คุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรและลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร

Quality of Groundwater Used in Swine Farm and Swine Wastewater Characteristics

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก[1]

Pantip Klomjek[1]

Received: 29 April 2016 ; Accepted: 2 September 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีความแตกต่างกันด้านจำนวนสุกร ระบบการเลี้ยง และการจัดการของเสีย โดยเปรียบเทียบปริมาณมลสารในน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มแต่ละขนาด น้ำผิวดินจากแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง และน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนของการจัดการน้ำเสีย การศึกษาพบน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มมีค่า TDS และ pH อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสุกร น้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดคอก มีสารอินทรีย์ ของแข็ง และไนโตรเจนปนเปื้อนสูง โดยมีค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ระหว่าง 1,274.4-4,347.8, 2,798.5-8,268.0, 387.5-1,037.5 และ 188.2-1,713.9 mg/L ตามลำดับ โดยมลสารในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างฟาร์มทั้งสองขนาด การศึกษายังพบว่า น้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนของฟาร์มขนาดกลาง มีค่า BOD_5, COD และ TSS ลดลง ขณะที่การกักพักน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดสามารถลดค่าสารอินทรีย์ ของแข็ง รวมถึงค่าไนโตรเจนในน้ำเสียลงได้ โดยน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาด มีค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ระหว่าง 424.8-1,720.1, 1,036.5-3,000.0, 42.5-254.0 และ 39.2-532.0 mg/L ตามลำดับ ซึ่งยังคงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

คำสำคัญ: น้ำเสียฟาร์มสุกร มลสาร คุณภาพน้ำ มาตรฐานน้ำทิ้ง

Abstract

This research investigated the quality of the water supply and the wastewater of small and medium swine farms, which differed in number of pigs, pig production systems and waste management. In this study, concentrations of pollutants in the water supply from groundwater, wastewater of swine farms of each treatment stage and nearby surface water were compared. The results showed TDS and pH values of groundwater used in swine farm were appropriate for pig production. However, the water supply of both farms was contaminated with high organic compounds, solids and nitrogen compounds after pigsty cleaning. BOD_5, COD, TSS and TKN in pigsty cleaning wastewater of both farms were 1,274.4-4,347.8, 2,798.5-8,268.0, 387.5-1,037.5 and 188.2-1,713.9 mg/L, respectively. There were no significant differences between pollutants concentrations in pigsty cleaning wastewater of both farms. When the pigsty cleaning wastewater of medium farms was treated by anaerobic wastewater treatment systems, reduction of BOD_5, COD and TSS in the wastewater was found. Moreover, retention of the wastewaters in storage ponds of both farms could reduce organic compounds, solids and nitrogen compounds in the wastewaters. The BOD_5, COD, TSS and TKN of wastewaters in these storage ponds were 424.8-1,720.1, 1,036.5-3,000.0, 42.5-254.0 and 39.2-532.0 mg/L, respectively which were still higher than those of the effluent standard for pig farm.

Keywords: swine wastewater, pollutants, water quality, effluent standard

---

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 pantipk@nu.ac.th*

[1] *Assist Prof, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Tapho Subdistrict, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand. pantipk@nu.ac.th*

บทนำ

ในปี 2557 เกษตรกรไทยมีการเลี้ยงสุกรมากถึง 191,545 ครัวเรือน เป็นสุกรรวม 9,504,921ตัว[1] ซึ่ง น้ำเสียจากกิจกรรมของฟาร์มสุกรเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญประการหนึ่งของมลพิษน้ำ เนื่องจากมีของเสียประเภทสารอินทรีย์ ของแข็ง และธาตุอาหารปนเปื้อนในปริมาณสูง[2] โดยน้ำเสียฟาร์มสุกรจะมีปริมาณการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปของ BOD และ COD ระหว่าง 1,500-3,000 และ 4,000-7,000 mg/L ตามลำดับ มีการปนเปื้อนของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (TKN) ระหว่าง 2,000-4,800 และ 400-800 mg/L ตามลำดับ และมีค่า pH ระหว่าง 6-8[3] ทั้งนี้ แหล่งที่มาที่สำคัญของมลสารในน้ำเสียฟาร์มสุกร ได้แก่ เศษอาหารที่เหลือตกค้างจากการเลี้ยง และปัสสาวะและมูลของสุกร[3] ซึ่งมลสารเหล่านี้ สามารถส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มักถูกใช้เป็นแหล่งสุดท้ายในการรองรับน้ำเสีย โดยจะส่งผลทั้งต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ และความสามารถในการนำน้ำจากแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นการบำบัดและควบคุมปริมาณการปนเปื้อนมลสารให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 251 ครัวเรือน[1] ถูกกำหนดให้มีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 และมีค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ไม่เกิน 60, 300, 150 และ 120 mg/L ตามลำดับ[3] ขณะที่ น้ำทิ้งจากฟาร์มขนาดกลางหรือเทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 500-5,000 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 2,187 ครัวเรือน[1] และฟาร์มขนาดเล็กหรือเทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 7,128 ครัวเรือน[1] ถูกกำหนดให้มีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 และมีค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ไม่เกิน 100, 400, 200 และ 200 mg/L ตามลำดับ[3] อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงซึ่งเป็นการลดและควบคุมการแพร่กระจายมลพิษที่ปลายทางแล้ว ยังมีการดำเนินการอีกหลายประการ ได้แก่ การปฏิบัติการเลี้ยง การจัดการพื้นที่เลี้ยง และการจัดการของเสียและมูลสุกร ซึ่งเป็นปัจจัยต้นทางที่สำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร[4]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสำรวจคุณภาพของน้ำใช้และน้ำที่ผ่านการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร โดยศึกษาทั้งในฟาร์มขนาดกลางและฟาร์มขนาดเล็กที่มีความแตกต่างกันทั้งด้านของจำนวนสุกร และลักษณะของการจัดการฟาร์ม ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการเกิดของเสีย โดยฟาร์มสุกรขนาดเล็กจะเป็นการเลี้ยงระดับครัวเรือน ขณะที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางจะเป็นการเลี้ยงภายใต้ระบบธุรกิจที่กระบวนการเลี้ยงและการจัดการของเสียของฟาร์มอยู่ภายใต้การดูแลของบริษัทคู่สัญญา

โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ ศึกษาคุณภาพของน้ำใช้และน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสีย ศึกษาเปรียบเทียบค่ามลสารในน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรระหว่างฟาร์มสุกรขนาดเล็กและฟาร์มสุกรขนาดกลาง ค่ามลสารในน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนของการจัดการน้ำเสีย และเปรียบเทียบค่ามลสารในน้ำเสียกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายของมลสารจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

กลุ่มตัวอย่าง แผนการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

กลุ่มตัวอย่างที่ 1 ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดของฟาร์มสุกรต่อคุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกร โดยกำหนดตัวแทนของฟาร์มสุกรขนาดเล็กและฟาร์มสุกรขนาดกลางที่เป็นอิสระต่อกัน ทำการสุ่มขนาดละ 3 ฟาร์ม โดยฟาร์มขนาดเล็กเป็นฟาร์มที่มีการเลี้ยงในระดับครัวเรือน ปริมาณสุกรที่เลี้ยงมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 6 ถึง น้อยกว่า 60 หน่วย หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร 50-น้อยกว่า 500 ตัว[3] เกษตรกรปฏิบัติการเลี้ยงด้วยตัวเอง ส่วนฟาร์มขนาดกลางเป็นฟาร์มที่มีการเลี้ยงในระดับธุรกิจ ปริมาณสุกรที่เลี้ยงมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 60 ถึง ไม่เกิน 600 หน่วย หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร 500-5,000 ตัว[3] เกษตรกรปฏิบัติการเลี้ยงภายใต้คำแนะนำของบริษัทคู่สัญญา นำผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้คุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกรทั้งสองขนาดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 95%

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดการคุณภาพน้ำและการใช้น้ำต่อคุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกร โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างสำหรับฟาร์มขนาดเล็กจำนวน 4 ประเภท ได้แก่ น้ำใช้ น้ำเสียจากการล้างคอก น้ำเสียที่กักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสีย (Storage pond) และน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์ม ซึ่งฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และกำหนดกลุ่มตัวอย่างของฟาร์มสุกรขนาดกลาง จำนวน 5 ประเภท ได้แก่ น้ำใช้ น้ำเสียจากการล้างคอก น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนของฟาร์ม น้ำเสียหลังบำบัดที่กักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสีย และน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์ม ซึ่งฟาร์มสุกรขนาดกลางที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก นำผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้คุณลักษณะของน้ำแต่ละประเภทของฟาร์มสุกรขนาดเดียวกันมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% และวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มแต่ละขนาดกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำใช้ น้ำเสียหลังการบำบัด และน้ำผิวดินด้วยการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง ส่วนตัวอย่างน้ำเสียจากการล้างคอก ทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นขณะทำความสะอาดคอก และตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อเก็บน้ำเสียทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมจาก 5 จุดเก็บตัวอย่างโดยรอบบ่อ ทำการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (TDS) และค่าความนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียจากแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 วิเคราะห์ด้วยวิธี Azide modification ค่าสารอินทรีย์ในรูป COD วิเคราะห์ด้วยวิธี Closed reflux ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) วิเคราะห์ด้วยวิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C และค่าไนโตรเจน ในรูป TKN วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ทั้งนี้ วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและน้ำเสียเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดใน Standard method for the examination of water and wastewater[5]

ผลการศึกษา

คุณภาพน้ำที่ใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรของฟาร์มทั้งสองขนาด เป็นน้ำบาดาลที่เกษตรกรขุดเจาะในบริเวณพื้นที่เลี้ยง โดยจะใช้เป็นทั้งน้ำดื่มของสุกร และน้ำฉีดล้างทำความสะอาดตัวสุกรและพื้นคอก โดยน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรขนาดกลางจะผ่านการเติมคลอรีนเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนใช้ ส่วนในฟาร์มขนาดเล็กไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนใช้ ผลการวิเคราะห์น้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มทั้งสองขนาด พบมีค่า pH ระหว่าง 6.8-8.7 ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ ที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6.5-9.2 และน้ำมีค่า TDS ระหว่าง 256.0-587.0 mg/L ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 600 mg/L ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 นอกจากนั้น ยังพบว่าค่า TDS ของน้ำอยู่ภายใต้ข้อแนะนำสำหรับคุณภาพน้ำสำหรับการผลิตสุกร[6,7] อย่างไรก็ตาม ค่า pH สูงสุดที่พบในน้ำบาดาลมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำสำหรับคุณภาพน้ำสำหรับการผลิตสุกร[6] เล็กน้อย และพบค่า BOD_5 ในน้ำบาดาลมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นเกณฑ์คุณภาพสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยค่า BOD_5, COD, TSS, TDS และ TKN ในน้ำใช้ของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น ค่า pH ซึ่งพบว่าน้ำใช้ของฟาร์มขนาดกลางมีค่าสูงกว่าและค่อนข้างเป็นด่าง (Table 1)

Table 1 Quality of groundwater used in swine farm.

Parameters	Unit	Concentration of pollutants in groundwater[1/]		Groundwater quality standards for drinking purposes[2/]	Water quality guideline for pig production	Surface water quality standard for agriculture[3/]
		Small swine farm	Medium swine farm			
BOD_5	mg/L	5.3±2.7	5.6±3.8	-	-	2.0
COD	mg/L	34.9±14.9	41.7±6.9	-	-	-
TSS	mg/L	42.2±18.9	34.7±17.7	-	-	-
TDS	mg/L	451.0±77.9	339.7±53.0	≤ 600	≤ 1,000[6, 7]	-
TKN	mg/L	4.5±3.5	2.1±0.9	-	-	0.5 (NH_3-N)
pH		7.1±0.3	8.3±0.2	7.0-8.5	6.5-8.5[6]	5.0-9.0

[1/] Mean±SEM and sample size (n) = 3

[2/] Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment: Technical Criterias and Measures to Prevent Public Health and Environment Hazard B.E. 2551 (2008)

[3/] Notification of the National Environmental Board, No. 8, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act B.E. 2535 (1992)

คุณภาพน้ำภายหลังการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

น้ำบาดาลที่ผ่านการใช้ในการฉีดล้างทำความสะอาดสุกรและของเสียบริเวณพื้นคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีคุณภาพลดต่ำลง เนื่องจากมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยมลสารเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากเศษอาหาร ปัสสาวะและมูลสุกรที่ตกค้างอยู่ที่ตัวสัตว์และพื้นคอก ซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายได้ และสารอินทรีย์ทั้งที่ย่อยสลายได้ง่ายและย่อยสลายได้ยากโดยจุลินทรีย์ ผลการตรวจวัดพบมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการล้างคอกมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำเสียจากสถานีตรวจวัดอื่น โดยค่า BOD_5, COD, TSS, TDS, TKN และ pH ของน้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้ น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มขนาดเล็กจะถูกระบายลงสู่บ่อเก็บน้ำเสียโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัด ขณะที่ น้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลางจะถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดของฟาร์ม

น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มขนาดกลางที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดประเภทฟิกซ์โดม (Fixed dome) และระบบคัฟเวอร์ลากูน (Covered lagoon) มีค่าสารอินทรีย์และของแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) โดยพบ BOD_5, COD และ TSS ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าระหว่าง 704.7-1,149.5, 2,000-4,000 และ 220.0-645.0 mg/L ตามลำดับ โดยน้ำเสียหลังบำบัดนี้จะถูกระบายและกักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มต่อไป

น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กมีค่าความเข้มข้นของ BOD_5, TSS และ TKN ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากการล้างคอก (Table 4) ขณะที่น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีค่าความเข้มข้นของมลสารไม่แตกต่างจากน้ำเสียหลังการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสีย (Table 3) และพบว่าค่า BOD_5, COD และ TSS ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กและฟาร์มขนาดกลางมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้เกษตรกรเจ้าของฟาร์มได้มีการนำน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะฟาร์มขนาดกลางซึ่งตั้งอยู่ห่างไกลชุมชนและล้อมรอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรมน้ำเสียจึงถูกนำไปใช้

Table 2 Quality of wastewater of different swine farm and quality of surface water nearby.

Types of sample/ Farm size	Concentration of pollutants in wastewater and surface water[1/]					
	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	TKN (mg/L)	pH
Pigsty cleaning wastewater						
- Small farm	3,223.4±978.4[a]	5,355.5±1,588.9[a]	743.5±190.1[a]	2,011.0±763.6[a]	417.4±147.3[a]	7.5±0.3[a]
- Medium farm	1,924.2±499.7[a]	5,400.0±404.1[a]	902.0±90.2[a]	3,284.3±1,974.8[a]	912.0±403.4[a]	8.6±0.0[a]
Effluent of wastewater treatment system[2/]						
- Small farm	-	-	-	-	-	-
- Medium farm	891.1±133.4	3,300.0±700.0	479.7±131.4	2,981.0±1,723.3	1,150.0±70.9	8.0±0.2
Wastewater in storage pond						
- Small farm	914.9±405.8[a]	2,102.2±573.0[a]	121.0±45.6[a]	743.0±60.9[b]	101.2±32.0[b]	7.1±0.2[b]
- Medium farm	724.6±132.2[a]	2,100.0±416.3[a]	221.3±31.9[a]	4,359.0±638.3[a]	473.3±54.7[a]	8.0±0.2[a]
Surface water in water resource						
- Small farm	5.1±1.5[a]	387.8±279.8[a]	36.2±10.9[a]	163.7±13.7[a]	41.0±21.9[a]	7.5±0.2[a]
- Medium farm	37.4±21.2[a]	157.8±48.1[a]	134.0±56.6[a]	271.7±70.8[a]	13.9±6.4[a]	7.5±0.3[a]

[1/] Mean±SEM and sample size (n) = 3.

[2/] There was no wastewater treatment system in small swine farms.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at $p \geq 0.05$.

Table 3 Quality of wastewater of medium swine farm and quality of surface water nearby.

Parameters (unit)	Concentration of pollutants in wastewater and surface water[1/]			
	Pigsty cleaning wastewater	Effluent of wastewater treatment system[2/]	Wastewater in storage pond	Surface water in water resource
BOD_5 (mg/L)	1,924.2±499.7[a]	891.1±133.4[b]	724.6±132.2[b]	37.4±21.2[b]
COD (mg/L)	5,400.0±404.1[a]	3,300.0±700.0[b]	2,100.0±416.3[b]	157.8±48.1[c]
TSS (mg/L)	902.0±90.2[a]	479.7±131.4[b]	221.3±31.9[bc]	134.0±56.6[c]
TDS (mg/L)	3,284.3±1,974.8[a]	2,981.0±1,723.3[a]	4,359.0±638.3[a]	271.7±70.8[a]
TKN (mg/L)	912.0±403.4[a]	1,150.0±70.9[a]	473.3±54.7[ab]	13.9±6.4[b]
pH	8.6±0.0[a]	8.0±0.2[ab]	8.0±0.2[ab]	7.5±0.3[b]

[1/] Mean±SEM and sample size (n) = 3.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at p≥0.05.

Table 4 Quality of wastewater of small swine farm and quality of surface water nearby.

Parameters (unit)	Concentration of pollutants in wastewater and surface water[1/]		
	Pigsty cleaning wastewater	Wastewater in storage pond	Surface water in water resource
BOD_5 (mg/L)	3,223.4±978.4[a]	914.9±405.8[b]	5.1±1.5[b]
COD (mg/L)	5,355.5±1,588.9[a]	2,102.2±573.0[ab]	387.8±279.8[b]
TSS (mg/L)	743.5±190.1[a]	121.0±45.6[b]	36.2±10.9[b]
TDS (mg/L)	2,011.0±763.6[a]	743.0±60.9[a]	163.7±13.7[a]
TKN (mg/L)	417.4±147.3[a]	101.2±32.0[b]	41.0±21.9[b]
pH	7.5±0.3[a]	7.1±0.2[a]	7.5±0.2[a]

[1/] Mean±SEM and sample size (n) = 3.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at p≥0.05.

ในการรดพืชไร่ประเภทอ้อย ข้าวโพด และถูกสูบใส่ลงในพื้นที่นาก่อนเริ่มเพาะปลูกข้าว ส่วนน้ำเสียจากบ่อเก็บ น้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กถูกใช้ในการรดพืชประเภทมะนาว กล้วย และหญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูกในบริเวณฟาร์ม

ผลการศึกษาพบค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ของน้ำผิวดินในแหล่งน้ำใกล้เคียงพื้นที่ฟาร์ม ยังคงมีค่าต่ำกว่าค่า BOD_5, COD, TSS และ TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาด แม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3-4)

การกักพักน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรแต่ละขนาดเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการจัดการน้ำเสียของฟาร์ม อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรแล้ว พบว่าน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด ยังคงมีค่า BOD_5 และ COD เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรประเภท ข (ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก) ในระดับสูง (Table 5) โดยพบค่า TSS และ TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ขณะที่น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลาง มีค่าความเข้มข้นของ BOD_5, COD, TSS และ TKN เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์ม สุกร ส่วนค่า pH ในน้ำเสียที่ตรวจวัดทั้งหมดมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน

Table 5 Comparison between wastewater characteristics in storage pond and effluent standard for swine farm.

Parameters (Units)	Wastewater in storage pond of small swine farm		Wastewater in storage pond of medium swine farm		Effluent standard for swine farm	
	Range	Average	Range	Average	Standard A[1/]	Standard B[2/]
BOD_5 (mg/L)	424.8-1720.1	914.9	524.7-974.5	724.6	60	100
COD (mg/L)	1,036.5-3,000.0	2,102.2	1,300.0-2,700.0	2,100.0	300	400
TSS (mg/L)	42.5-200.5	121.0	157.5-254.0	221.3	150	200
TKN (mg/L)	39.2-146.2	101.2	364.0-532.0	473.3	120	200
pH	6.7-7.4	7.1	7.7-8.4	8.0	5.5-9.0	5.5-9.0

[1/] Standard for large swine farm (more than 600 livestock unit).

[2/] Standard for medium swine farm (60-600 livestock unit) and small swine farm (6- less than 60 livestock unit).

วิจารณ์และสรุปผล

คุณภาพน้ำที่ใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

เพื่อลดผลกระทบต่อชุมชน ฟาร์มสุกรโดยเฉพาะฟาร์มที่มีการเลี้ยงสุกรจำนวนมาก จึงมักตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลชุมชนซึ่งไม่มีระบบประปาให้บริการ ดังนั้น น้ำบาดาลจึงถูกนำมาใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกรเป็นหลัก นอกเหนือจากเหตุผลประการสำคัญ คือ น้ำบาดาลมีราคาถูกและมีคุณภาพดีเพียงพอต่อการดื่มกินของสุกร และการใช้ทำความสะอาดสุกรและพื้นคอก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำบาดาลจะถูกกรองด้วยชั้น หิน กรวด และทราย ระหว่างการไหลภายใต้ชั้นผิวดิน ดังนั้น น้ำบาดาลในพื้นที่ที่ไม่มีสารธาตุหรือโลหะที่เป็นพิษสะสมอยู่ จึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยจะพบในหลายพื้นที่ของประเทศมีการนำน้ำบาดาลมาใช้ในการผลิตน้ำประปา น้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแข็ง[8] ทั้งนี้ ผลการตรวจวัดค่า pH และ TDS ของน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำเพื่อการผลิตสุกร อย่างไรก็ตาม ในการเลี้ยงระดับธุรกิจที่อยู่ภายใต้การดูแลของบริษัทคู่สัญญา น้ำบาดาลที่ใช้จะถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมคลอรีนน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำภายหลังการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

น้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูงและเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ทั้งนี้พบปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็ง ไนโตรเจน และค่า pH ในน้ำเสียจากการทำความสะอาดสุกรและคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกัน แม้ฟาร์มสุกรขนาดกลางจะมีจำนวนสุกรมากกว่า ซึ่งหมายถึงมีของเสียในปริมาณที่สูงกว่าด้วย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการปฏิบัติการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ในฟาร์มขนาดเล็กนั้น เกษตรกรจะทำการเลี้ยงบนพื้นฐานของความรู้และประสบการณ์ โดยมักเลี้ยงสุกรคละขนาดหรือช่วงอายุ และมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของสุกรในระยะเวลาสั้น ทำให้การจัดการชนิดและปริมาณอาหารสุกรอาจไม่เหมาะสมกับสุกรที่เลี้ยงในแต่ละขณะ จึงอาจเกิดอาหารเหลือหรือเกิดมูลสุกรในปริมาณมาก ในส่วนของการฉีดล้างสุกรและคอกมักไม่มีการเก็บกวาดมูลสุกรและของเสียอื่นๆ ออกก่อน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ซึ่งเกษตรกรระบุว่าไม่มีพื้นที่สำหรับตากมูลจึงไม่ได้เก็บรวบรวมมูลไว้ขายหรือใช้ประโยชน์ จึงทำให้น้ำล้างคอกของฟาร์มขนาดเล็กมีสิ่งปนเปื้อนสูงและมีความเข้มข้นของมลสารไม่แตกต่างจากน้ำล้างคอกของฟาร์มขนาดกลางที่แม้จะไม่มีการเก็บมูลสุกรออกก่อนฉีดล้างเนื่องจากมีระบบบำบัดในการรองรับ แต่จะมีการใช้น้ำปริมาณมากในการฉีดล้างซึ่งจะช่วยลดค่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียลง ซึ่งการเลี้ยงสุกรโดยทั่วไปจะมีอัตราการเกิดน้ำเสียเท่ากับ 10-20 ลิตร/ตัว/วัน[3] โดยเกือบทั้งหมดเป็นน้ำเสียจากการล้างคอก ทั้งนี้ การเลี้ยงสุกรของฟาร์มขนาดกลาง นอกจากจะมีการปฏิบัติการเลี้ยงอย่างเป็นระบบภายใต้การดูแลของนักวิชาการแล้ว การเลี้ยงของฟาร์มขนาดกลางจะเป็นการเลี้ยงหมูขุนที่มีช่วงอายุเดียวกันเป็นหลัก การจัดการชนิดและปริมาณอาหารให้เหมาะสมกับประเภทและจำนวนสุกรที่เลี้ยงจึงทำได้ง่าย ไม่เกิดเศษอาหารเหลือหรือเกิดมูลสุกรจำนวนมากจากการได้รับอาหารมากเกินไป นอกจากนั้น ในฟาร์มขนาดกลางยังมีการสร้างสัวมน้ำไว้ให้สุกรได้ใช้ระบายความร้อนและใช้เป็นพื้นที่ขับถ่าย ทำให้เกษตรกรสามารถกวาดล้างมูลสุกรได้ง่ายขึ้น ไม่เกิดของเสียสะสมบริเวณพื้นคอก

น้ำเสียจากการทำความสะอาดคอกของฟาร์มขนาดกลาง แม้จะมีค่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียไม่แตกต่างจากฟาร์มขนาดเล็ก แต่เนื่องจากมีจำนวนสุกรมากกว่า จึงมีปริมาณของเสียในหน่วยของน้ำหนักสูงกว่าด้วย แต่เนื่องจาก

น้ำเสียจากการล้างคอกได้ถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการระบายลงสู่บ่อเก็บน้ำเสีย จึงทำให้น้ำเสียที่กักพักในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีค่าสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งไม่แตกต่างจากน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็ก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ถูกใช้ในการรองรับน้ำเสียหลังการล้างคอกโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าไนโตรเจนในรูป TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางยังคงมีค่าสูงกว่าน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็ก

ทั้งนี้น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มสุกรขนาดกลางจะถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบฟิกซ์โดม และคัฟเวอร์ลากูน ซึ่งเป็นระบบบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบต่ำ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และของแข็งในน้ำเสีย และให้ประโยชน์ในรูปของก๊าซชีวภาพ[9] ซึ่งเกษตรกรได้นำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบระบายอากาศของฟาร์มสุกรขนาดกลางซึ่งเป็นระบบปิด ขณะที่ ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดถูกนำกลับมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน

การบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลาง ด้วยระบบฟิกซ์โดม และคัฟเวอร์ลากูน ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนี้ ทำให้น้ำเสียมีค่า BOD_5, COD และ TSS ลดลง ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทำให้ของแข็งอินทรีย์ถูกย่อยลดขนาดลง ขณะที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลงและถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่สามารถใช้เป็นพลังงานได้[10, 11] ขณะที่ ค่า TKN ในน้ำเสียหลังบำบัดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างจากน้ำเสียก่อนบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ภายในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนั้น ไนโตรเจนในรูป Org-N จะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ประเภท Fermentative bacteria และ Acetogenic bacteria ไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ที่โมเลกุลมีความซับซ้อนลดลง เช่นการย่อยโปรตีนไปอยู่ในรูปของ Amino acids และ NH_3 ตามลำดับ[12, 13]

น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กเป็นน้ำเสียจากการทำความสะอาดคอก โดยในบ่อเก็บ น้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดจะเกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติคล้ายคลึงกับบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้ พบมีตะกอนลอย (Scum) ที่ผิวน้ำ เนื่องจากการผุดของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักแบบไร้ออกซิเจนบริเวณก้นบ่อ ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนรูป มลสารโดยจุลินทรีย์ ทำให้ค่ามลสารของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียจากการล้างคอก และค่ามลสารของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีค่าต่ำกว่าค่ามลสารของน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดของฟาร์ม ยกเว้นค่า TDS ซึ่งมีค่าสูงขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ ทั้งนี้ นอกจากการลดลงของค่า BOD_5, COD และ TSS แล้ว ยังพบการลดลงของค่า TKN ด้วย ซึ่งนอกจากจะเกิดจากการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์แล้ว การนำแอมโมเนียม (NH^+_4) ไปใช้โดยพืชน้ำ[14] ประเภท จอก แหน ที่พบในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กยังเป็นสาเหตุหนึ่งของการลดลงของ TKN ในบ่อเก็บน้ำเสีย โดยน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียนี้ เกษตรกรได้สูบเข้าสู่พื้นที่เกษตรกรรมเพื่อเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนให้กับพืชและพื้นที่ อย่างไรก็ตาม คุณภาพของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ซึ่งหากไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินจะก่อผลกระทบขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการในการลดปริมาณของเสียและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำ และต้องควบคุมมิให้เกิดการแพร่กระจายของมลสารในน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ผลการตรวจวัดน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์มสุกรพบมีคุณภาพต่ำ โดยพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปของค่า BOD_5 และ COD และมีการปนเปื้อนไนโตรเจนในรูป TKN ในระดับสูง เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 จึงเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์เพียงเพื่อการคมนาคมเท่านั้น การปนเปื้อนมลสารเหล่านี้ คาดว่าเป็นผลจากการชะล้างของเสียและปุ๋ยจากพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณข้างเคียงลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้ การชะล้างของน้ำไหลบ่าหน้าดินบนพื้นที่เกษตรกรรมที่เป็นพื้นที่รองรับน้ำเสียที่ถูกสูบจากบ่อเก็บน้ำเสีย จะทำให้มลสารและธาตุอาหารที่ถูกเติมลงบนพื้นที่ถูกชะลงสู่แหล่งน้ำได้เช่นกัน

จากผลการศึกษา สรุปได้ว่าน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกร มีค่า pH และ TDS เหมาะสมต่อการผลิตสุกร น้ำเสียหรือน้ำบาดาลภายหลังการใช้ในการฉีดล้างทำความสะอาดสุกรและคอก จะมีของเสียจากฟาร์มสุกรทั้งในรูปของสารอินทรีย์ของแข็ง และไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ทั้งนี้ พบว่าการปฏิบัติการเลี้ยงโดยเฉพาะการจัดการด้านอาหาร การจัดการพื้นที่ขับถ่ายมูลของสุกร การจัดการมูลสุกรอย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอก ขณะที่การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังก่อประโยชน์ให้กับเกษตรกรด้วย ทั้งนี้ในฟาร์มขนาดเล็กที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียนั้น เกษตรกรควรใช้ระบบการหมักอย่างง่ายในการลดมลสารในน้ำเสียและจะได้ประโยชน์ในรูปของก๊าซชีวภาพและวัสดุปรับปรุงดินได้เช่นกัน[15] จากการศึกษาพบว่าน้ำเสียในบ่อ

เก็บน้ำเสียซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการน้ำเสีย ยังคงมีค่า มลสารปนเปื้อนเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรและควรต้องทำการควบคุมและจัดการเพิ่มเติม

กิตติประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวกจนการศึกษาวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมปศุสัตว์. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ ในประเทศไทย ปี 2557. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2557
2. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2553
3. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2546
4. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2556
5. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. Washington D.C: American Public Health Association; 1992
6. สมปรียา กองแก้ว, เทิดศักดิ์ ญาโน, ภาณุวัฒน์ แย้มสกุล, ประภาส ภัชนี. ใส่ใจ น้ำ สักนิด เพื่อชีวิตหมูที่ดีกว่า (ตอนที่ 2) [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ท.). [เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ย. 2559]. เข้าถึงจาก: http://www.vet.cmu.ac.th/web/file/big-pig/03.pdf
7. สมโภชน์ ทับเจริญ. คุณภาพน้ำ คุณภาพชีวิต คุณภาพผลผลิต คุณภาพสุกร. วารสารปศุสัตว์เกษตรศาสตร์ 2554; 37(148): 12-8
8. Kruawala K, Sacherb F, Wernerc A, Mqllerc J, Knepperc TP. Chemical water quality in Thailand and its impacts on the drinking water production in Thailand. Sci Total Environ 2005; 340:57-70
9. Moreda IL. The potential of biogas production in Uruguay. Renew Sustain Energy Rev 2016; 54: 1580-91
10. Abbasi T, Tauseef SM, Abbasi SA. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation-an overview. Renew Sust Energ Rev 2012;16:3228-42
11. ฤกษ์ฤทธิ์ เคนหาราช. การผลิตพลังงานจากชีวมวล: การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน; 2548
12. The Japan Institute of Energy. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล[อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ท.). [เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ย. 2559]. เข้าถึงจาก: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf
13. Jules B. van Lier. Biological wastewater treatment: Principles modelling and design. London: IWA Publishing; 2008
14. Zimmo OR, van der Steen NP, Gijzen HJ. Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. Water Research 2004;38:913-20
15. พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก. ลักษณะของน้ำเสียและฟางข้าวในระบบหมักร่วมแบบไร้อากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2558; 34(5): 423-30