การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

Study on Quality of Compost from Co-fermentation of Rice Straw and Swine Wastewater

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก,[1] ปฐมพร น้อยจันทร์ [2]

Pantip Klomjek, [1] Prathomporn Noychun[2]

Received: 22 November 2017; Accepted: 30 April 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวกับน้ำเสียฟาร์มสุกรในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน อิทธิพลของสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียในระบบต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก เพื่อเสนอทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร วางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD ทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวกับน้ำเสียที่แตกต่างกัน คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 และอิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียที่ต่างกัน คือ ทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักฟางข้าวภายหลังการหมัก 3 เดือน พบมีค่าอินทรียวัตถุ (OM) และ C/N ratio ลดลงเมื่อเทียบกับฟางข้าวก่อนหมัก แต่ยังมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ค่า Total N ของปุ๋ยหมักสูงขึ้นและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากระบบหมักได้รับไนโตรเจนจากน้ำเสียซึ่งช่วยลดค่า C/N ratio ลง และสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ดีขึ้น แม้น้ำเสียฟาร์มสุกรจะมีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ แต่พบค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักลดลงและต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากการใช้ของจุลินทรีย์และถูกชะออกไปกับน้ำเสีย สัดส่วนการหมักส่งผลอย่างชัดเจนต่อค่า OM, C/N ratio, EC, Total P, Total K, Cu และ Pb ส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียส่งผลต่อค่า OM, C/N ratio, pH, Total N, Cd และ Cu ของปุ๋ยหมัก ทั้งนี้ การหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้ฟางข้าวปริมาณสูงร่วมกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N ratio ต่ำ มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง และได้ปริมาณปุ๋ยหมักมากขึ้น

คำสำคัญ: ฟางข้าว น้ำเสียฟาร์มสุกร ปุ๋ยอินทรีย์ การหมัก

Abstract

This research investigated quality of compost from co-fermentation of rice straw and swine wastewater in anaerobic digestion system. Influence of fermentation ratio and wastewater feeding interval on the quality of compost were also evaluated to propose option for rice straw and swine wastewater application. 3x3 Factorial in CRD was set up to test influence of fermentation ratio and wastewater feeding interval on the quality of compost. In this study, ratios between rice straw and swine wastewater at 1:20, 1:40 and 1:80 and different wastewater feeding interval at every 2, 3 and 4 weeks on compost quality were tested. After 3 months of fermentation, organic matter (OM) and C/N ratio of rice straw compost were decreasing comparing with raw rice straw. However, OM and C/N ratio of the compost were higher than those of organic fertilizer standard. Total N of the compost was increasing and in criteria of organic fertilizer standard. This was owing to the digestion system received nitrogen from the wastewater which resulted in reduction of C/N ratio and increasing degradation of organic matter. Although swine wastewater contaminated with phosphorus, Total P and Total K of the compost were reducing and lower than those of organic fertilizer standard. This properly

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [2]นิสิตปริญญาโท, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Assist Prof., [2]Master degree student, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand.

[*] Corresponding author; Pantip Klomjek, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand. pantipk@nu.ac.th

due to phosphorus and potassium were utilized by microorganism and leaching of phosphorus and potassium with discharged wastewater. Fermentation ratio significantly affected on OM, C/N ratio, EC, Total P, Total K, Cu and Pb in the compost. Meanwhile, wastewater feeding interval significantly influenced on OM, C/N ratio, pH, Total N, Cd and Cu in the compost. Fermentation with high proportion of rice straw and changing wastewater frequently provided high volume of compost with low C/N ratio and high phosphorus and potassium.

Keywords: rice straw, swine wastewater, organic fertilizer, fermentation

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งนอกจากผลผลิตข้าวเปลือกแล้ว การปลูกข้าวยังก่อให้เกิดเศษวัสดุประเภทฟางข้าวและตอซังข้าวปริมาณ 42.33 ล้านตัน/ปี[1] ที่ต้องการการจัดการอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การจัดการตอซังและฟางข้าวที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรด้วยวิธีการเผา แม้จะเป็นวิธีที่ง่ายแต่จะทำให้พื้นนาบริเวณที่มีการเผาเกิดการสูญเสียธาตุอาหาร[2] สูญเสียน้ำในดิน และเกิดการทำลายจุลินทรีย์และแมลงที่เป็นประโยชน์ในดิน[1]นอกจากนั้น การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรยังก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันและยังเพิ่ม CO_2 ให้กับชั้นบรรยากาศอีกด้วย ทั้งนี้ เกษตรกรบางส่วนได้จัดการเศษวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้โดยการไถกลบลงในที่นา แต่อย่างไรก็ตาม หากเศษวัสดุที่ไถกลบนั้นยังไม่สลายตัวอย่างสมบูรณ์ก่อนการเพาะปลูกในรอบถัดไป อาจทำให้ข้าวเกิดโรคเมาตอซังและก่อผลกระทบต่อเกษตรกรได้ นอกจากนั้น จะพบการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ในรูปของอาหารสัตว์ ใช้คลุมดินเพื่อลดการสูญเสียน้ำ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงการนำไปหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าวนั้น ฟางข้าวจะถูกนำไปหมักร่วมกับวัสดุอื่นเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ เพิ่มปริมาณธาตุอาหารประเภทต่างๆ โดยเฉพาะไนโตรเจนให้กับฟางข้าว[3] และเพิ่มธาตุอาหารให้กับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายฟางข้าว ในการหมักฟางข้าวของ Iranzo et al[4] พบว่าได้ทำการหมักฟางข้าวร่วมกับตะกอนน้ำเสีย โดยใช้ตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกระบวนการหมัก ส่วน Li et al[5] ได้ทำการหมักฟางข้าวกับมูลวัวร่วมกับการเติมออกซิเจน และพบว่ามูลวัวสดส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดได้เร็วขึ้นและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียน้อยกว่าการใช้มูลวัวเก่า ขณะที่ Qian et al[6] ได้ทำการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์เช่นกัน และพบว่าการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลสุกรจะทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุสูงกว่าและทำให้การหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลาที่สั้นกว่าการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลวัวเล็กน้อย จะพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วมูลสัตว์จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมในการหมักปุ๋ยอินทรีย์เนื่องจากมีธาตุอาหารสูงและเกษตรกรสามารถจัดหาได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมูลสัตว์สามารถก่อมูลค่าหรือถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงด้วยวิธีการอย่างง่ายภายในระยะเวลาอันสั้นได้หลายประการ เช่น การตากและขายมูลแห้ง หรือการใช้เติมเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาถึงการใช้น้ำเสียจากการเกษตรในการหมักร่วมกับฟางข้าว

กรมควบคุมมลพิษ[7] ได้ประเมินปริมาณน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประจำปี 2559 ในพื้นที่ 25 ลุ่มน้ำ คิดเป็นปริมาณรวม 284,258.38 m^3/day ซึ่งแม้ฟาร์มสุกรบางแห่งจะมีการบำบัดน้ำเสียแต่พบว่าระบบบำบัดบางส่วนไม่สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนโดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียให้อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการระบายน้ำทิ้งนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ ในขณะที่ฟาร์มสุกรในระดับครัวเรือนจะไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียแต่จะมีบ่อในการกักเก็บน้ำเสียไว้ ซึ่งน้ำเสียฟาร์มสุกรนี้อาจไหลล้นออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก และก่อปัญหาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำเนื่องจากได้รับธาตุอาหารปริมาณมากจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและจะทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้ในที่สุด จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ[8] พบน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ร้อยละ 73 ของฟาร์มที่สำรวจทั้งหมด 401 ฟาร์ม ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยพบน้ำเสียบางส่วนมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN) สูงกว่า 1,000 mg/L และบางส่วนมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) สูงถึง 100 mg/L

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้จากการหมักฟางข้าวร่วมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย คือ ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรและศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว และเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เพื่อนำเสนอแนวทางในการนำของเสียและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทฟางข้าวและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD โดยศึกษาอิทธิพลของสิ่งทดลองแต่ละประเภทและอิทธิพลร่วมของสิ่งทดลองต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรในสภาพไร้ออกซิเจน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักรวม 3 เดือน โดยมีสิ่งทดลองที่ทำการศึกษา 2 ประเภท คือ 1) ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อคุณภาพของ ปุ๋ยหมัก ที่สัดส่วนการหมักของฟางข้าวต่อน้ำเสียโดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน 3 ตำรับ คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 โดยน้ำเสียจะถูกเติมลงสู่ระบบด้วยปริมาตรที่เท่ากันคือ 13.5 L (13,500 g) ส่วนฟางข้าวจะถูกเติมลงสู่ระบบหมักเท่ากับ 675, 337.5 และ 168.75 g ตามลำดับ และ 2) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยศึกษาที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย 3 ระยะ คือ ทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ทั้งนี้ Mussoline[9] ได้แนะนำสัดส่วนการหมักที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวต่อน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อส่งเสริมปฏิกิริยาการหมักและลดระยะเวลาการปรับตัวของระบบ (Acclimation period) ที่สัดส่วนการหมักขั้นต่ำเท่ากับ 1:1.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งการกำหนดสัดส่วนของวัสดุหมักโดยน้ำหนัก จะทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของเกษตรกร

วิเคราะห์อิทธิพลของสิ่งศึกษาแต่ละประเภทและอิทธิพลร่วมของสิ่งทดลองต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวในแต่ละค่าดัชนี วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Two-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)[10] โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ระดับ P <0.05

หน่วยทดลองและการดำเนินระบบ

หน่วยทดลองระบบหมัก (Lab scale) สร้าง จากถังบรรจุน้ำดื่มที่ผลิตจากพลาสติก PET ขนาดความสูง 45 cm กว้าง 27 cm ปริมาตรบรรจุน้ำ 20 L มีฝาเปิดด้านบนและมีก๊อกเปิดน้ำด้านล่าง บรรจุกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-4.0 cm ลงในถังจนสูงเหนือ ช่องทางน้ำออก หรือสูง 10 cm เหนือก้นถัง เพื่อกรองของแข็งขณะระบายน้ำเสียออกจากถัง จากนั้นจึงเติมฟางข้าวลงสู่ระบบตามตำรับการหมักที่กำหนด คือสัดส่วนการหมักของฟางข้าวต่อน้ำเสียที่แตกต่างกัน 3 ตำรับ คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 โดยน้ำหนักระหว่างดำเนินระบบหมัก ฟางข้าวจะถูกหมักร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรในสภาพไร้ออกซิเจนด้วยสัดส่วนการหมักที่ศึกษา และเมื่อถึงระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียที่กำหนด น้ำเสียเดิมที่ถูกหมักอยู่ในระบบจะถูกระบายออก จากนั้นจึงนำน้ำเสียใหม่เติมลงสู่ระบบและทำซ้ำเช่นเดิมในรอบถัดไปจนกระทั่งครบระยะเวลาการหมัก 3 เดือน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายฟางข้าวออกจากระบบ ทั้งนี้ ระบบหมักที่มีรอบการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 6, 4 และ 3 ครั้ง ตามลำดับ การวิจัยนี้มีหน่วยทดลองในการศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัย จำนวน 2 ซ้ำ

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างฟางข้าวก่อนหมัก และปุ๋ยหมักฟางข้าวภายหลังการหมักเป็นเวลา 3 เดือน จากทุกหน่วยทดลอง ทำการตรวจวัดค่าความชื้น, OM, pH, C/N ratio, Total N, Total P และ Total K ของฟางข้าวก่อนหมัก และตรวจวัดคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวด้วยดัชนีที่กำหนดสำหรับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดในคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร[11] โดยวิเคราะห์ค่าความชื้น ด้วยวิธี Oven drying method ด้วยการอบปุ๋ยที่อุณหภูมิ 75 °C จนน้ำหนักคงที่ วิเคราะห์ค่า OM, OC และ C/N ratio ด้วยการย่อยปุ๋ยที่อบแห้งแล้วด้วยกรด H_2SO_4 แล้วออกซิไดซ์อินทรียคาร์บอนด้วยกรดโครมิกที่มากเกินพอ จากนั้นไทเทรตกรดโครมิกที่เหลือด้วยสารละลาย เฟอร์รัสซัลเฟต แล้วคำนวณหา % OC, % OM และ C/N ratio ตรวจวัดค่า pH ของสารละลายปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ 1:2 ด้วย pH meter วิเคราะห์ค่า Total N ด้วย Kjeldahl method โดยย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วย H_2SO_4 และ Salicylic acid และใช้ Potassium sulfate และ Copper sulfate ในการเร่งปฏิกิริยา ทำให้เป็นด่างด้วย Sodium hydroxide แล้วจึงกลั่นและดักจับในรูปของแอมโมเนียด้วย Boric acid จากนั้นจึงไทเทรตด้วย 0.2 N HCl วิเคราะห์ค่า Total P ด้วยวิธี Spectrophotometric molybdovanadophosphate โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม HNO_3:$HClO_4$ สัดส่วน 1:1 จากนั้นทำให้เกิดสีด้วย Molybdovanadate reagent แล้วจึงวิเคราะห์ด้วย Spectrophotometer วิเคราะห์ค่า Total K ด้วย Flame photometric method โดยการย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสม HNO_3:$HClO_4$ สัดส่วน 1:1 เติมสารละลาย Suppressor ลงในสารละลายตัวอย่างแล้วจึงนำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าด้วย Flame photometer ทำการวิเคราะห์ค่าโลหะหนัก Cd, Cu, Pb และ Cr ของปุ๋ยด้วยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม HCl 15 ml และ HNO_3 5 ml นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดค่าด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer[12]

เก็บตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เติมลงสู่ระบบหมักจากทุกรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย ทำการวิเคราะห์ค่า pH, EC, ค่าของแข็งในรูป TDS และ TSS, ค่าสารอินทรีย์ ในรูป BOD_5 และ COD, ค่าไนโตรเจน ในรูป TKN และค่าฟอสฟอรัสในรูป PO_4^{3-} ทั้งนี้วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดใน Standard method for the examination of water and wastewater[13]

ผลการศึกษา

คุณลักษณะฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในระบบหมักร่วม

ฟางข้าวที่ใช้ในการหมักเป็นฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวที่อัดก้อนรอการจำหน่าย ผลการตรวจวัดพบฟางข้าวมีค่าความชื้น, OM, Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 5.0, 253.7, 1.14, 0.11 และ 0.89 % ตามลำดับ และมีค่า C/N ratio เท่ากับ 131.1:1

น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในการหมักเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดตัวสุกรและการล้างคอกของฟาร์มในระดับครัวเรือนที่ถูกกักพักไว้ในบ่อรวมน้ำเสียโดยไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียมีค่า BOD_5, COD, TSS, TDS, TKN, PO_4^{3-} และ pH ระหว่าง 183-1,724, 250-2,333, 181.0-260.0, 875.0-1,855.0, 87.6-131.5, 50.3-98.2 mg/L และ 7.4-7.7 ตามลำดับ

คุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

ความชื้น, OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cd, Cr, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมักฟางข้าวทั้งหมดมีค่าระหว่าง 60.9-75.1 %, 169.3-435.9 %, 5.3-6.8, 0.15-1.12 dS/m, 47.7:1-239.6:1, 1.03-2.22 %, 0.02-0.08 %, 0.10-0.27 %, 0.0-2.0 mg/kg, 8.0-70.0 mg/kg, 16.5-170.5 mg/kg และ 0.0-45.0 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวก่อนหมัก พบว่าปุ๋ยหมักมีค่าความชื้น และ Total N สูงขึ้น ขณะที่มีค่า OM, C/N ratio, Total P และ Total K ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 พบว่า ปุ๋ยหมักจากทุกตำรับการหมัก มีค่า OM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือไม่น้อยกว่า 30 % โดยน้ำหนัก แม้จะพบปุ๋ยหมักจากระบบที่มีสัดส่วนการหมักเท่ากับ 1:20 และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียทุก 4 สัปดาห์ มีค่า pH ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ค่า pH ของปุ๋ยหมักจากตำรับการหมักที่เหลือทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีค่าระหว่าง 5.5-8.5 ค่า EC ของปุ๋ยหมักมีค่าต่ำกว่า 6 dS/m ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะเกณฑ์มาตรฐานสำหรับปุ๋ยหมักที่มีมูลสัตว์ผสมอยู่ และค่า EC ของปุ๋ยหมักยังมีค่าต่ำกว่า 3.5 dS/m ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดสำหรับปุ๋ยหมักทั่วไป[12] ปริมาณธาตุอาหาร Total N ของปุ๋ยหมักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.0 % (Table 1) และมีค่าการปนเปื้อน Cd, Cr, Cu และ Pb อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน 5, 300, 500 และ 500 mg/kg ตามลำดับ (Figure 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าปุ๋ยหมักจากทุกตำรับการหมักมีค่าความชื้นสูงเกิน 35 % และมีค่า C/N ratio สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20:1 ขณะที่ค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 0.5 % (Table 1)

อิทธิพลของสัดส่วนการหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมัก โดยค่า OM, C/N ratio และค่า Pb ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยตำรับที่มีสัดส่วนของฟางข้าวน้อยลง ขณะที่ค่า EC, Total P, Total K และ ค่า Cu ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยตำรับที่มีสัดส่วนของฟางข้าวมากขึ้น ทั้งนี้สัดส่วนการหมักไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความชื้น, Cd และค่า Cr ของปุ๋ยหมัก (Table 1 และ 2 และ Figure 1)

อิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนถ่าย น้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความชื้น, OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cd, Cr และค่า Cu ของปุ๋ยหมัก โดยค่า OM, C/N ratio, Total K และ Cd ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่มีระยะเวลายาวนานขึ้นหรือมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียลดลง ขณะที่ค่า pH, Total N และ Cu ของปุ๋ยหมักมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่มีระยะเวลาสั้นลงหรือมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียเพิ่มขึ้น (Table 1 และ 2 และ Figure 1) ทั้งนี้ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า Pb ของปุ๋ยหมัก

Table 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality

Parameters, unit	Co-fermentation ratio of rice straw and swine wastewater (Ratio)[1/]			
- Wastewater feeding interval (FI)	1:20 (675 g: 13,500 mL)	1:40 (337.5 g: 13,500 mL)	1:80 (168.75 g: 13,500 mL)	
OM, %				
(Organic fertilizer standard ≤ 30 % by weight)[2/]				Mean**
- every 2 wk	172.18c	182.49c	174.62c	176.42B
- every 3 wk	175.45c	180.39c	177.50c	177.78B
- every 4 wk	183.03c	209.98b	430.25a	274.42A
Mean**	176.89C	190.95B	260.79A	
Ratio X FI				**
Moisture, %				Mean*
(Organic fertilizer standard ≤ 35 %)[2/]				
- every 2 wk	66.47	62.98	65.72	65.05B
- every 3 wk	70.39	72.24	71.93	71.52A
- every 4 wk	68.19	64.05	69.32	67.18AB
Mean	68.35	66.42	68.99	
Ratio X FI				ns
pH				Mean**
(Organic fertilizer standard = 5.5-8.5)[2/]				
- every 2 wk	6.60a	6.70a	6.40a	6.56A
- every 3 wk	6.63a	6.76a	6.41a	6.60A
- every 4 wk	5.60b	6.27a	6.53a	6.12B
Mean*	6.27B	6.57A	6.44AB	
Ratio X FI				**
EC, dS/m				Mean**
(Organic fertilizer standard ≤ 6 dS/m)[2/]				
- every 2 wk	0.44c	0.22f	0.25ef	0.31B
- every 3 wk	0.33d	0.15g	0.28e	0.26C
- every 4 wk	1.11a	0.85b	0.26e	0.74A
Mean**	0.63A	0.41B	0.27C	
Ratio X FI				**
C/N ratio				Mean**
(Organic fertilizer standard ≤ 20:1)[2/]				
- every 2 wk	58.54cd	49.98d	50.21d	52.91C
- every 3 wk	64.95bc	56.38cd	64.76bc	62.03B
- every 4 wk	73.52b	70.54bc	234.73a	126.26A
Mean**	65.67B	58.96B	116.57A	
Ratio X FI				**

[1/] Means were shown.

[2/] Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995)

* Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$.

** Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.01$.

Table 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

Parameters, unit - Wastewater feeding interval (FI)	Co-fermentation ratio of rice straw and swine wastewater (Ratio)[1/] 1:20 (675 g: 13,500 mL)	 1:40 (337.5 g: 13,500 mL)	 1:80 (168.75 g: 13,500 mL)	
Total N, % (Organic fertilizer standard ≥ 1.0 % by weight)[2/]				Mean**
- every 2 wk	1.71bc	2.13a	2.03a	1.95A
- every 3 wk	1.58bc	1.86ab	1.59bc	1.68B
- every 4 wk	1.45c	1.73bc	1.07d	1.41C
Mean**	1.58B	1.90A	1.56B	
Ratio X FI				**
Total P_2O_5, % (Organic fertilizer standard ≥ 0.5 % by weight)[2/]				Mean**
- every 2 wk	0.077a	0.038c	0.032c	0.049A
- every 3 wk	0.055b	0.030c	0.029c	0.038B
- every 4 wk	0.055b	0.057b	0.028c	0.047AB
Mean**	0.062A	0.042B	0.030C	
Ratio X FI				**
Total K_2O, % (Organic fertilizer standard ≥ 0.5 % by weight)[2/]				Mean*
- every 2 wk	0.26a	0.12c	0.16bc	0.18AB
- every 3 wk	0.15bc	0.15bc	0.15bc	0.15B
- every 4 wk	0.24ab	0.20abc	0.15bc	0.19A
Mean**	0.22A	0.16B	0.15B	
Ratio X FI				**

[1/] Means were shown.

[2/] Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995)

* Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$.

** Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.01$.

Table 2 Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality

Parameters of compost quality	Source	SS	df	MS	F	p
OM	Co-fermentation ratio (Ratio)	24229.60	2	12114.80	254.27	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	37886.30	2	18943.15	397.58	.000
	Ratio*FI	49488.24	4	12372.06	259.67	.000
	Error	428.81	9	47.65		
Moisture	Co-fermentation ratio (Ratio)	21.37	2	10.68	.773	.490
	Wastewater feeding interval (FI)	130.31	2	65.15	4.71	.040
	Ratio*FI	26.78	4	6.69	.484	.747
	Error	124.42	9	13.82		

Table 2 Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

Parameters of compost quality	Source	SS	df	MS	F	p
pH	Co-fermentation ratio (Ratio)	.272	2	.136	4.59	.042
	Wastewater feeding interval (FI)	.814	2	.407	13.74	.002
	Ratio*FI	.863	4	.216	7.28	.007
	Error	.267	9	.030		
EC	Co-fermentation ratio (Ratio)	.401	2	.201	1786.91	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	.852	2	.426	3793.98	.000
	Ratio*FI	.458	4	.114	1019.41	.000
	Error	.001	9	.000		
C/N ratio	Co-fermentation ratio (Ratio)	11907.35	2	5953.67	348.73	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	19179.61	2	9589.81	561.71	.000
	Ratio*FI	23589.54	4	5897.38	345.43	.000
	Error	153.65	9	17.07		
Total N	Co-fermentation ratio (Ratio)	.446	2	.223	32.88	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	.875	2	.437	64.55	.000
	Ratio*FI	.283	4	.071	10.42	.002
	Error	.061	9	.007		
Total P_2O_5	Co-fermentation ratio (Ratio)	.003	2	.002	68.76	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	.000	2	.000	8.03	.010
	Ratio*FI	.001	4	.000	10.71	.002
	Error	.000	9	.00002		
Total K_2O	Co-fermentation ratio (Ratio)	.041	18			
	Wastewater feeding interval (FI)	.006	2	.003	4.525	.044
	Ratio*FI	.013	4	.003	4.975	.022
	Error	.006	9	.001		
Cd	Co-fermentation ratio (Ratio)	.250	2	.125	.750	.500
	Wastewater feeding interval (FI)	7.58	2	3.79	22.75	.000
	Ratio*FI	.167	4	.042	.250	.903
	Error	1.500	9	.167		
Cr	Co-fermentation ratio (Ratio)	214.33	2	107.17	1.14	.364
	Wastewater feeding interval (FI)	1344.33	2	672.17	7.12	.014
	Ratio*FI	666.83	4	166.71	1.77	.220
	Error	850.00	9	94.44		
Cu	Co-fermentation ratio (Ratio)	30287.69	2	15143.85	428.10	.000
	Wastewater feeding interval (FI)	10256.69	2	5128.35	144.97	.000
	Ratio*FI	544.31	4	136.08	3.85	.043
	Error	318.38	9	35.38		

Table 2 Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

Parameters of compost quality	Source	SS	df	MS	F	p
Pb	Co-fermentation ratio (Ratio)	570.11	2	285.06	4.93	.036
	Wastewater feeding interval (FI)	357.44	2	178.72	3.09	.095
	Ratio*FI	548.22	4	137.06	2.37	.130
	Error	520.50	9	57.83		

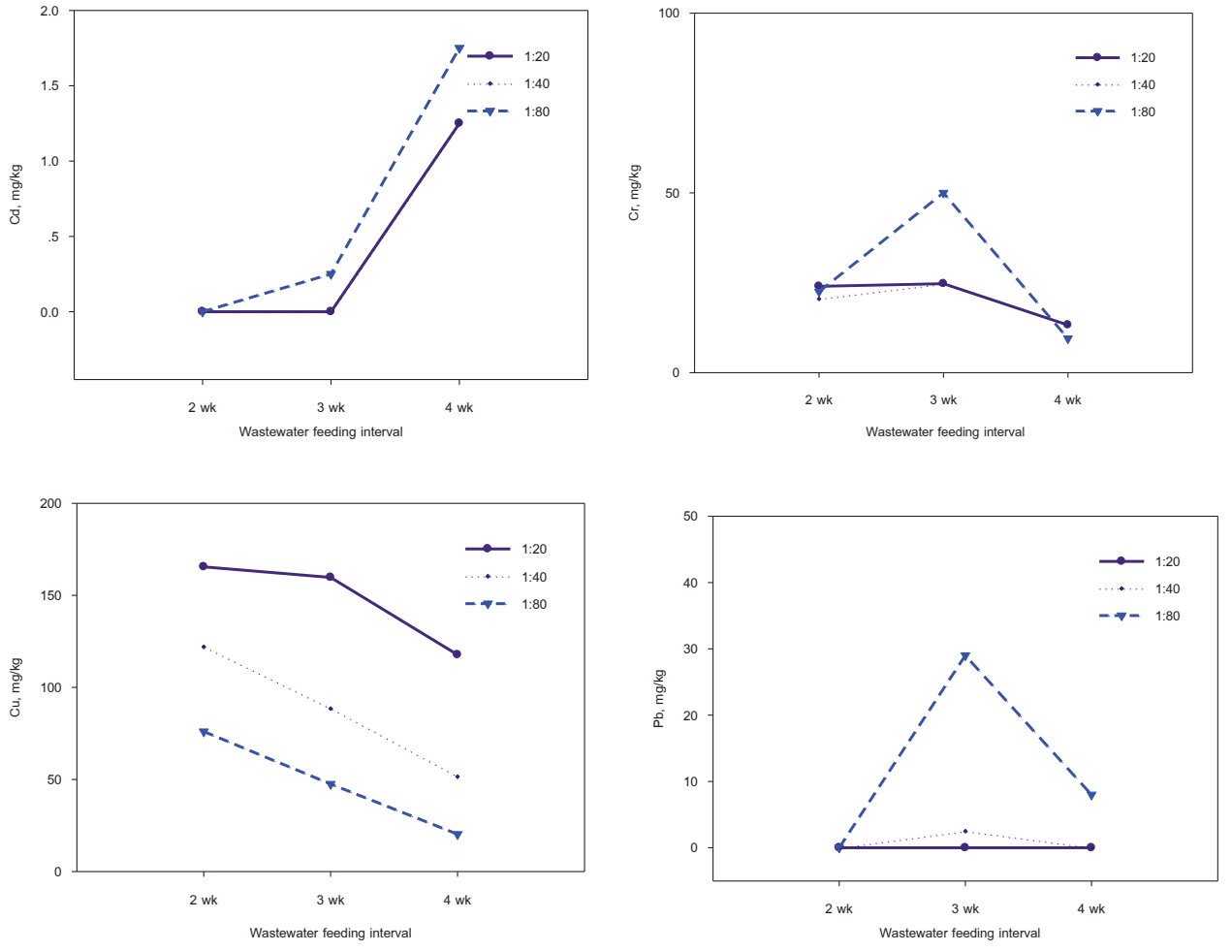

Figure 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on heavy metals in rice straw compost Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995), ≤ 5 mg/kg for Cd, ≤ 300 mg/kg for Cr, ≤ 500 mg/kg for Cu and Pb.

อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K และค่า Cu ของปุ๋ยหมัก (Table 1 และ 2 และ Figure 1) โดยค่า OM และC/N ratio ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวน้อย (สัดส่วน 1:80) และมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่ำ (ทุก 4 สัปดาห์) ค่า EC ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวมาก (สัดส่วน 1:20) และมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่ำ ค่า Total N ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวน้อยและมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่สูง (ทุก 2 สัปดาห์) ขณะที่ ค่า Total P, Total K และค่า Cu ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวมากและมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสูง

วิจารณ์และสรุปผล

ลักษณะของฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในระบบหมักร่วม

ฟางข้าวที่ใช้ในการหมักมีค่าอินทรียวัตถุสูง และมีค่า C/N ratio สูงกว่า 99:1 ซึ่งเป็นค่า C/N ratio เฉลี่ยของฟางข้าวที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน[14] บ่งชี้ว่าฟางข้าวก่อนหมักมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ธาตุอาหารหลักไนโตรเจนของฟางข้าวมีค่าสูงกว่าร้อยละ 0.55 ที่กรมส่งเสริมการเกษตร[15] ตรวจพบในฟางข้าวทั่วไป ขณะที่ฟางข้าวมีค่า Total P ใกล้เคียง 0.09 % และมีค่า Total K ต่ำกว่า 2.39 % ที่กรมส่งเสริมการเกษตร[15] ตรวจพบ ทั้งนี้ค่า Total N และ Total K ของฟางข้าวที่ใช้ในการหมักมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ผลการตรวจวัดบ่งชี้ว่าฟางข้าวเป็นอินทรียวัตถุที่มีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นการเผาหรือเก็บเกี่ยวฟางข้าวออกจะทำให้พื้นที่สูญเสียธาตุอาหารเหล่านี้ไป โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเผาหรือ นำฟางข้าวออกอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความร่วนซุยและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มอินทรียวัตถุและปุ๋ยให้กับดินซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกร

การไถกลบฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการหนึ่งในการเติมอินทรียวัตถุและธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน แต่เนื่องจากฟางข้าวเป็นสารอินทรีย์ประเภท ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์[16] ที่มีลักษณะพันซ้อนกันเป็นร่างแหสลับกันแน่น ประกอบกับฟางข้าวมีค่า C/N ratio ที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการย่อยสลาย อีกทั้งขณะที่เกิดการย่อยสลายของฟางข้าวจะเกิดการลดลงของออกซิเจนในดิน[17] เกิดการลดลงของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากการใช้ของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายฟางข้าว นอกจากนั้น กระบวนการย่อยสลายยังทำให้เกิดความร้อนและเกิดกรดอินทรีย์[15] ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ทำให้เกษตรกรต้องพักการใช้งานพื้นที่ภายหลังการไถกลบเพื่อให้ฟางข้าวได้เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ก่อนทำการเพาะปลูกในรอบถัดไป จากเหตุผลดังกล่าวรวมถึงความไม่สะดวกและมีต้นทุนในการไถกลบ จึงทำให้การจัดการฟางข้าวและตอซังด้วยวิธีไถกลบจึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ทั้งนี้ เกษตรกรสามารถใช้วิธีการอื่นในการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การอัดเป็นก้อนขาย หรือการขายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวล แต่เนื่องจากฟางข้าวมีค่าความร้อนต่ำจึงต้องใช้ในปริมาณมาก ในขณะที่ฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นต่ำทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการจัดเก็บและการขนส่งซึ่งอาจไม่คุ้มทุน[18,19] ดังนั้นเกษตรกรบางส่วนจึงจัดการฟางข้าวและตอซังด้วยการเผาซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก และเป็นการใช้ไฟในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในพื้นที่ไปพร้อมๆ กัน[2] อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันและลดผลกระทบจากการเผาฟางต่อทรัพยากรดินและคุณภาพสิ่งแวดล้อม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้เสนอแนวทางในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าว โดย กรมพัฒนาที่ดิน[20] ได้เสนอแนวทางในการไถกลบตอซังข้าวโดยการเติมปุ๋ยน้ำอินทรีย์ร่วมกับการไถกลบ รวมถึงเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ฟางข้าวในรูปของวัสดุคลุมดิน และการทำปุ๋ยหมักโดยการเติมสารเร่งเพื่อเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุทางการเกษตรในกระบวนการหมัก เป็นต้น

น้ำเสียที่ใช้ในการหมักเป็นน้ำเสียจากบ่อรวม น้ำเสียของฟาร์มสุกรที่ทำการเลี้ยงสุกรในระดับครัวเรือน น้ำเสียมีค่า BOD_5, COD และ TSS เฉลี่ยสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก[21] ขณะที่มีค่าไนโตรเจนในรูป TKN ต่ำกว่า 200 mg/l ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร[21] ทั้งนี้ แม้น้ำเสียจะไม่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตาม การกักพักน้ำเสียไว้ในบ่อรวมน้ำเสียจะทำให้เกิดการบำบัดด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ โดยอนุภาคสารอินทรีย์รวมถึงสารอินทรียไนโตรเจน (Particulate organic nitrogen) จะเกิดการตกตะกอนออกจากน้ำลงสู่พื้นบ่อ และแม้การระเหยไปในรูปของแอมโมเนีย

ไนโตรเจนจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากค่า pH ของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่า 9 แต่อย่างไรก็ตาม NH_4-N ในน้ำเสียบางส่วนจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในบ่อรวมน้ำ ซึ่งกระบวนที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะช่วยลดค่า TKN ซึ่งบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนอินทรียไนโตรเจน (ON) และ NH_4^+ ในน้ำเสีย ทั้งนี้พบว่าน้ำเสียมีฟอสฟอรัสปนเปื้อนสูง ซึ่งสอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ[8] ที่ตรวจพบค่า TP ในน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กมากกว่าร้อยละ 10 ของฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่สำรวจรวมทั้งสิ้น 106 ฟาร์ม มีค่า TP สูงมากกว่า 50 mg/L โดยรวมแล้วจะพบว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีสารอินทรีย์และธาตุอาหารหลักที่สำคัญเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการนำน้ำเสียนี้ไปใช้ในการหมักร่วมกับฟางข้าวจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารรวมถึงจุลินทรีย์ให้กับระบบหมักด้วย คุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากระบบหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

เมื่อผ่านกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากทุกตำรับการหมักมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากระหว่างการหมัก ฟางข้าวมีการสัมผัสกับน้ำเสียอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งกระบวนการหมักยังทำให้โครงสร้างแข็งของฟางข้าวเกิดการย่อยสลายและทำให้ดูดซับความชื้นได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความชื้นของปุ๋ยหมักมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลต่อการชะล้างธาตุอาหารพืชบางชนิด และส่งผลทำให้อัตราการย่อยสลายลดลงในกรณีที่ปุ๋ยหมักยังมีการหมักที่ไม่สมบูรณ์[22]

ปุ๋ยหมักมีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยแต่ยังคงมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบหมักจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กในรูปของกรดอินทรีย์ซึ่งจะทำให้ค่า pH ของปุ๋ยหมักมีค่าลดลง ขณะที่การย่อยสลายอินทรียไนโตรเจนเช่นโปรตีนไปเป็น อนินทรียไนโตรเจน จะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากเป็นการย่อยในสภาพไร้ออกซิเจนการย่อยสลายเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจึงเกิดขึ้นได้จำกัด ดังนั้นจึงพบค่า pH ของปุ๋ยหมักมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย

การหมักในสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียและสารอินทรีย์ในฟางข้าวเกิดการย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อนที่บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ ขณะที่สารประกอบคาร์บอนบางส่วนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ CO_2 และ CH_4 ที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้[18] จึงทำให้ C/N ratio ของปุ๋ยหมักมีค่าลดลงและมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้มากขึ้น ทั้งนี้ สารอินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายก่อนสารอินทรีย์กลุ่มที่มีโครงสร้างซับซ้อนย่อยสลายได้ยากเช่นกลุ่มลิกโนเซลลูโลสในฟางข้าว[19] ที่มีค่า C/N ratio สูงด้วย การย่อยสลายภายในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนนี้เกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ซึ่งระบบหมักได้รับเพิ่มเติมจากน้ำเสียฟาร์มสุกร นอกจากนั้นน้ำเสียฟาร์มสุกรยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่สำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ขณะที่ฟางข้าวจะเป็นแหล่งของธาตุโพแทสเซียมซึ่งมีน้อยในน้ำเสียให้กับจุลินทรีย์ ดังนั้นภายหลังการหมักจึงพบปุ๋ยหมักมีค่า OM ลดลงเมื่อเทียบกับฟางข้าว แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เช่นเดียวกับค่า C/N ratio ทั้งนี้คาดว่าการเพิ่มไนโตรเจนให้กับระบบ เช่น การเติมมูลสัตว์สดลงในระบบจะช่วยให้เกิดการย่อยสลายดีขึ้น และช่วยลดค่า OM และ C/N ratio ของ ปุ๋ยหมักลงได้

แม้ไนโตรเจนในฟางข้าวและไนโตรเจนใน น้ำเสียบางส่วนจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในระบบ แต่จะพบค่า Total N ของปุ๋ยภายหลังการหมักมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการดูดซับไนโตรเจนที่ปนมากับน้ำเสียของปุ๋ยหมัก โดยค่า Total N ของปุ๋ยหมักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้การลดลงของอินทรียคาร์บอนจากการย่อยสลายเปลี่ยนรูปในกระบวนการหมักและการเพิ่มขึ้นของค่าไนโตรเจนที่ได้รับเพิ่มเติมจากน้ำเสีย ทำให้ค่า C/N ratio ลดลง ส่งผลดีต่อการย่อยสลายและทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีขึ้น

ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากระบบหมัก มีค่า Total P และ Total K ลดต่ำลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากการหมักทำให้ฟางข้าวเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมออกมา ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ทั้งที่ปนมากับน้ำเสียและที่ปลดปล่อยออกมาจากฟางข้าวจะถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ในระบบหมัก และบางส่วนจะถูกชะออกไปกับน้ำเสีย ค่า EC รวมถึงค่าการปนเปื้อนโลหะหนัก Cd, Cr, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมักฟางข้าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากเป็นการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ไม่มีโลหะหนักหรือมลสารที่มีฤทธิ์ทางเคมีรุนแรงปริมาณมากปนเปื้อนอยู่

อิทธิพลของสัดส่วนการหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณน้ำเสียสูงจะทำให้ปุ๋ยหมักมีค่า OM, C/N ratio และ Pb เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียฟาร์มสุกรมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของของเสียจากตัวสุกรและเศษอาหารของสุกรปะปนอยู่ ขณะที่ อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรทั้งอาหารสำเร็จและวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่นๆ อาจมี โลหะหนักบางประเภทปะปนอยู่จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ดังนั้นการหมักด้วยสัดส่วน

ที่ใช้น้ำเสียปริมาณมาก จึงทำให้ปุ๋ยหมักมีค่าอินทรียวัตถุ และ Pb เพิ่มขึ้นและสูงกว่าการหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้น้ำเสียน้อย ในขณะที่ สัดส่วนการหมักที่ใช้น้ำเสียน้อยจะทำให้ ปุ๋ยหมักมีค่า Total P, Total K และ Cu เพิ่มสูงขึ้น และสอดคล้องกับค่า EC ของปุ๋ยหมักที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีธาตุอาหารซึ่งรวมถึงฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่พบได้น้อยในน้ำเสียเป็นองค์ประกอบ ซึ่งภายในระบบหมักนี้ ธาตุอาหารบางส่วนจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์และบางส่วนจะถูกชะไปขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย ดังนั้น ปุ๋ยหมักจากระบบที่หมักด้วยสัดส่วนฟางข้าวที่สูงจึงมีโอกาสพบธาตุอาหารที่พบได้น้อยในน้ำเสียเหลืออยู่ในปุ๋ยหมักด้วยความเข้มข้นที่สูงกว่า

อิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าปุ๋ยหมักจากระบบที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสั้นหรือมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อย จะมีค่า Total N และ Cu สูงขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ ปุ๋ยหมักจากระบบที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่าย น้ำเสียต่ำ จะมีค่า OM, C/N ratio และค่า Cd สูงขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบหมักได้รับเชื้อจุลินทรีย์ และธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียเพิ่มอยู่เป็นระยะ ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า OM และ C/N ratio ของปุ๋ยหมักจากระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยซึ่งพบว่ามีค่าที่ต่ำกว่า

อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

การหมักร่วมด้วยสัดส่วนการหมักที่มีฟางข้าวน้อยและมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่ำ จะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า OM และค่า C/N ratio สูง ขณะที่การหมักร่วมด้วยสัดส่วนการหมักที่มีฟางข้าวมากและมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสูงจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า Total P, Total K และ Cu สูง ทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลร่วมของปริมาณสารอินทรีย์ ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ที่ระบบหมักได้รับจากฟางข้าวและน้ำเสียที่ถูกเติมลงในระบบ ทั้งนี้แม้การเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบได้สารอินทรีย์เพิ่มขึ้นด้วยแต่จะเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าลิกโนเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของฟางข้าว ในขณะที่การเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบหมักได้รับจุลินทรีย์และธาตุอาหารเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามธาตุอาหารบางส่วนอาจเกิดการสูญเสียไปขณะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียจึงทำให้พบ ค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักมีต่ำกว่าที่พบในฟางข้าวก่อนหมัก

โดยสรุปแล้วพบว่าการหมักร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรจะทำให้ฟางข้าวกลายเป็นปุ๋ยหมักฟางข้าวที่มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เกษตรกรควรตากปุ๋ยหมักฟางข้าวเพื่อลดความชื้นของปุ๋ยหมักลงก่อนการนำไปใช้และไม่ควรใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง และเนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำ จึงควรเพิ่มเติมธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้กับพืชด้วยวิธีการอื่นนอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่า C/N ratio สูง ซึ่งจะสลายตัวช้า จึงควรใช้กับไม้ผลไม้ยืนต้นโดยใช้คลุมดินบริเวณโดยรอบต้นที่โตแล้ว[12] ทั้งนี้ผลการศึกษาบ่งชี้ถึงอิทธิพลของสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ว่าการหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้ฟางข้าวปริมาณมากจะช่วยให้ปุ๋ยหมักมีค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงขึ้น ส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับปุ๋ยหมัก และทำให้สารอินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น ขณะที่การหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่ใช้ฟางข้าวปริมาณสูงและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N ratio ต่ำ และมีธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง และได้ปุ๋ยหมักในปริมาณที่มากกว่าการหมักด้วยตำรับอื่น นอกจากนั้น การหมักในสภาพไร้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้อีกด้วย[18]

ประเด็นสำหรับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมคือการศึกษาการใช้มูลสัตว์สดร่วมในสัดส่วนของการหมักซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มค่าไนโตรเจนและจุลินทรีย์ให้กับระบบและทำให้ประสิทธิภาพการหมักเกิดได้ดีขึ้น ศึกษาการหมักเมื่อใช้ระยะเวลาในการหมักที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากเป็นการหมักในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นช้ากว่าในสภาพที่มีออกซิเจน และศึกษาคุณภาพของปุ๋ยน้ำที่ได้จากกระบวนการหมัก เป็นต้น

กิตติประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวกจนการศึกษาวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน. การไถกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ป). [เข้าถึงเมื่อ 5 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: http://www.ldd.go.th/menu_moc/POSTER/rice/rice.htm
2. ณัฐภาส กุลเรืองทรัพย์. การศึกษาอิทธิพล การเผาตอซัง-ไม่เผาตอซังข้าว ก่อนไถกลบต่อผลผลิตต่อไร่ ค่าใช้จ่าย และรายได้ ของเกษตรกร. วารสารเศรษฐกิจการเกษตร 2556; 59(674): 2-4.
3. วรรณลดา สุนัทพงศ์ศักดิ์ พิทยากร ลิ่มทอง เสียงแจ่ว พิริยพฤนต์ ประโสด ธรรมเขต ชูศรี ยสินธร และปรัชญา ธัญญาดี. ผลของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว [อินเทอร์เน็ต]. (2561). [เข้าถึง เมื่อ 19 มี.ค. 2561]. เข้าถึงจาก: http://www.ldd.go.th/Ld-dwebsite/web_ord/Research/Full_Research_pdf/Full_Research_gr11/R28_3011F065.pdf
4. Iranzo M, Cañizares JV, Roca-Perez L, Sainz-Pardo I, Mormeneo S, Boluda R. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). Bioresour Technol 2004; 95: 107-12.
5. Li X, Zhang R, Pang Y. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. Bioresour Technol 2008; 99: 359-67.
6. Qian X, Shen G, Wang Z, Guo C, Liu Y, Lei Z, Zhang Z. Co-composting of livestock manure with rice straw: Characterization and establishment of maturity evaluation system. Waste Manag 2014; 34: 530-35.
7. กรมควบคุมมลพิษ. การประเมินปริมาณมลพิษของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกรประจำปี พ.ศ. 2559 [อินเทอร์เน็ต]. (2560). [เข้าถึง เมื่อ 5 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: http://infofile.pcd.go.th/water/agpig2016.pdf?CFID=2911937&CFTOKEN=53891853
8. กรมควบคุมมลพิษ. การปรับปรุงมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งประเภทการเลี้ยงสุกร 2 [อินเทอร์เน็ต]. (2560). [เข้าถึง เมื่อ 10 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/file/water/26-6-58-3.pdf
9. Mussoline W, Esposito G, Lens P, Garuti G, Giordano A. Electrical energy production and operational strategies from a farm-scale anaerobic batch reactor loaded with rice straw and piggery wastewater. Renew Energy 2014; 62: 399-406.
10. สุภมาส อังศุโชติ และชูชาติ พ่วงสมจิตร์. การวิจัยการบริหารการศึกษา: หน่วยที่ 11 การวิเคราะห์และการแปลผลข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2557.
11. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. คู่มือวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2551.
12. กรมวิชาการเกษตร. ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2548.
13. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. Washington D.C: American Public Health Association; 1992.
14. กรมพัฒนาที่ดิน. การไถกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; ม.ป.ป.
15. กรมส่งเสริมการเกษตร. ผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง. วารสารเกษตรกรรมปลอดการเผา 2547; 1(1): 2-3.
16. Lee JS, Parameswaran B, Lee JP, Park SC. Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol production. J Sci Ind Res 2008; 67: 865-73.
17. ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2534.
18. ฤกษ์ฤทธิ์ เคนหาราช. การผลิตพลังงานจากชีวมวล: การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน; 2548.
19. Zhou J, Yang J, Yu Q, Yong X, Xie X, Zhang L, Wei P, Jia H. Different organic loading rates on the biogas production during the anaerobic digestion of rice straw: A pilot study. Bioresour Technol 2017; 244: 865-71.
20. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือ งดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน ฟื้นสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2548.
21. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2556.
22. นรีลักษณ์ ชูวรเวช. เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; ม.ป.ป.