มหาวิทยาลัยฟาฏอนี ร่วมกับ เครือข่ายความร่วมมือ
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6

เรื่อง

สร้างสรรค์งานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนประเทศ
สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนในยุค
Thailand 4.0

(การนำเสนอแบบโปสเตอร์)

18 ตุลาคม 2017
ณ อาคารเรียนรวมเฉลิมพระเกียรติ
มหาวิทยาลัยฟาฏอนี

การผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักมูลสัตว์ร่วมกับกากอ้อย

อุบล ตันสม[1], สมภพ เภาทอง[2], ปิยศิริ สุนทรนนท์[3], นิสาพร มูหะมัด[4]

[1] วท.ม. (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ-ชีวเคมี), คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
[2] วท.ม. (เคมีศึกษา), ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
[3] วท.ม. (ชีวเคมี), คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
[4] ปร.ด. (ชีวเคมี), คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทคัดย่อ

การศึกษาการหมักมูลวัว มูลแพะร่วมกับกากอ้อยที่อัตราส่วน 100:0 90:10 70:30 และ 50:50 ในถังหมัก 20 ลิตร เวลา 40 วัน พบว่าการหมักร่วมมูลวัวกับกากอ้อยและมูลแพะกับกากอ้อยอัตราส่วน 90:10 และ 70:30 ผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 37.9 ลิตร และ 64.8 ลิตร การหมักร่วมมูลแพะกับกากอ้อยผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าหมักมูลแพะเพียงชนิดเดียว ส่วนการหมักร่วมมูลวัวกับกากอ้อยผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยกว่าหมักมูลวัวเพียงชนิดเดียว ปริมาณแก๊สมีเทนได้จากการหมักร่วมมูลวัวกับกากอ้อย 58-62 เปอร์เซ็นต์ และมูลแพะกับกากอ้อย 56-62 เปอร์เซ็นต์ การหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่องของมูลวัวกับกากอ้อยและมูลแพะกับกากอ้อยที่อัตราส่วน 90:10 และ 70:30 ในถังหมัก 60 ลิตร เวลา 40 วัน พบว่ามูลวัวกับกากอ้อยและมูลแพะกับกากอ้อยได้แก๊สชีวภาพสะสม 164.2 ลิตร และ 188.3 ลิตร ค่ากรด-ด่างในระหว่างการย่อยสลาย pH 6.8-7.8 อุณหภูมิ 29-37 องศาเซลเซียส กากอ้อยจึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้

คำสำคัญ : แก๊สชีวภาพ มูลสัตว์ กากอ้อย หมักร่วม

Biogas Production from Dung by Co-digestion with Bagasse

Ubol Tansom[1], Somphop Paothong[2], Piyasiri Soontornnon[3], Nisaporn Muhamud[4]

[1] M.Sc. (Biological Science-Biochemistry), Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University.
[2] M.Sc. (Chemical Study), Asst.Prof., Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University.
[3] M.Sc. (Biochemistry), Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University.
[4] Ph.D. (Biochemistry), Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University.

Abstract

This paper aims to study the production of biogas from anaerobic co-digestion of cow dung with bagasse and goat dung with bagasse in the ratio 100:0, 90:10, 70:30, and 50:50 measured by weight for 40 days and working volume of 20 L. The results show that the highest cumulative biogas production was 37.9 L and 64.8 L at the ratio 90:10 for cow dung with bagasse and 70:30 for goat dung with bagasse, respectively. Biogas which is generated from goat dung with bagasse was higher than the single digestion of goat dung. The methane content for cow dung with bagasse was at 58-64% and for goat dung with bagasse was at 56-62%. Moreover, cow dung with bagasse in the ratio 90:10 and goat dung with bagasse in the ratio 70:30 were conducted as co-digestion by semi-continuous of biogas production. The results reveal that cumulative biogas production was 164.2 L and 188.3 L. The pH during the digestion process was at 6.8-7.8 and the temperature was at 29-37 $^{\circ}$C. It indicates that the bagasse is considered as a higher potential for biogas production.

Key word : Biogas, dung, bagasse, co-digestion

บทนำ (Introduction)

พลังงานมีความสำคัญกับการดำเนินชีวิตของประชากรและการพัฒนาประเทศ การจัดการด้านพลังงานให้มีใช้อย่างเพียงพอจึงมีความสำคัญ จึงมีการพัฒนาพลังงานทดแทน (Renewable energy) ในรูปแบบต่างๆจากธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล และพลังงานแก๊สชีวภาพ ซึ่งแก๊สชีวภาพเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีอยู่ภายในประเทศ

ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของชาติ ให้ความสำคัญต่อความมั่นคงของอาหารและพลังงานของโลก โดยมียุทธศาสตร์ความเข้มแข็งภาคเกษตรความมั่นคงของอาหารและพลังงาน การสร้างความมั่นคงของอาหารและพัฒนาพลังงานชีวภาพระดับครัวเรือนและชุมชนซึ่งเป็นนโยบายด้านพลังงาน

แก๊สชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digestion) ทำให้เกิดแก๊สชีวภาพ (Biogas) ประกอบด้วยแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก 50-70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงทำให้แก๊สมีความสะอาด สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน เช่น เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้แทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือน การผลิตแก๊สชีวภาพเป็นระบบปิดจึงลดการแพร่กระจายของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งมีผลต่อภาวะโลกร้อน และเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากของเสียจากภาคเกษตร

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรและผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานทดแทนได้เช่น มูลสัตว์ เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพได้ ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร ได้แก่ การปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ มีการเลี้ยงสัตว์ระดับครัวเรือนและฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่นิยมเลี้ยงได้แก่ วัว ควาย และแพะ

จากสภาพปัญหาด้านพลังงานและศักยภาพของผลผลิตทางการเกษตร การหาแนวทางเลือกที่ส่งเสริม ให้คนในชุมชนพึ่งตนเองได้ โดยมีระบบการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ในครัวเรือนและชุมชนมาพัฒนาเป็นพลังงานทางเลือก เพื่อใช้ประโยชน์โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถลดปัญหาสุขภาวะในชุมชนได้ นอกจากนี้ในท้องที่มีเกษตรกร หรือแม่ค้าที่ผลิตน้ำอ้อยสดขายพบว่าจะทิ้งเศษกากอ้อยไว้หลังหีบน้ำอ้อยแล้ว โดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ประกอบกับมีรายงานงานวิจัยว่าการเติมน้ำลำไยในระบบการผลิตแก๊สชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณแก๊สชีวภาพเนื่องจากความหวานของน้ำลำไยเป็นอาหารของจุลินทรีย์ (ศิรประภา, ภัทริน และวรวุธ, 2555)

จากข้อมูลดังกล่าวผู้ทำวิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพโดยใช้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบการหมักร่วมระหว่างมูลสัตว์กับกากอ้อยซึ่งมีน้ำตาลเหลือค้างอยู่ เพื่อนำมูลสัตว์ที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์ได้แก่ มูลวัวและมูลแพะ หมักร่วมกับกากอ้อยที่เหลือทิ้งจากแม่ค้ามาทดลองผลิตแก๊สมีเทนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนแก๊สหุงต้ม และนำกากจากการย่อยสลายใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเพาะปลูกในครัวเรือนและชุมชน

วัตถุประสงค์การวิจัย (Objective)

1. เพื่อศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยกระบวนการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับกากอ้อย และมูลแพะกับกากอ้อยในระบบแบบแบทช์ และแบบกึ่งต่อเนื่อง
2. เพื่อศึกษาปัจจัยและภาวะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพแบบหมักร่วมเพื่อประยุกต์ใช้ในระดับครัวเรือน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) คือ พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆโดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงาน ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) การผลิตแก๊ส (Gasification) การหมัก (Fermentation) เป็นต้น

แก๊สชีวภาพเป็นแก๊สที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic process) โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic bacterial) แก๊สชีวภาพมีแก๊สมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแก๊สชีวภาพมีองค์ประกอบของมีเทน 50-70 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 30-50 เปอร์เซ็นต์ มีแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อย่างละประมาณ 0-8 เปอร์เซ็นต์ (Polprasert, 2007) ปริมาณของแก๊สแต่ละชนิดมีสัดส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและปัจจัยของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ องค์ประกอบของวัตถุดิบ อุณหภูมิ ค่าpH ระยะเวลา สารอาหาร ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของแบคทีเรียแต่ละกลุ่ม

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่มีโมเลกุลเล็กลง และมีสภาพคงตัวมากขึ้น ในกระบวนการย่อยสลายสารแบบไร้ออกซิเจน มีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์ที่ไม่มีการสร้างมีเทน (Non-methanogenic bacteria) และจุลินทรีย์ที่มีการสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria)

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{Anaerobic digestion}} CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S$$

กระบวนการย่อยสลายสามารถแบ่งการเกิดปฏิกิริยาได้ 4 ขั้นตอน คือ

1. กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หรือกระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์ (Polymer break-down) การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Complex organic compound) มีขนาดโมเลกุลใหญ่โดยปฏิกิริยาไฮโดรโลซิส ได้แก่ แป้ง คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้อยู่ในรูปของน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น โดยจุลินทรีย์พวก Hydrolytic bacteria และ Fermentative bacteria ย่อยสารอินทรีย์เป็นโมเลกุลเดี่ยวและขนาดเล็กลงสามารถละลายน้ำได้ โดยที่ยังไม่มีการลดจำนวนสารอินทรีย์ และนำไปใช้ในเซลล์ได้ ดังสมการ

$$\text{Carbohydrate} \longrightarrow \text{Simple sugar + Alcohol}$$
$$\text{Protein} \longrightarrow \text{Peptide + Amino acid}$$
$$\text{Fats} \longrightarrow \text{Glycerol + Fatty acid}$$

2. กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acidogenic bacteria) จะเปลี่ยนกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน กลีเซอรอลให้กรดอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดแอซิติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทีริค (Butyric acid) กรดไอโซบิวทีริค (Isobutyric acid) กรดวาเลอริค

(Valeric acid) กรดไอโซวาเลอริค (Isovalerric acid) เป็นต้น (Banejee, Elefsiniotis, & Tuhtar, 1998) ได้แอลกอฮอล์ แก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย ดังสมการ

Carbohydrate → Sugar → Organic acid

Lipid → Fatty acids → Alcohols

Protein → Amino acids → CO_2 / H_2

3. กระบวนการสร้างกรดแอซิติก (Acetogenesis) จะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายและแอลกอฮอล์เป็นแอซิเตต แก๊สไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ใช้ในการสร้างมีเทน กระบวนการสร้างกรดแอซีติกและกระบวนการสร้างมีเทน ดำเนินไปเป็นคู่ขนาน (Teodorita et al., 2008) ดังสมการ

$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2$

Ethanol — Acetic acid

$CH_3CH_2CH_2COOH + H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$

Butyric acid — Acetic acid

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$

Glucose — Acetic acid

4. กระบวนการสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) กรดแอซิติก แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทน โดยแบคทีเรียเมทาโนจีนิคหรือเมทาโนเจน (Methanogenic / Methanogen) ดังสมการ

$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$

$2CH_3CH_2OH + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH$

$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

แก๊สชีวภาพซึ่งมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบ 50-70 เปอร์เซ็นต์ สามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จึงใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งสมบัติทั่วไปของแก๊สมีเทนคือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น น้ำหนักเบากว่าอากาศ และติดไฟได้ (ไวไฟ)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ สภาพบ่อหมักต้องอยู่ในสภาพที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก ความเป็นกรด – ด่าง อัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน สารเคมีและยาปฏิชีวนะ เพราะมีผลให้จุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทนหยุดการเจริญเติบโตได้

ศิรประภา, ภัทริน และวรวุธ. (2555) ได้ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักร่วมระหว่างมูลม้ากับน้ำลำไยในถังหมักขนาด 10 ลิตร อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร มูลม้า:น้ำ:น้ำลำไย เป็น 1:10:0, 1:10:1, 1:10:2 และ 1:10:3 หมัก 6 สัปดาห์ การเติมน้ำลำไยในอัตราส่วน 1:10:2 ให้ปริมาตรแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ 1.482 ลิตร ความหวานของน้ำลำไยเป็นอาหารของจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสารอินทรีย์และปริมาณแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น

Aremu & Agarry. (2012) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลวัว และมูลสุกรโดยค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของของแข็งทั้งหมด (TS) 8 เปอร์เซ็นต์ หมักในช่วง 27-35 องศาเซลเซียส ค่า pH 6.2-6.8

ใช้เวลาหมัก 30 วัน ได้ปริมาณแก๊สที่หมักจากมูลวัว 4.140 ลิตร (0.1380 ลิตร/วัน) ได้ปริมาณแก๊สที่หมักจากมูลสุกร 4.378 ลิตร (0.1459 ลิตร/วัน)

Dellena et al. (2012) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักแก๊สชีวภาพโดยใช้เศษข้าว เปลือกมันฝรั่ง เปลือกสัปปะรด โดยหมักเดี่ยวและผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 หมักในถัง 100 ลิตร และเศษเหลือจากแป้งหมักในถังขนาด 500 ลิตร ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส 28 วัน พบว่าปริมาณแก๊สที่ได้จากการหมักเศษข้าวมีปริมาณสูงสุดคือ 600 ลิตร เปลือกมันฝรั่ง 440 ลิตร เปลือกสัปปะรด 320 ลิตร ของผสมอัตราส่วน 1:1:1 ได้ 210 ลิตร และเศษเหลือจากแป้งที่หมักในถัง 500 ลิตรที่อัตราส่วนต่างๆ มีปริมาณแก๊ส 10-40 ลิตร

Meggyes & Nagy. (2012) ทดลองใช้วัตถุดิบจากมูลสุกรผสมกับกากข้าวฟ่าง กากผลไม้ กากข้าวโพด หมัก 43-50 วัน พบว่ากากของพืชชนิดต่างๆ มีผลต่อปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันคือ มูลสุกรผสมกากข้าวฟ่างได้มีเทน 52.0-59.0 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับที่ผสมกากข้าวโพด ได้มีเทน 52.2-59.5 เปอร์เซ็นต์ ผสมกากผลไม้ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้มีเทน 62.5-74.9 เปอร์เซ็นต์ และผสมกากผลไม้ 25 เปอร์เซ็นต์ ได้มีเทนสูงสุดคือ 66.8-77.1 เปอร์เซ็นต์

Wilaiwan, Pholchan, & Aggarangsi (2014) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลไก่สัดส่วน 50:50 และ 70:30 มีค่า C/N เท่ากับ 20 และ 30 อัตราส่วน 50:50 ผลิตแก๊สมีเทนได้ปริมาณสูงสุด 0.27 ± 0.01 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ การใช้มูลไก่ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง (C/N = 7.6) เป็นวัสดุหมักร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ (C/N = 43.6) ช่วงที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพมีค่ากรด-ด่างอยู่ในช่วง pH 6.93 ± 0.03 – 7.08 ± 0.05

Zhang et al. (2013) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับก้านข้าวโพดอัตราส่วน 30:70 และ 70:30 มูลแพะกับฟางข้าวอัตราส่วน 30:70 และ 50:50 โดยมีค่า TS วัตถุดิบป้อนที่ 8 เปอร์เซ็นต์ หมัก 55 วัน มูลแพะกับก้านข้าวโพดอัตราส่วน 30:70 และ 70:30 ผลิตแก๊สชีวภาพได้ 14.840 ลิตร และ 16.023] ลิตร มูลแพะกับฟางข้าวอัตราส่วน 30:70 และ 50:50 เท่ากับ 15.608 ลิตร และ 15.698 ลิตร และปริมาณแก๊สชีวภาพของมูลแพะกับฟางข้าวสาลีอัตราส่วน 30:70 (C/N = 35.61) มูลแพะกับก้านข้าวโพดอัตราส่วน 30:70 (C/N = 21.19) และ มูลแพะกับฟางข้าวอัตราส่วน 50:50 (C/N = 26.23) ผลิตแก๊สชีวภาพได้ 1.62, 2.11 และ 1.83 เท่าของการใช้วัตถุดิบฟางข้าวสาลี ก้านข้าวโพด และฟางข้าวเพียงชนิดเดียว ซึ่งค่า C/N เป็นปัจจัยของปริมาณสารอาหารในวัตถุดิบในกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียในการผลิตแก๊สชีวภาพ ทุกอัตราส่วนมีค่า pH 6.5-7.5

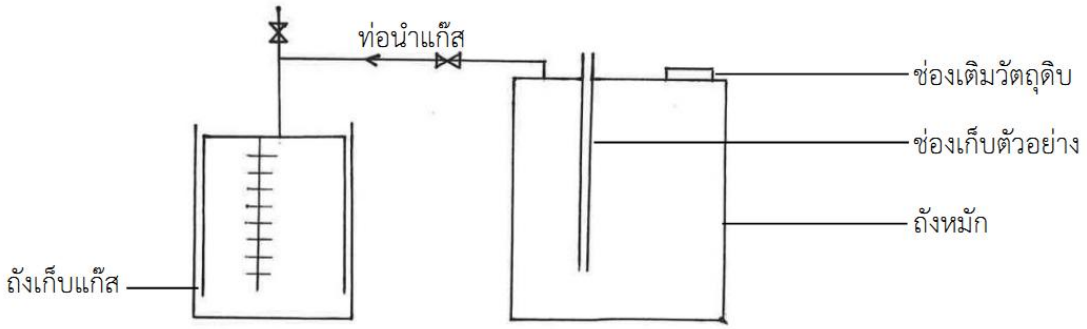
สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักมูลสัตว์ร่วมกับเศษวัสดุทางการเกษตร โดยศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลวัว มูลแพะ โดยการหมักร่วมกับกากอ้อยที่เหลือทิ้งจากร้านขายน้ำอ้อยสดที่นำน้ำอ้อยไปใช้แล้ว พบว่าจากข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นว่ามูลสัตว์ชนิดต่างๆและเศษวัสดุทางการเกษตรหลายชนิดมีสารอินทรีย์ที่มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ จึงเป็นที่มาในการออกแบบและทดลองศึกษาผลิตแก๊สชีวภาพโดยการใช้มูลสัตว์ในท้องถิ่นหมักร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งคือกากอ้อย ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพในระดับครัวเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology)

ตัวอย่างมูลวัวและมูลแพะใช้มูลสดที่ขับถ่ายไม่เกิน 24 ชั่วโมง กากอ้อยใช้จากแหล่งผลิตน้ำอ้อยสดขายในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองยะลา

ออกแบบชุดทดลองการหมักแก๊สชีวภาพ

ถังหมักแก๊สชีวภาพใช้ถังพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาด 20 ลิตร ถังเก็บแก๊สใช้ถังพลาสติกขนาด 6 ลิตร เก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำวัดปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นจากสเกลข้างถังเก็บแก๊สและมีสายส่งแก๊สสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ



ภาพที่ 1 ชุดการทดลองการหมักแก๊สชีวภาพ

วิเคราะห์องค์ประกอบวัสดุหมัก

การทดลองผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างมูลวัว มูลแพะ และกากอ้อย ในอัตราส่วน 90:10 70:30 และ 50:50 โดยใช้มูลสัตว์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นชุดเปรียบเทียบก่อนการทดลอง ทำการวิเคราะห์วัตถุดิบแต่ละอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง โดยหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัด pH ค่าอุณหภูมิของระบบ ค่าปริมาณสารอินทรีย์ (COD) โดยใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/เปรียบเทียบสี (Close reflux,colorimetric method) วัดค่าสีด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Spectroquant Pharo 100) สัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบ (TS) (AOAC official method 985.29, 2000) ปริมาณคาร์บอน (Organic carbon ; OC) (Walkley-Black method, 1934) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen ; TN) ใช้ชุดทดสอบโดยใช้เครื่อง ย่อย Spectroquant TR 420 และวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Spectroquant Pharo 100) และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N ratio)

การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักร่วมในระดับห้องปฏิบัติการแบบแบทช์

ใช้ชุดทดลองการหมักแก๊สชีวภาพ ถังหมัก 20 ลิตร ถังเก็บแก๊ส 6 ลิตร หมักมูลวัวร่วมกับกากอ้อย และมูลแพะร่วมกับกากอ้อย ในอัตราส่วน 100:0 90:10 70:30 และ 50:50 ของผสมวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองปริมาณ 14 ลิตร โดยการป้อนวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว ด้วยวิธีการหมักแบบไม่ใช้อากาศเพื่อศึกษาภาวะ เงื่อนไขที่เหมาะสมในด้านต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ผลของอัตราส่วนวัตถุดิบเริ่มต้น ระยะเวลาในการหมัก ปริมาณแก๊สชีวภาพโดยการแทนที่น้ำ และปริมาณของแก๊สมีเทนด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สชีวภาพ (Geotech, GA-5000)

การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่อง

สร้างชุดทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้ถังหมัก 60 ลิตร ถังเก็บแก๊ส 6 ลิตร โดยเลือกอัตราส่วนของวัตถุดิบของชุดการทดลองที่มีประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดจากการหมักแบบแบทช์มาใช้ใน

การทดลอง ใช้วัตถุดิบเริ่มต้นปริมาตร 45 ลิตร เมื่อเกิดแก๊สจะป้อนวัตถุดิบทุกๆ 3 วัน ครั้งละ 5 ลิตร เก็บข้อมูลเช่นเดียวกับแบบแบทช์

ผลการวิจัย (Results)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการนำมูลวัว มูลแพะ และกากอ้อยที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน (Organic carbon;OC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen;TN) และหาค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนสูงสุดคือ กากอ้อย (C/N = 94.75) และมูลแพะต่ำสุด (C/N = 13.37) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของมูลวัว มูลแพะ และกากอ้อย

วัตถุดิบ	อัตราส่วน	อินทรีย์คาร์บอน (OC) (%)	ไนโตรเจน (TN) (%)	อัตราส่วน C/N
มูลวัว	100	38.483	1.828	21.05
มูลแพะ	100	33.892	2.534	13.37
กากอ้อย	100	37.051	0.391	94.75
มูลวัว:กากอ้อย	90:10	38.666	1.643	23.53
มูลวัว:กากอ้อย	70:30	30.775	0.709	43.40
มูลวัว:กากอ้อย	50:50	28.545	0.411	69.62
มูลแพะ:กากอ้อย	90:10	39.935	2.624	15.21
มูลแพะ:กากอ้อย	70:30	37.825	2.039	18.55
มูลแพะ:กากอ้อย	50:50	38.469	1.152	33.39

การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบและปริมาณสารอินทรีย์

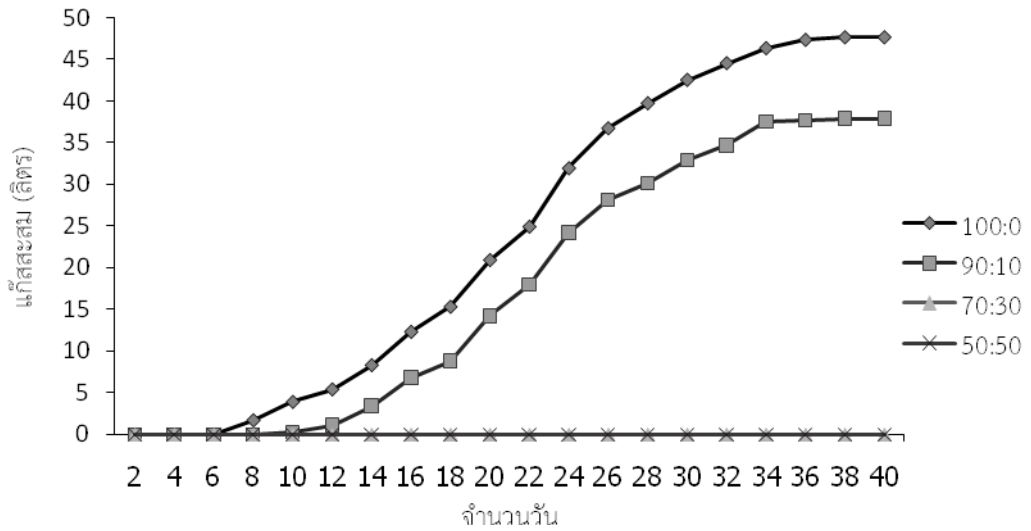
ก่อนเริ่มการทดลองหมักและสิ้นสุดการหมักได้วิเคราะห์สัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบ (Total solids;TS) และปริมาณสารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand;COD) ในแต่ละอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าสูงสุดคือ มูลแพะกับกากอ้อยอัตราส่วน 70:30 และประสิทธิภาพของการลดค่า COD มีค่าสูงสุดคือ มูลแพะกับกากอ้อยอัตราส่วน 70:30) ต่ำสุดคือ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบ และปริมาณสารอินทรีย์

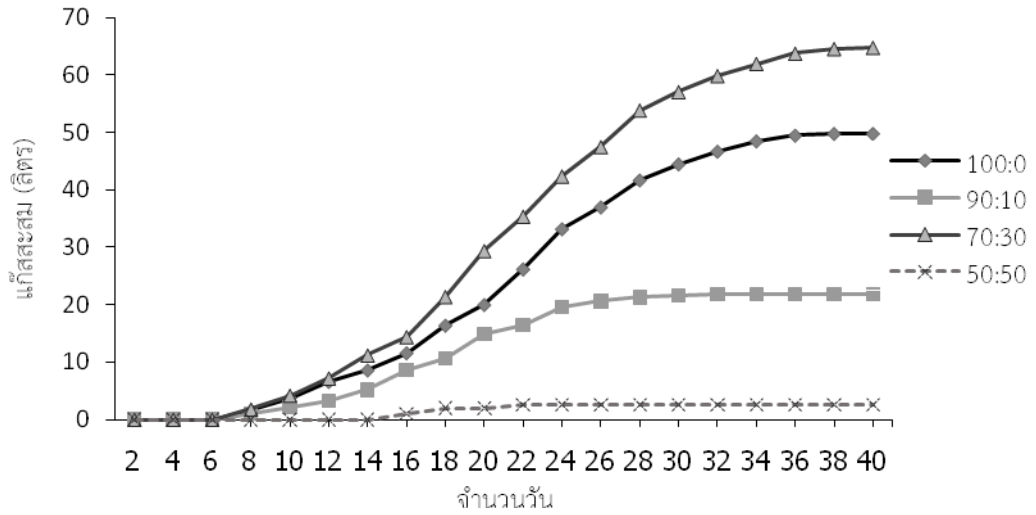
ชุดการทดลอง	วัตถุดิบ	อัตราส่วน	ปริมาณของแข็ง (TS) (mg/L)		ค่า COD (mg/L)	
			เริ่มต้นหมัก	สิ้นสุดการหมัก	เริ่มต้นหมัก	สิ้นสุดการหมัก
1	มูลวัว	100	54,800	30,352	573	241
2	มูลวัว:กากอ้อย	90:10	51,100	33,750	722	431
3	มูลวัว:กากอ้อย	70:30	43,700	43,681	538	535
4	มูลวัว:กากอ้อย	50:50	49,040	48,766	139	138
5	มูลแพะ	100	31,800	19,267	362	216
6	มูลแพะ:กากอ้อย	90:10	29,190	14,957	413	278
7	มูลแพะ:กากอ้อย	70:30	28,490	9,922	604	234
8	มูลแพะ	50:50	29,760	28,170	484	460

ปริมาณแก๊สชีวภาพจากวิธีการหมักแบบแบทช์

ทดลองผลิตแก๊สชีวภาพแบบแบทช์โดยการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว หมักเป็นเวลา 40 วัน วัดปริมาณแก๊สรวมทุก 2 วัน พบว่าปริมาณแก๊สที่ได้จากการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับกากอ้อย อัตราส่วน 90:10 และการหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับกากอ้อย อัตราส่วน 70:30 เป็นชุดการทดลองที่เกิดแก๊สดีที่สุด ดังภาพที่ 2 และ 3



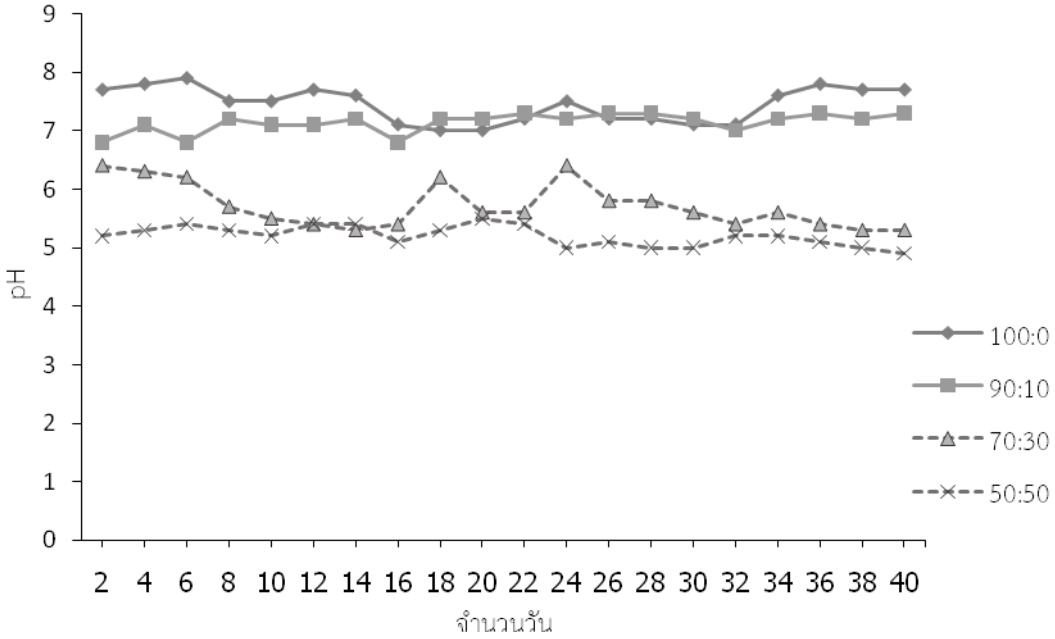
ภาพที่ 2 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจากการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับกากอ้อยแบบแบทช์



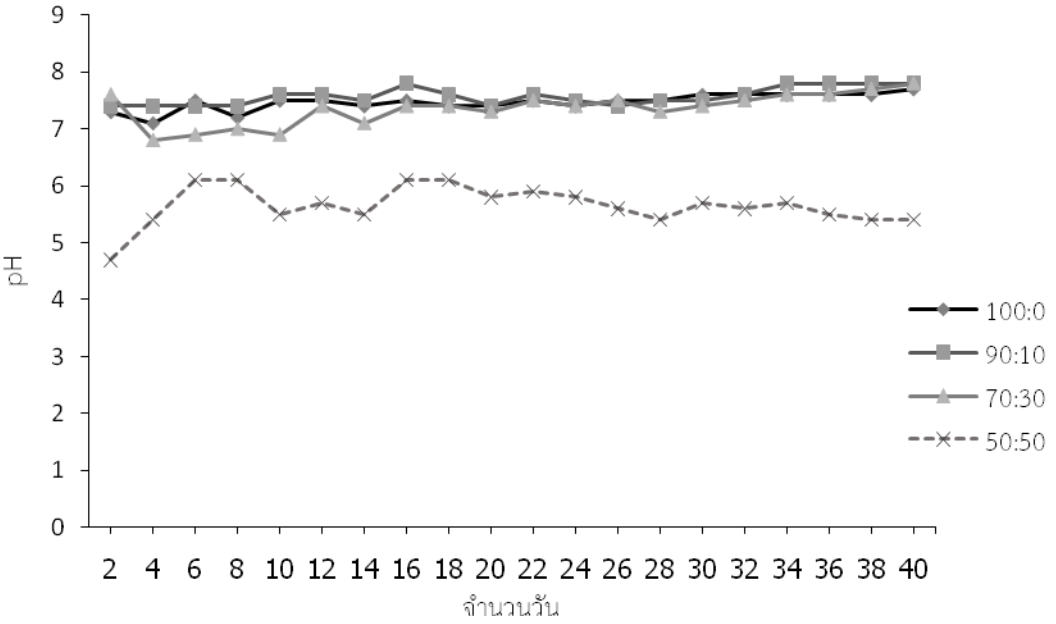
ภาพที่ 3 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจากการหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับกากอ้อยแบบแบทช์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ช่วงที่เกิดการผลิตแก๊สชีวภาพค่า pH 6.8-7.8 ส่วนอัตราส่วนที่ไม่มีการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับกากอ้อยอัตราส่วน 70:30 50:50 และการหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับกากอ้อย 50:50 จะมีค่า pH ที่ต่ำกว่า 6.4 ดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างจากการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับกากอ้อยแบบแบทช์



ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างจากการหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับกากอ้อยแบบแบทช์

ปริมาณแก๊สมีเทน

การวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สมีเทนจากแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ พบว่าแก๊สชีวภาพจากมูลวัวมีแก๊สมีเทน 58-64 เปอร์เซ็นต์ จากการหมักร่วมมูลวัวกับกากอ้อย มีแก๊สมีเทน 58-62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมูลแพะมีแก๊สมีเทน 56-60 เปอร์เซ็นต์ จากการหมักร่วมมูลแพะกับกากอ้อย มีแก๊สมีเทน 56-62 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณแก๊สมีเทน

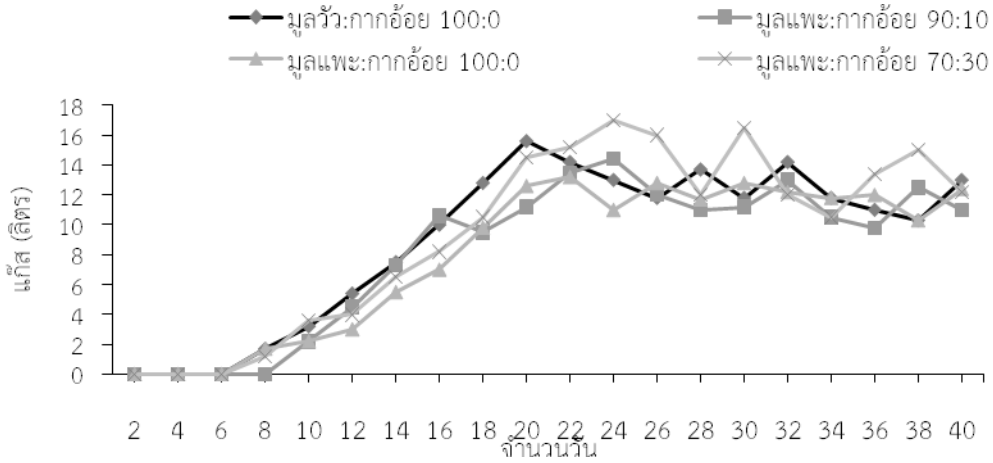
ชุดการทดลอง	วัตถุดิบ	อัตราส่วน	แก๊สมีเทน (%)
1	มูลวัว	100	58-64
2	มูลวัว:กากอ้อย	90:10	58-62
3	มูลวัว:กากอ้อย	70:30	ND
4	มูลวัว:กากอ้อย	50:50	ND
5	มูลแพะ	100	56-60
6	มูลแพะ:กากอ้อย	90:10	56-61
7	มูลแพะ:กากอ้อย	70:30	56-62
8	มูลแพะ:กากอ้อย	50:50	ND

หมายเหตุ : ND ; Not detected คือ ไม่สามารถวัดค่าได้

ปริมาณแก๊สชีวภาพจากวิธีการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง

ทดลองผลิตแก๊สชีวภาพแบบกึ่งต่อเนื่อง เติมวัตถุดิบทุก 3 วัน หมัก 40 วัน โดยเลือกชุดการทดลองที่เกิดแก๊สดีที่สุดในการทดลองหมักแบบแบทช์มาทดลอง พบว่ามูลวัวกับกากอ้อยอัตราส่วน 90:10

และมูลแพะกับกากอ้อย อัตราส่วน 70:30 ได้แก๊สชีวภาพสะสม 164.2 ลิตร และ 188.3 ลิตร ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้หลังจากวันที่ 16 จะใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณแก๊สชีวภาพจากการหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่อง

อภิปรายผล (Discussion)

การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักร่วมระหว่างมูลวัว มูลแพะกับกากอ้อยแบบแบทช์ พบว่ามูลวัวกับกากอ้อย อัตราส่วน 90:10 มีค่า C/N เท่ากับ 23.53 และมูลแพะกับกากอ้อย อัตราส่วน 70:30 มีค่า C/N เท่ากับ 18.55 ผลิตแก๊สชีวภาพได้ปริมาณสูงสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wilaiwan, Pholchan, & Aggarangsi (2014) ผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 กับมูลไก่ในอัตราส่วน 50:50 และ 70:30 มีค่า C/N เท่ากับ 20 และ 30 ตามลำดับ จากการทดลองใช้กากอ้อยเป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมกับมูลแพะที่มีค่า C/N ต่ำ (13.37) พบว่ากากอ้อยซึ่งมีค่า C/N สูง (94.75) เป็นตัวแปรที่ช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารสำหรับแบคทีเรีย ทำให้สามารผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีกว่าใช้มูลแพะเพียงชนิดเดียว เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ ศิรประภา, ภัทริน และวรวุธ. (2555) ในการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักร่วมระหว่างมูลม้ากับน้ำลำไย พบว่าความหวานของน้ำลำไยเป็นสารอาหารของแบคทีเรียช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสารอินทรีย์และปริมาณแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น และจากรายงานของ Zhang et al. (2013) ที่พบว่าการใช้การหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับก้านข้าวโพดอัตราส่วน 70:30 และมูลแพะกับฟางข้าวอัตราส่วน 50:50 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 2.11 และ 1.83 เท่าของการใช้วัตถุดิบก้านข้าวโพดหรือฟางข้าวเพียงชนิดเดียว ซึ่งค่า C/N ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพที่รายงานโดย พลกฤษณ์. (2557) กล่าวว่าถ้าวัตถุดิบมีค่า C/N สูงมากแบคทีเรียเมทาโนเจนจะใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างโปรตีนให้ตัวเองและจะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบทำให้อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพน้อยลง ถ้า C/N ค่าต่ำมากๆจะทำให้ไนโตรเจนไปเกาะกันเป็นแอมโมเนียค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้นจะเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพน้อยลง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของการหมักแก๊สชีวภาพแบบแบทซ์ในการหมักร่วมระหว่างมูลวัว มูลแพะและกากอ้อยในทุกอัตราส่วนที่สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้อยู่ในช่วง pH 6.8-7.8 ขณะที่ทุกอัตราส่วนที่ไม่เกิดการผลิตแก๊สชีวภาพมีค่า pH ต่ำกว่า 6.4 สอดคล้องกับที่ พลกฤษณ์. (2557) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพอยู่ในช่วง 6.0-7.0 และ Wilaiwan, Pholchan, & Aggarangsi (2014) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพอยู่ในช่วง 6.93-

7.05 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มหลักในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

อุณหภูมิของระบบหมักที่สามารถผลิตแก๊สชีวภาพอยู่ในช่วง 29-37 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีอุณหภูมิที่เหมาะสมของการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน อยู่ในช่วง 30-37 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองในการผลิตแก๊สชีวภาพจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันได้แก่ การผลิตแก๊สชีวภาพจากวัสดุทางการเกษตร ในช่วงอุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส (Dellaena et al., 2012) แก๊สชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกร เศษผลไม้ เศษผักและของเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ในช่วงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (Rene & Gunnar, 2007) การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลวัว และมูลสุกรในช่วงอุณหภูมิ 27-35 องศาเซลเซียส (Aremu & Agarry, 2012)

การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่องของมูลวัว มูลแพะ กับกากอ้อย โดยเลือกจากอัตราส่วนที่สามารถผลิตแก๊สได้สูงสุดนำมาหมักเป็นเวลา 40 วัน เติมวัตถุดิบทุก 3 วัน เปรียบเทียบกับการใช้มูลวัวและมูลแพะหมักเดี่ยว ปริมาณแก๊สชีวภาพแก๊สที่ผลิตได้หลังจากวันที่ 16 จะใกล้เคียงกันและค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่อมีการเติมวัตถุดิบอย่างต่อเนื่อง จากผลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในครัวเรือนได้โดยการขยายปริมาตรของถังหมักเพื่อให้เพียงพอและสอดคล้องกับการใช้งานจริง ดังนั้นการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบการหมักร่วมระหว่าง มูลวัว มูลแพะ กับกากอ้อย แบบกึ่งต่อเนื่อง สามารถนำกากอ้อยที่เป็นวัสดุทางการเกษตรใช้เป็นวัตถุดิบการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมกับมูลสัตว์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มได้

ข้อเสนอแนะ (Recommendation)

ควรมีการศึกษานำชีวมวลและมูลสัตว์ชนิดอื่นๆมาใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพแทนการใช้มูลวัวและมูลแพะ เนื่องจากบางพื้นที่ไม่มีการเลี้ยงวัว แพะ และกากอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพได้

เอกสารอ้างอิง (References)

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ. (2557). การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว. **รายงานการวิจัย**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ศิรประภา ชัยเนตร, ภัทริน วงษ์พันธ์กมล และวรวุธ ชัยเนตร. (2555). การใช้ประโยชน์จากของเสียอินทรีย์ร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลม้า. **รายงานการวิจัย**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

Aremu, M .O. & Agarry S.E. (2012). Comparison of Biogas production from Cow dung And Pig dung under Mesophilic condition. **International Refereed Journal Of Engineering and Science (IRJES)**. 4 (1), 16-20.

Banejee, A. Elefsiniotis, P. & Tuhtar, D. (1998). Effect of HRT and temperature on the Acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. **Water Science and Technology.** 33 (8-9), 417-423.

Dellena, G.A., Sant, K.P., Manuel, M.A., Ginasha, D.A., Nacanieli, S.T. & Garg, S.K. (2012). Use of Compact Biogas Plant for Biogas Production Utilizing Waste Food Materials, Fruits, and Vegetable Peelings of High Calorific Contents. **Internation Journal of Engineering, Science and Metallurgy**. 2(1), 371-381.

Rene, A., & Gunnar, L. (2007). Semicontinuous co-digester of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**. 33(4), 726-734.

Meggyes A. & Nagy V. (2012). Biogas and Energy Production by Utilization of Different Agricultural Wastes. *Acta Polytechnica Hungarica*. 9(6), 65-80.

Polprasert, C. (2007). **Organic Waste Recycling Technology and Management**. 3rd Edition. IWA Publishing, 516.

Teodorita, et al. (2008). **Biogas handbook**. University of Southern Denmark Esbjerg, Denmark. 125.

Walkley, A.& Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for Determining organic carbon in soils : Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Sci**. 63, 251-263.

Wilaiwan, W., Pholchan, P. & Aggarangsi, P. (2014). Biogas Production from Co- digestion *Pennisetum pururem* cv. Pakchong 1 Grass and Layer Chicken Manure Using Completely Stirred Tank. **Energy Procedia**. 52, 216-222.

Zhang, T., Liu, L., Song, Z., Ren, G., Feng, Y., Han, X. & Yang, G. (2013). Biogas Production by Co-Digestion of Goat manure with Three Crop Residues. **PLOS One**. 8(6), 1-7 e66845. doi:1371/journal.pone.0066845