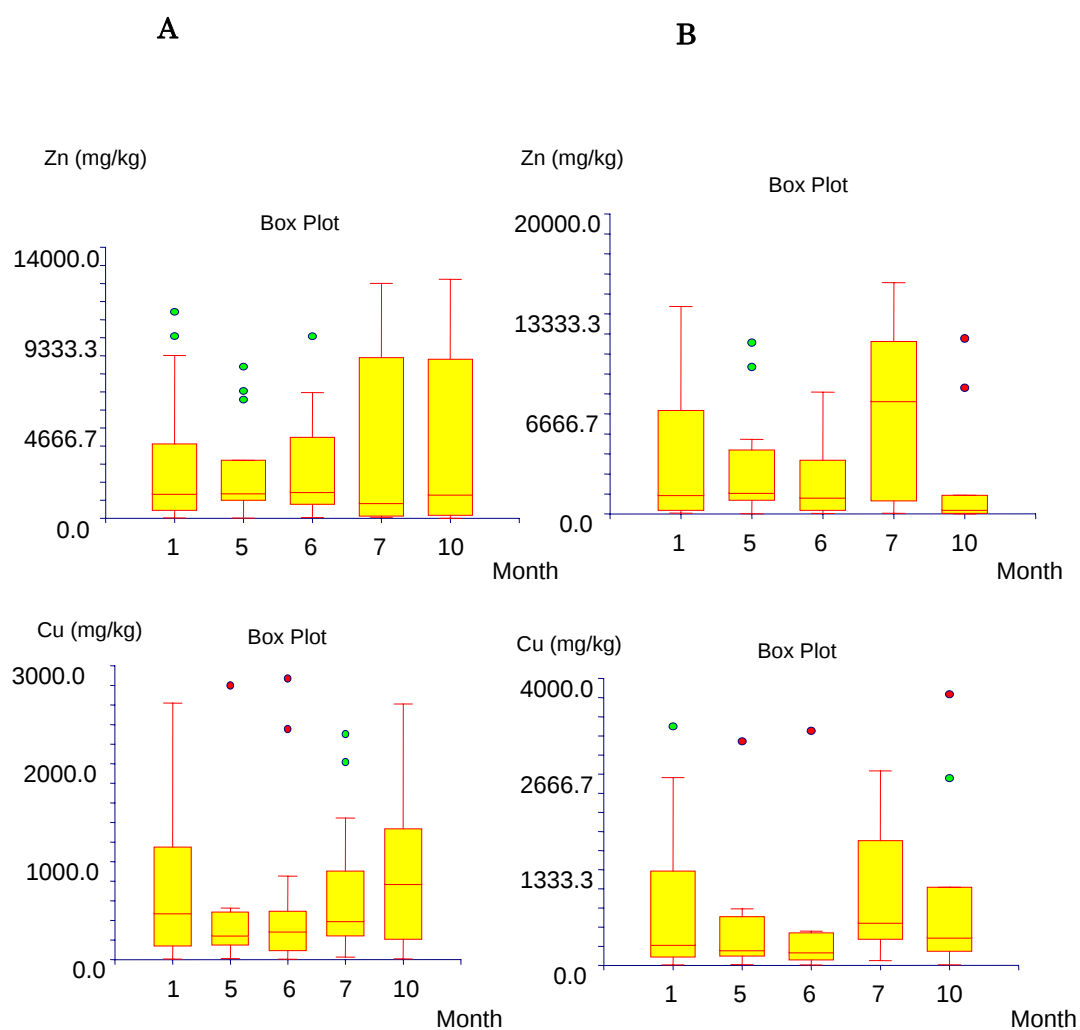


A: Biogas farm

B: Non-Biogas farm

รูปที่ 11 แสดงเปรียบเทียบระดับของ อุณหภูมิ ค่า pH ของตะกอนตากแห้ง (Dry Sludge) ระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่

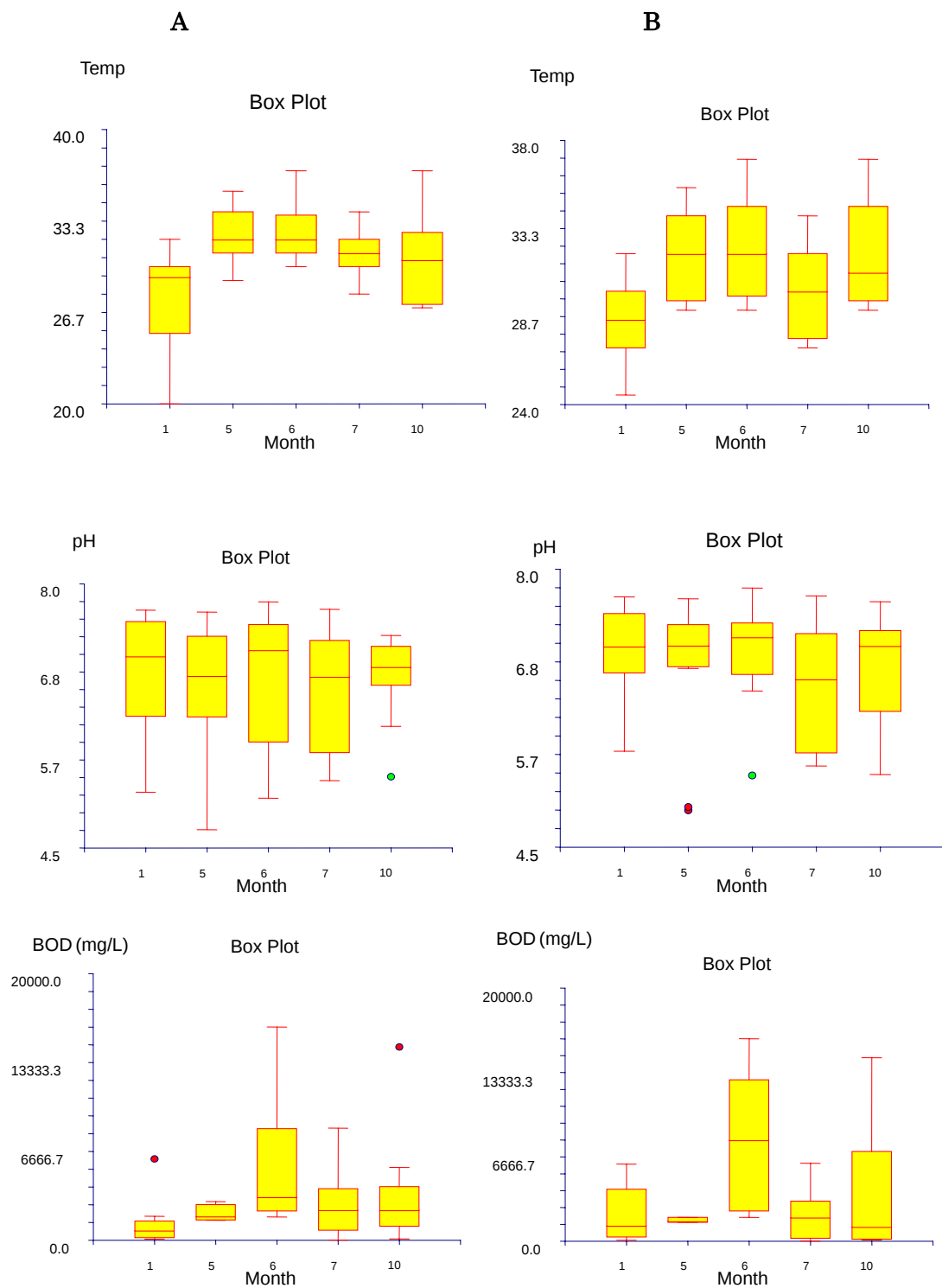
ใช้ระบบ Biogas System



A: Biogas farm, B: Non-Biogas farm

รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบระดับ Zn และ Cu ของตะกอนตากแห้ง (dry sludge) ของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่

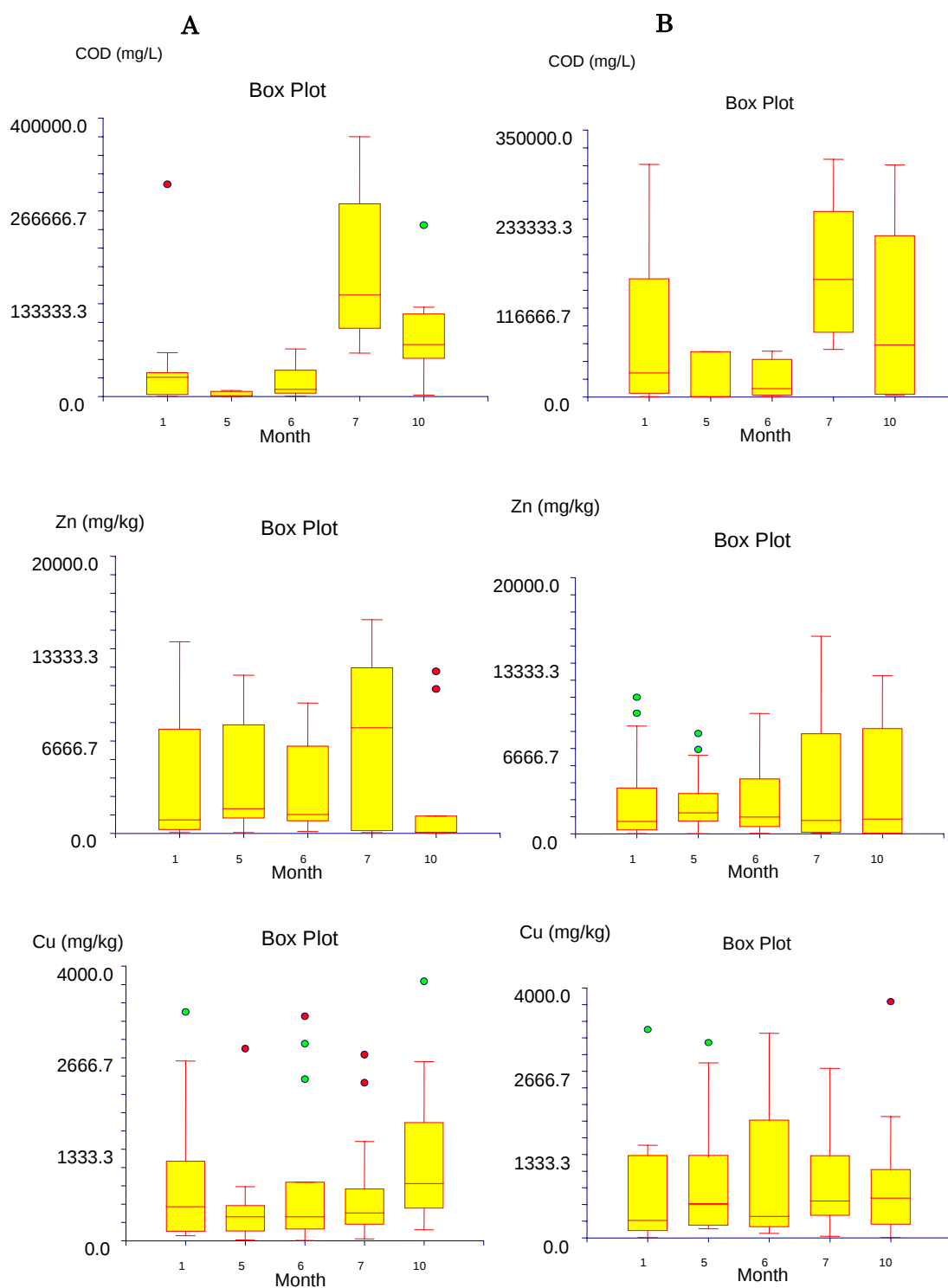
ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System



A: Biogas farm, B: Non-Biogas farm

รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบระดับของ อุณหภูมิ ค่า pH และ ระดับ BOD ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์ม

ระหว่างฟาร์มที่ใช้และไม่ใช้ระบบ Biogas System



A: Biogas farm, B: Non-Biogas farm

รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบระดับ COD, Zn และ Cu ของน้ำเสียบ่อสุดท้ายของแต่ละฟาร์มระหว่างฟาร์มที่ใช้และ

ไม่ใช้ระบบ Biogas System

วิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการประเมินการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียที่สำคัญต่อความปลอดภัยด้านอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ *E. coli* และ *Salmonella spp.* และศึกษาระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักและค่าทางเคมีของน้ำเสียอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า BOD COD ในน้ำเสียตำแหน่งต่างๆ รวมถึงมูลสุกรตากแห้งและส่งขายออกจากฟาร์มในที่สุด ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างฟาร์มสุกรที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system และฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบดังกล่าว โดยวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการประเมินระดับการตกค้างของโลหะหนักประเภทซิงค์และคอปเปอร์ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกรที่ใช้ ZnO และ CuSO₄ ผสมในอาหารเป็นเวลา 1 ปี และหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักที่ตกค้างต่อปริมาณเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* ซึ่งถือเป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีผลต่อความปลอดภัยของอาหาร ในน้ำทิ้งและดินที่ได้จากฟาร์มสุกรในประเทศไทย อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเพิ่มเติมอีก 2 ชนิด ได้แก่ แคดเมียมและตะกั่วที่ได้จากน้ำเสียและมูลสุกรตากแห้ง และเชื้อ *coliform* เพิ่มเติมขึ้นด้วย

ในการศึกษาและจำแนกเชื้อ *Salmonella spp.* จากฟาร์มทั้งหมด 6 ฟาร์ม จำแนกเป็นฟาร์มสุกรที่ติดตั้งระบบ Biogas system จำนวน 3 ฟาร์ม และฟาร์มที่ไม่มีการติดตั้ง จำนวน 3 ฟาร์มเท่าๆ กัน พบว่าสามารถตรวจพบเชื้อ *Salmonella* ซึ่งสามารถตรวจพบได้จากทุกฟาร์ม ซึ่งสามารถเพาะเชื้อได้จากตัวอย่างน้ำเสียหรือในมูลสุกรตากแห้งนั่นเอง โดยพบว่าตลอดระยะเวลา 1 ปี ที่ทำการเก็บตัวอย่างในทุกตำแหน่งของทั้ง 6 ฟาร์มสามารถเพาะเชื้อได้ถึง 65 ตัวอย่างและจำแนกตามกลุ่มและ Serovars ของเชื้อได้ ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่า การปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella spp.* นั้นอาจปนเปื้อนเข้าสู่ฟาร์มได้จากการปนเปื้อนในน้ำดิบที่ฟาร์มใช้ หรือมาจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำเข้าสู่ฟาร์ม จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียหน้าคอกสุกรอนุบาลก็สามารถตรวจพบเชื้อ *Salmonella* ได้เช่นกันแต่ถือว่าจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำเสียตำแหน่งอื่นๆ และในมูลตากแห้ง เนื่องจากน้ำเสียที่มีเส้นทางการไหลที่ยาวออกไปตามเส้นทางภายในฟาร์มทำให้เชื้อจากโรงเรือนอื่นๆ ที่อาจจะมาจากวัตถุดิบอาหาร น้ำที่บริโภคและน้ำใช้ในฟาร์ม รวมทั้งจากสัตว์ที่ป่วยภายในฟาร์มปล่อยเชื้อและเจริญเติบโตตามเส้นทางของน้ำเสียในฟาร์มสุกรเอง แม้ว่าน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยคลอรีนแล้วก็ตามก็อาจพบเชื้อนี้ได้เช่นกัน โดยเฉพาะน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยคลอรีน

แล้วซึ่งพบว่ายังสามารถพบเชื้อ ดังนั้นการจัดการเรื่องการบำบัดน้ำก็ยังคงตระหนักและเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถมองข้ามได้เลย โดยทั่วไปเชื้อ *Salmonella* สามารถตรวจพบได้เสมอในวัตถุดิบอาหารสัตว์ รวมทั้งจากการนำสัตว์เข้าสู่ฟาร์มและโปรตีนจากพืชผัก เช่น น้ำมันถั่วเหลือง กากปาล์ม รำข้าว และการเมล็ดฝ้ายเป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญที่สามารถนำเชื้อโรคอื่นๆเข้าสู่ฟาร์มสุกรและยังเป็นปัญหาที่สำคัญต่อความปลอดภัยอาหารในเนื้อสุกรอีกด้วย จากรายงานของ Davies & Hinton, 2000 และ Bahnson และคณะปี 2006 และมีรายงานเพิ่มเติมอีกว่าเชื้อ *Salmonella spp.* ที่พบส่วนใหญ่ในสิ่งแวดล้อมจะเป็นชนิด non-motile strains เป็นส่วนใหญ่ (S. Percival และคณะ ปี 2004) อย่างไรก็ตามเราพบเชื้อ *S. typhi* (typhoid fever) และ *S. paratyphi* แต่ละชนิดที่ 4.62% (3/65 ตัวอย่าง) ดังตารางที่ 2 ซึ่งจากรายงานของ S. Percival et al., 2004., Berends et al., 1999) กล่าวว่าโดยปกติจะไม่พบเชื้อได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและสามารถฟอร์มโคโลนีในมนุษย์เท่านั้น โดยในมนุษย์ที่พบการติดเชื้อดังกล่าวบ่งชี้ว่าจะสัมผัสจากอุจจาระของมนุษย์ด้วยกัน ในทางตรงข้ามพบว่าเชื้อกลุ่ม non-typhoidal *Salmonella* จะพบทั่วไปในธรรมชาติและใกล้ชิดกับปัญหาในสัตว์มากกว่าและเป็นที่ทราบกันว่าเชื้อ *Salmonella* ที่จับถ่ายไปทางอุจจาระนั้น สามารถปนเปื้อนสู่คนได้ทางอาหารและน้ำ จากคนสู่คน หรือ faecal-oral transmission ก็เกิดขึ้นได้อันเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมาและเมื่อตรวจสอบกลับพบว่ามาจากสุลักษณ์ที่ไม่ได้ถูกสุลักษณ์เพียงพอเช่นการล้างมือเป็นต้น อย่างไรก็ตามเชื้อชนิดนี้สามารถเพาะเลี้ยงได้จากน้ำเสียเนื่องจากสามารถมีชีวิตได้ในน้ำที่มีธาตุอาหารสูง การบำบัดน้ำเสียสามารถลดปริมาณของ *Salmonella* ได้แต่ไม่ได้ทั้งหมดเนื่องจากเชื้อชนิดนี้สามารถคงอยู่ในดินกลางแจ้งได้นานไม่น้อยกว่า 6 เดือน (Davies et al., 1999) และเคยมีรายงานว่าพบเชื้อในน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านคลอรีนอยู่ระหว่าง 1-1100 cells/ml ด้วย ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถตรวจพบเชื้อ *coliform* และ *E. coli* ในน้ำดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วก็ไม่สามารถแน่ใจได้ว่าจะตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* ได้ในน้ำนั้น

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียด้านต่าง ๆ เปรียบเทียบกันภายในฟาร์ม และทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆในตำแหน่งเดียวกันระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มีติดตั้งระบบ Biogas system เพิ่มเติมอีกด้วย ทางผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างน้ำเสียด้านสุดท้ายของแต่ละฟาร์มโดยถือว่าเป็นน้ำเสียบ่อใหญ่รวมในฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas system เปรียบเทียบกับน้ำเสียในบ่อสุดท้ายภายหลังจากออกจากถังแก๊สในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ

Biogas system และพบว่าปริมาณของเชื้อ *coliform* และ ระดับของค่า BOD ในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas system มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟาร์มทั่วไปที่ได้ติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้จะพบว่าปริมาณของเชื้อ *E. coli* และระดับ COD ในฟาร์มที่มีระบบ Biogas system พบทั้งคู่มีระดับที่น้อยกว่าฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas แต่เมื่อคำนวณทางสถิติแล้วก็ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน นอกจากนี้ปริมาณของ สังกะสี แคดเมียม และ ตะกั่ว ในฟาร์มที่มีการใช้ระบบ Biogas อยู่ในระดับที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas อย่างเด่นชัดดังแสดงในตารางที่ 7 สำหรับตัวอย่างมูลสุกรตกแห้งที่เก็บได้จากฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas กับมูลสุกรตกแห้งลักษณะเป็นดินที่ชักจากลานตากตะกอนในฟาร์มที่มีการติดตั้งระบบ Biogas และพบว่าปริมาณของเชื้อกลุ่ม *E. coli* และ *Coliform* ในฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas พบมีระดับต่ำกว่าฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้ง แม้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ในน้ำเสียตำแหน่งสุดท้ายที่ตรวจวัดได้ของแต่ละฟาร์มเปรียบเทียบระหว่างฟาร์มที่มีและไม่มี การติดตั้งระบบ Biogas system พบว่า ปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *coliform* ระดับของ BOD, COD และระดับของ สังกะสี ทองแดง และตะกั่วที่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในฟาร์มทั้งสองประเภท ยกเว้นระดับของ แคดเมียมในน้ำเสียบ่อสุดท้ายที่พบว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานในฟาร์มสุกรทั้งสองแสดงในตารางที่ 9 ในส่วนของมูลสุกรหรือมูลคิบที่ใช้ทางเกษตรกรรมพบว่าระดับของสังกะสีและทองแดงไม่มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไม่ว่าจะมาจากฟาร์มที่มีการติดตั้งหรือไม่มีการติดตั้งระบบ Biogas system แต่จุดที่น่าสนใจก็คือ ปริมาณของเชื้อ *E. coli*, *coliform* และระดับของแคดเมียมและตะกั่วพบสูงเกินจากค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 10 ทางผู้วิจัยสันนิษฐานว่าปริมาณของแคดเมียมและตะกั่วที่เกินระดับมาตรฐานน่าจะมาจากการปนเปื้อนมาในวัตถุดิบอาหารสัตว์เช่นเดียวกัน อีกกรณีหนึ่งอาจจะมาจากการปนเปื้อนในน้ำคิบ หรือน้ำบริโภคน้ำของทางฟาร์มเองก็เป็นไปได้เช่นกัน นอกจากนี้จากผลการศึกษาที่ได้บ่งชี้ว่า ในมูลสุกรตกแห้งยังมีการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* และ *coliform* อยู่เช่นกันดังนั้นในการขายต่อให้เกษตรกรเพื่อไปผลิตปุ๋ยอาจนำเชื้อไปปนเปื้อนกับพืชผักที่ปลูกได้ จึงควรแนะนำให้เกษตรกรนำไปเป็นส่วนผสมและทำการแปรรูปเป็นปุ๋ยตามระยะเวลาของการผลิตปุ๋ยเพื่อให้ความร้อนของการหมักทำปุ๋ยช่วยทำลายเชื้อดังกล่าวก่อนจะนำไปใช้ โดยมีรายงานว่าไม่สามารถตรวจพบเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* ภายหลังการไถกลบในดินแล้วเป็นเวลา 21 วันและ 7 วัน

ตามลำดับ (Boe et al., 2005)

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักต่อปริมาณของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกที่ชัดเจนระหว่างปริมาณของซิงก์และคอปเปอร์ต่อปริมาณของเชื้อ *E. coli* นอกจากนี้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิงก์และคอปเปอร์ต่อปริมาณของเชื้อ *Salmonella spp.* ได้เนื่องจากเชื้อ *Salmonella* นั้นไม่สามารถตรวจพบได้ในทุกๆตัวอย่างที่ส่งตรวจทำให้ข้อมูลไม่ต่อเนื่องและถือว่าเป็นเชื้อที่ไม่สามารถตรวจพบได้ในฟาร์มสุกรที่มีการจัดการฟาร์มที่ดี อย่างไรก็ตามพบว่าเชื้อ *E. coli* มีความสัมพันธ์เชิงบวกชัดเจนต่อปริมาณของเชื้อ *coliform* และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณของแคดเมียมสัมพันธ์กับปริมาณของตะกั่วที่พบเช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่า r ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณของ ซิงก์และ คอปเปอร์อีกด้วย แม้ว่าปริมาณของซิงก์เองก็มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อปริมาณของตะกั่วเช่นกันแต่ก็ต่ำกว่าเมื่อเทียบระหว่างปริมาณแคดเมียมต่อปริมาณตะกั่ว ซึ่งจากข้อมูลเชิงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไม่ได้จำแนกออกมาจากฟาร์มประเภทใด เพราะเป็นการรวมข้อมูลทั้งหมดทุกประเภทจากทั้ง 6 ฟาร์มมาประมวลร่วมกัน รายงานชิ้นนี้พบว่าปริมาณของ ซิงก์ คอปเปอร์ ตะกั่ว และแคดเมียม ในมูลสุกรตกแห้งพบอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับรายในรายงานของ Moral และคณะปี 2008 ที่พบว่า ซิงก์ และ คอปเปอร์ซึ่งถือว่าเป็นโลหะหนักที่สำคัญและสามารถปนเปื้อนสู่ดินที่ใช้ทางเกษตรกรรมจากการใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยและเมื่อเทียบกับการศึกษาในอังกฤษและเวลส์พบว่ามูลสัตว์จากฟาร์มต่างๆเปรียบเทียบกันพบว่ามูลสัตว์จากแหล่งที่มีโลหะหนักทั้งสองชนิดสูงจากมากไปน้อยได้แก่ มูลสัตว์จากฟาร์มสุกร > ฟาร์มไก่ > ฟาร์มโค-กระบือ ตามลำดับ (Nicholson et al., 1999) ดังนั้นการบริโภคผักที่ปลูกด้วยดินที่ผสมมูลสุกรที่มีซิงก์และ คอปเปอร์ในระดับสูงอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ และ Katanda และคณะปี 2007 พบว่า Mustard rape และ กะหล่ำปลี (lettuce) สามารถสะสมซิงก์และคอปเปอร์ได้ในระดับที่สูงเกินระดับที่เป็นพิษแม้ไม่พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเอง ดังนั้นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อห่วงโซ่อาหาร และคล้ายคลึงกับการที่พบว่าซิงก์ คอปเปอร์ แคดเมียม และ ตะกั่ว ในระดับที่สูงเกินระดับมาตรฐานในพืชที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในประเทศซิมบับเว เช่น ข้าวโพด ถั่ว พริกไทย และอ้อย (Muchuweti et al., 2006) โดยมีค่ามาตรฐาน EU ของ แคดเมียม คอปเปอร์ ตะกั่ว และ ซิงก์ในพืช เท่ากับ 0.2 mg/kg, 20 mg/kg, 0.3 mg/kg และ

50 mg/kg ตามลำดับ และพบว่า สามารถใช้พืชจำพวก *Thalpi* ในการดูดซึม แคดเมียมออกจากดินได้ เนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่าพืชตระกูลนี้เป็น Cd hyperaccumulator และปริมาณของซิงก์และฟอสเฟตในดินที่ต่ำทำให้พืชดูดซึม แคดเมียมได้ดี (Kirkham, 2006) สำหรับการเปรียบเทียบดัชนีอื่นๆเช่น ระดับ pH อุณหภูมิของน้ำเสีย ค่า BOD และ COD และระดับของซิงก์และคอปเปอร์ตลอดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ปี นั้นเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นเป็นค่าเฉลี่ยทำให้ทราบแนวโน้มของดัชนีต่างๆของฟาร์มสุกรในภาพรวมโดยที่ไม่ได้แยกว่าเป็น ฟาร์มสุกรประเภทใด แม้จะเป็นที่ทราบดีว่า ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงการละลายได้ของเกลือที่มากขึ้น และพบว่าค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้มูลสุกรในการเกษตรเป็นระยะเวลานาน และเช่นเดียวกับระดับ pH ในดินก็สัมพันธ์กับปริมาณของธาตุ C และ N ภายในดินโดยพบว่าค่า pH จะลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กากของเสียเพิ่มมากขึ้นจากฟาร์มสุกรและโคกระบือตามลำดับ อย่างไรก็ตามก็มีความเสี่ยงและกากของเสียที่ใช้ทางการเกษตรเป็นเวลานานยังทำให้ เชื้อแบคทีเรีย Actinomycete ปริมาณของเชื้อรา และ ธาตุ N เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Wood & Hattey., 1995) ดังนั้นการใช้ของเสียจากปศุสัตว์ใส่ในดินเป็นระยะเวลานานแม้ข้อดีจะเป็นประโยชน์แต่ผลกระทบต่อคุณสมบัติในดินก็ยังมีผลอยู่เช่นกัน และยังทำให้เกิดมลภาวะต่อแหล่งน้ำจากธาตุอาหารที่ปนเปื้อนลง ไปเช่น NO_3 , N และ P อีกด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนารูปแบบการนำมูลสัตว์และของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ไปใช้ทางการเกษตรเพื่อให้แน่ใจว่าจะเป็นเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและยังเป็นการรักษาสังแวดล้อมด้วย

สรุปผลการทดลอง

ฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system สามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระดับหนึ่งเมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้ง โดยทำให้ปริมาณของเชื้อ *Coliform* และ *E. coli* ลดลง และค่า BOD ในน้ำเสียโดยรวมลดลงอย่างชัดเจน แต่กลับพบว่าเมื่อติดตั้งระบบ Biogas system แล้วทำให้ธาตุโลหะหนักชนิดต่างๆได้แก่ ซิงก์ คอปเปอร์ แคดเมียม ตะกั่ว มีความเข้มข้นมากขึ้นกว่าฟาร์มที่ไม่มีการติดตั้งระบบ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียจากฟาร์มทั้งสองประเภทพบว่ามีค่า *E. coli*, *Coliform*, BOD, COD, Zn, Cu และ Pb ที่เกินระดับมาตรฐานน้ำทิ้งทั้งหมด เมื่อนำดินที่ได้จากมูลสุกรจากฟาร์มทั้งสองประเภทพบว่ามีค่า *E. coli*, *Coliform*, Cd และ Pb ที่เกินระดับ

มาตรฐานกำหนดในดินที่ใช้ทางการเกษตรแต่สำหรับ Zn และ Cu แม้ไม่เกินระดับมาตรฐานที่กำหนดโดย EU แต่ก็ถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงและต้องเฝ้าระวังต่อไปอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบ *Salmonella spp.* ปนเปื้อนได้ในฟาร์มสุกรจากตัวอย่างน้ำเสียหรือในมูลสุกรตากแห้งก่อนขายออกจากฟาร์มไปใช้ทำปุ๋ย และปริมาณของเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบในฟาร์มสุกรในฟาร์มทั้ง 2 ประเภทมีแนวโน้มสัมพันธ์กับปริมาณของเชื้อ *Coliform* และระดับตะกั่วสัมพันธ์กับระดับของแคดเมียม ดังนั้นน้ำเสียที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือนำกลับไปใช้ในการอุปโภคในฟาร์มรวมทั้งมูลสุกรตากแห้งที่ไปใช้เป็นปุ๋ยทางการเกษตร ก็ควรจะต้องตระหนักถึงการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli*, *Coliform* และ *Salmonella spp.* และปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่สามารถปนเปื้อนกลับมาในห่วงโซ่อาหารจากการใช้มูลสัตว์ได้เป็นปุ๋ยในการเกษตรกรรม เพื่อความเชื่อมั่นของเนื้อสุกรที่จะมาถึงมือผู้บริโภค และด้านความปลอดภัยอาหารรวมทั้งตระหนักถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคตจากฟาร์มปศุสัตว์ที่เลี้ยงอย่างหนาแน่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัยประเภท “ทุนพัฒนาอาจารย์รุ่นใหม่” ประจำปีพ.ศ.2550 ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี ในการนี้ใคร่ขอขอบคุณ รศ. น. สพ. กิจจา อุไรรงค์ รศ.ดร. สุธา ขาวเขียว ผศ. น. สพ. ณัฐวดี รัตนวิชัยโรจน์ คุณ รามนรี เนตรวิเชียร และเจ้าของฟาร์มทุกฟาร์มที่อนุเคราะห์ให้เข้าเก็บตัวอย่างในฟาร์มและเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องทั้งจากภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน่วย Central Laboratory คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล และบุคลากรของภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุขศาสตร์และการบริการวินิจฉัย คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยนี้ทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. การควบคุมคุณภาพดิน. ที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html
ข้อมูล ณ. วันที่ 15 ก.ค. พ.ศ. 2552
- กรมควบคุมมลพิษ. มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร. ที่มา
http://www.pcd.go.th/info_serv/water_swine.html#s1 ข้อมูล ณ. วันที่ 15 ก.ค. พ.ศ. 2552
- Abdel-Shafy, H.I. Environmental transformation in bioenergy production using anaerobic digestion. *In*:
Mervyn, R. (editor). Environmental Xenobiotics. Great Britain, Taylor& Francis, 1996, p. 95-119.
- Alloway, B.J., Ayres, D.C., Chemical principles of environmental pollution. 2nd ed. Bungay, Great
Britain, Clays, 1997. pp. 395.
- Bahnson, P.B., Damman, D.J., Isaacson, R.E., Miller, G.Y., Weigel, R.M., Troutt, H.F., 2006.
Prevalence and serova of *Salmonella enterica* isolated from ileocolic lymph nodes of markets pigs reared in
selected Midwest US swine herds. J. of Swine Health and Production, 14, 182-188.
- Baquero, F., Negri, M.C., Morosini, M.I., Blazquez, J., 1998. Antibiotic-selective environments.
Clinical Infectious Diseases 27, S5-S11.
- Berends, B.R., Urlings, H.A.P., Snijders, J.M.A., Van Knapen, F., 1996. Identification and
quantification of risk factors in animal management and transport regarding *Salmonella spp.* in pigs. International
Journal of Food Microbiology, 30, 37-53.
- Boe, J., Alban, L., Bagger, J., Mogelmose, V., Baggesen, D.L., Olsen, J.E., 2005. Survival of
Escherichia coli and *Salmonella* Typhimurium in slurry applied to clay soil on a Danish swine farm. Preventive
Vet. Med. 69, 213-228.
- Brady, N.C., Weil, R.R., (eds). The nature and properties of soils. 12th ed. Upper Saddle River, NJ,
Prentice Hall, 1999.

CAST. Integrated animal waste management. Rep. No. 128. Council of agricultural science and technology, Ames, IA; 1996.

Codina, J.C., Cazorla, F.M., Perez-Garcia, A., Vicente, A., 2000. Heavy metal toxicity and genotoxicity in water and sewage determined by microbiological methods. *Environ. Toxicol. Chem.* 19(6): 1552-1558.

Conway, G.R., Pretty, J.N. (editors). *Unwelcome Harvest*. London, Earthscan Publication Ltd, 1991.

Davies, R.H., Hinton, M. H., 2000. *Salmonella* in Animal Feed. In: *Salmonella* in Domestic Animals. C. Wray and A. Wray (eds). New York, USA, CABI publishing, pp 285-300.

Davies, R.H., McLaren, I.M., Fedford, S., 1999. Observations on the distribution of *Salmonella* in a pig abattoir. *Veterinary Record*, 145, 655-611.

Gassmann, W.P., Bouzaher, A. Livestock pollution: Lesson from European Union. In: Steele, K. (editor). *Animal waste and the land water interface*. Philadelphia: Lewis; 1995. p. 515-21.

Hambidge, K.M., Casey, C.E., Drebs, N.F., In: Mertz, W. (editor). *Zinc in Trace Elements in Human and Animal Nutrition* 5th ed. Orlando (FL), Academic Press, 1986. p. 1-137.

Højberg, O., Canibe, N., Poulsen, H.D., Hedemann, M.S., Jensen, B.B., 2005. Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned piglets. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 2267-2277.

Jongbloed, A.W., Lenis, N.P., 1997. Environmental concern of animal manure. *J. Anim. Sci.* 75: 139.

Katanda, Y., Mushonga, C., Baganayi, F., Nyamangara, J., 2007. Effects of heavy metals contained in soil irrigated with a mixture of sewage sludge and effluent for thirty years on soil microbial biomass and plant growth. *Physicals and Chemistry of the Earth*, 32, 1185-1194.

Kirkham, M.B., 2006. Review: Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors,

hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137, 19-32.

Lee, L.T., Barrett, J.A., Poole, R.K., 2005. Genome-wide transcriptional response of chemostat-cultured *Escherichia coli* to zinc. *J. Bacteriol.* 187(3), 1124-34.

Li, X.L., Yin, J.D., Chen, X.J., Zang, J.J., Zhou, X., 2006. Dietary supplementation with zinc oxide increase IGF-I and IGF-I receptor gene expression in the small intestine of weanling piglets. *J. Nutr.* 136, 1786-1791.

Mavromichalis, I., Peter, C.M., Parr, T.M., Ganessunker, D., Baker, D.H., 2000. Growth promoting efficacy in young pigs of two sources of zinc oxide having either a high or a low bioavailability of zinc. *J. Anim. Sci.* 78, 2896-2902.

Meargeay, M., Nies, D., Schlegel, H.D., Gerits, J., Charles, P., van Gijsegem, F., 1985. *Alcaligenes eutrophus* CH24 is a facultative chemolithotroph with plasmid-borne resistance to heavy metals. *J. Bacteriol.* 162, 328-334.

Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinoza, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C., Rufete, B., 2008. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metal in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, 28, 367-371.

Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvaunya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N., 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. *Agri. Ecosys. Environ.* 112, 41-48.

Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., Unwin, R.J., 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70, 23-31.

Nies, D.H. 1999. Microbial heavy metal resistance. *Appl. Microbiol Biotechnol.* 51, 730-750.

S. Percival, R. Chalmers, M. Embrey, P. Hunter, J. Sellwood, P. Wyn-Jones. (eds). *Microbiology of*

Waterborne Diseases, San Diego, California, USA, Elsevier Academic Press., 2004. pp. 173.

Salormiris, J., Armstrong, J.L., Seidler, R.J., 1984. Association of metal tolerance with multiple antibiotic resistance of bacteria isolated from drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 47 (6), 1238-1242.

Salyer, G.B., Galyean, M. L., Defoor, P.J., Nunnery, G.A., Parsons, C.H., Rivera, J.D., 2004. Effects of copper and zinc source on performance and humoral immune response of newly received, lightweight beef heifers. *J. Anim. Sci.* 82, 2467-2473.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Clean Water Act, Sec. 503, vol. 58, no. 32. Washington, D.C., 1993.

USEPA, SW-846; method 3050B, available at: http://www.epa.gov/sw-846/3_series.htm.

Wadman, W.P., Sluijsman, C.M.J., de la Lande Cremer, L.C.N. Value of animal manure change in the perception. *In: van der Meer, H.G. (editor). Animal Manure on Grassland and Fodder Crops Fertilizer or Waste.* Dordrecht (The Netherlands), Martinus Nijhoff., 1987. p. 1-16.

Webber, M.D., Klok, A., A Review of Current Sludge Use Guideline for the Control of Heavy Metal contamination in Soil. *In: Hermite P.L. and Ott H. (eds). Processing and use of sewage sludge.* Holland, D Reidal, 1984. pp. 371-385.

Wood, C.W., Hattey, J.A., Impacts of long-term manure applications on soil chemical, microbiological, and physical properties. *In: Kenneth, S. (editor). Animal Waste and the Land-Water Interface,* Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc., 1995. pp. 419-428.

ภาคผนวก

ตารางที่ 13 ตารางแสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักที่พบในดิน (Adapted from US EPA, 1993)

Heavy Metal	Maximum concentration in sludge
	(mg/kg or ppm)
Arsenic	75
Cadmium	85
Chromium	3,000
Copper	4,300
Lead	420
Mercury	840
Molybdenum	57
Nickel	75
Selenium	100
Zinc	7,500

ตารางที่ 14 ตารางแสดงระดับของโลหะหนักในดินและในน้ำเสียที่ยอมรับได้ในทางเกษตรกรรม

Heavy metal	Concentration of heavy metal (mg/kg)				
	Soil ^{1/}			Sewage sludge ^{2/}	
	UK	Germany	France	EU	USA
Cadmium	3.5	3.0	2.0	1.0-3.0	20
Chromium	-	-	-	100-150	1500
Copper	140	100	100	50-140	750
Mercury	-	-	-	1.0-1.5	8
Nickel	35	50	50	30-75	210
Lead	550	100	100	50-300	150
Zinc	280	300	300	150-300	1400

(-) ไม่มีรายงาน

แหล่งที่มา ^{1/} (Webber et al., 1984)

^{2/} (Alloway & Ayres, 1997)

ตารางที่ 15 ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและการเกษตร

(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html)

โลหะหนัก

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1.) สารหนู (Arsenic)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 3.9	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	"	ต้องไม่เกิน 37	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
3) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	"	ต้องไม่เกิน 300	ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
4) ตะกั่ว (Lead)	"	ต้องไม่เกิน 400	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
			Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	"	ต้องไม่เกิน 1,800	"
6)ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)	"	ต้องไม่เกิน 23	ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts)	"	ต้องไม่เกิน 1,600	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
8) ซีลีเนียม (Selenium)	"	ต้องไม่เกิน 390	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ตารางที่ 16 ตารางแสดงค่ามาตรฐานการระบายน้ำจากฟาร์มสุกร

(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ http://www.pcd.go.th/info_serv/water_swine.html#s1)

มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำจากฟาร์มสุกร				
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด		
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข	วิธีการตรวจ
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9	pH meter แบบ Electronmetric Titration ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	60	100	Azide Modification หรือ Membrane Electrode
3. ซีโอดี (COD)	มก./ล.	300	400	Potassium Dichromate Digestion แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux
4. สารแขวนลอย (SS)	มก./ล.	150	200	Glass Fiber Filter Disc และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ° - 105 ° C
5. ไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น (TKN)	มก./ล.	120	200	Kjeldahl และตรวจวัดแอมโมเนียด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

- หมายเหตุ** 1. มาตรฐาน ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ก และมาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์ม ประเภท ข และ ค
2. การแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock Unit เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาด และช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่าง โดยมีข้อกำหนดดังนี้

2.1 ประเภทของฟาร์มสุกร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- (1) ประเภท ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว)
- (2) ประเภท ข มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60-600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 500-5,000 ตัว)
- (3) ประเภท ค มีน้ำหนักปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6-น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว)

2.2 หลักเกณฑ์การใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์

เมื่อ น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย เท่ากับน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ เท่ากับ 170 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน เท่ากับ 60 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร เท่ากับ 12 กิโลกรัม

3. การบังคับใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจะเริ่มใช้บังคับกับฟาร์มสุกรประเภท ก (ขนาดใหญ่) และ ประเภท ข (ขนาดกลาง) ก่อน โดยกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษตาม มาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้งแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้งนี้ให้บังคับใช้เมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ค (ขนาดเล็ก) จะยังไม่บังคับใช้มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มดังกล่าว แต่จะใช้เสมือนเป็นมาตรฐานทางวิชาการที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้ฟาร์มสุกร ขนาดเล็กมีการจัดการฟาร์มที่ถูกต้องก่อนที่จะมีการใช้บังคับในระยะต่อไป เนื่องจากฟาร์มประเภท ค มีเป็นจำนวนมากและมีศักยภาพในการลงทุนต่ำ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการประชาสัมพันธ์ สนับสนุนการปรับปรุงวิธีการจัดการฟาร์ม ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ หรือช่วยเหลือในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

4. [ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร](#) และ [ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม](#) ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 8 ง หน้าที่ 11-17 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544 **ยกเลิก** ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรฯ (ก/) และ (ข/) ตามลำดับ

แหล่งที่มา^{iv} [ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร](#) ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศ ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนที่ 125 ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548 ^v [ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม](#) ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนที่ 125 ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548

ภาพแสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง และ
รูปแบบการเลี้ยงดูในฟาร์ม



รูปที่ 15 คอกสุกรอนุบาล



รูปที่ 16 ลักษณะสุกรขุนที่เลี้ยงในฟาร์มที่ทำการศึกษแห่งหนึ่ง



รูปที่ 17 การเลี้ยงสุกรขุนและลักษณะของคอกและการให้น้ำเพื่อระบายความร้อน

ฟาร์มที่ไม่มีระบบ Biogas System



รูปที่ 18 ตำแหน่งเก็บน้ำเสียหน้าคอกอนุบาล



รูปที่ 19 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรวมใหญ่ ในฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system



รูปที่ 20 บ่อน้ำดิบที่ฟาร์มสุกรใช้ ก่อนบำบัดด้วยคลอรีนและจ่ายไปตามท่อในฟาร์ม



รูปที่ 21 ตำแหน่งบ่อน้ำเสียสุดท้ายของอีกฟาร์มหนึ่งที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system



รูปที่ 22 ลานตากมูลสุรตากแห้งลักษณะค้ายดินที่จะขายให้เกษตรกรภายนอก และเป็นตำแหน่งที่เก็บมูลสุกรไป

วิเคราะห์

ฟาร์มสุกรที่มีระบบ Biogas system



รูปที่ 23 สำหรับฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system ภายในฟาร์ม



รูปที่ 24 แสดงการปั้มน้ำเสียจากบ่อชักตะกอนกลับเข้าสู่ระบบบำบัด



รูปที่ 25 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าถังแก๊สสำหรับฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system



รูปที่ 26 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย หลังออกจากถังแก๊ส



รูปที่ 27 ภาพแสดงการผัน Sludge ตำแหน่งสุดท้ายหลังจากออกจากถังแก๊ส เพื่อทำการตากในลานตากมูลสุกร



รูปที่ 28 ลักษณะการตากตะกอนน้ำเสียปนมูลสุกร (Sludge) ในลานกลางแจ้ง



รูปที่ 29 ขวดตัวอย่างที่เก็บจากฟาร์ม แช่เย็นที่ 4 °C และส่งไปตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 30 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่าง Pooled samples ภายในฟาร์มสุกร



รูปที่ 31 แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าถังแก๊ส



รูปที่ 32 แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย หลังผ่านดุงแก๊ส และพร้อมปล่อยน้ำล้นออกภายนอกฟาร์ม