บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

1. ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester gas) หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้น ตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือ ของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 20-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น
CH_4	50 - 70 %
CO_2	20 - 50 %
H_2O (vapor)	0 -10 %
N_2	0 - 5 %
O_2	0 - 2 %
NH_3	0 - 1 %
H_2S	0 - 1 %

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

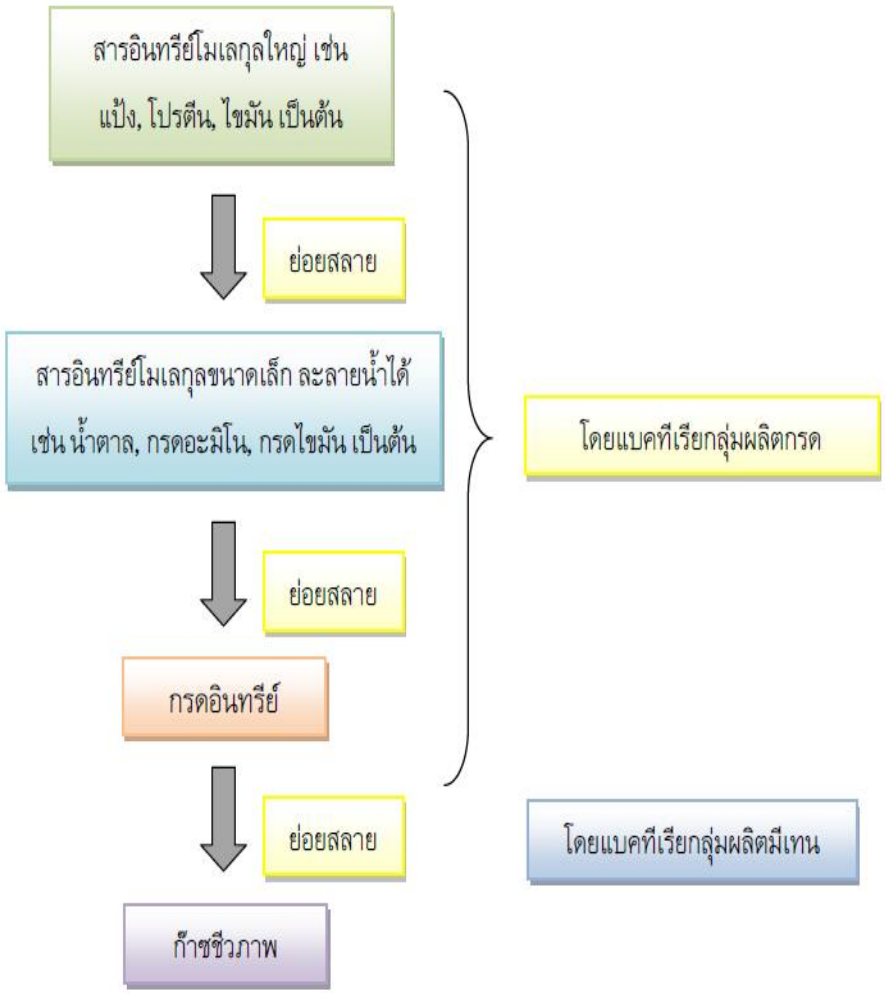
2. กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยขั้นตอนของการย่อยสลาย 3 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะมีแบคทีเรียเป็นตัวการที่สำคัญในการย่อยสลาย (ณัฐชมัย, ม.ป.ป; อนุตร, 2545)

ขั้นตอนที่ 1 (Liquefaction) สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ อาทิ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลง เช่น กลีเซอรอล กลูโคสและกรดอะมิโน

ขั้นตอนที่ 2 (Acid Formation) สารโมเลกุลเล็กที่ละลายในน้ำจากขั้นแรกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดน้ำส้มหรือกรดอะซีติกและไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 3 (Methane Formation) แบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเรียกว่า Methanogenic Bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายสารที่ได้จากขั้นที่ 2 ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ ในที่สุด (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2544.)



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดก๊าซชีวภาพ

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

3. แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

3.1 แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) แบคทีเรียส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้คือ Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารดำรงอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0-6.5 และทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

3.1.1 อะซิโดเจนนิคแบคทีเรีย (Acidogenic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิดและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก กรดฟอร์มิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ คีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบอากาศและแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria)

3.1.2 อะซิโตเจนนิคแบคทีเรีย (Acetogenic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการไฮโดรไลซีสและอะซิโดเจนีซีส แล้วเปลี่ยนเป็นให้กรดอะซิติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

ก) Hydrogen producing acetogenic bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซีส ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัว แล้วได้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลผลิต ดังสมการ

$$C_2H_5OH + H_2O \text{ ----------> } CH_3COOH + 2H_2$$

$$C_2H_5COOH + 2H_2O \text{ ----------> } CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$C_3H_7COOH + 2H_2O \text{ ----------> } 2CH_3COOH + 2H_2$$

ข) Homoacetogenic bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนในการเจริญเติบโต และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นอะซิเตต (หรือกรดอะซิติก) ดังสมการ

$$4H_2 + 2CO_2 \text{ ----------> } CH_3COOH + 2H_2O$$

2) Heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีทั้งอะซิเตตและโพรพิออเนตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$3C_6H_{12}O_6 \text{ ----------> } 4C_2H_5COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$$

***หมายเหตุ**: การที่กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำแล้วจะอยู่ในรูปเกลือของกรด เรียกเป็น-เอต เช่น กรดอะซิติก เมื่อแตกตัวได้ เป็นอะซิเตต และไฮโดรเจนไอออน

3.2 แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้สารอาหารได้ไม่กี่ชนิด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดการใช้สารอาหารตั้งต้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

3.2.1 Hydrogentrophic methanogens ซึ่งเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$CO_2 + 4H_2 \text{ ----------> } CH_4 + 2H_2O$$

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญคือจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศขั้นตอนที่ 2 โดยช่วยคงสภาวะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดอะซิเตตอย่างต่อเนื่อง

3.2.2 Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CH_3COOH \text{ ----------> } CH_4 + CO_2$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

4. สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

4.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิคือปัจจัยสำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยที่อุณหภูมินั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย และมูลสัตว์จะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่ขยะชุมชนจะมีอุณหภูมิช่วงที่เหมาะสมที่ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส

4.2 ความเป็นกรด-ด่าง Methane Former Bacteria นั่นนั้นไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง สภาพที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้นั้นควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.6 และ 7.6 ช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือค่า pH 7.0 ถึง 7.2 เมื่อค่า pH ลดต่ำลงกว่า 6.6 จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย วิธีการแก้ไขเมื่อค่า pH มีแนวโน้มว่าจะลดลง คือ เติมสารเพื่อเพิ่มความเป็นด่างลงไป เช่น เดิมหินปูน สาเหตุที่ทำให้ค่า pH ลดลงนั้นมีผลมาจากปริมาณอินทรีย์สารมากเกินไป ดังนั้น ทางแก้ที่ดีที่สุด คือ หยุดทำการป้อนชั่วคราว หรือลดอัตราการป้อน

4.3 ความเป็นพิษ

ออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ Methane Former Bacteria

แอมโมเนีย แอมโมเนียจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อแบคทีเรีย ในขณะที่โปรตีนถูกย่อยสลายนั้น ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียนี้สามารถอยู่ได้ในหลายรูปแบบ เช่น แอมโมเนียอิสระ หรือประจุของแอมโมเนีย โดยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ซัลไฟด์ ซัลไฟด์ถูกสร้างขึ้นมาโดยการเปลี่ยนจากซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและโดยการย่อยสลายของโปรตีน เฉพาะซัลไฟด์ที่ถูกดูดซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียเท่านั้นที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/liter แบคทีเรียจะหยุดการเจริญเติบโตการเติมโลหะหนัก เช่น เหล็กเพื่อให้ไปจับตัวกับซัลไฟด์จะเป็นการช่วยลดความเข้มข้นลงทำให้ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นลดลง

โลหะหนัก โลหะหนักนั้นมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม แต่โดยทั่วไปแล้วผลกระทบนั้นแทบไม่มีเลยเนื่องจากปริมาณโลหะหนักนั้นจะจับตัวกับซัลไฟด์

4.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปมีผลกระทบต่อแบคทีเรีย ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่จะเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการกระจายของความเข้มข้นเนื่องจากมีการเติมวัตถุดิบลงไป หรือการกระจายของอุณหภูมิควรเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดยทั่วกัน และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป

4.5 อัตราการป้อนอินทรียสาร อัตราการป้อนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ซึ่งจะทราบได้โดยจากการทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อหาอัตราการป้อนที่เหมาะสมที่สุด ถ้าให้อัตราการป้อนมากเกินไปจะเกิดการสะสมตัวของอินทรียสารทำให้เกิดความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรีย

4.6 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน แบคทีเรียที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายนั้นต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแพร่ขยาย ธาตุอาหารที่จำเป็น ได้แก่ คาร์บอนและ

ไนโตรเจน ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนน้อยเกินไป แบคทีเรียจะไม่สามารถสร้างเอนไซม์ออกมา ซึ่งเอนไซม์นี้มีความสำคัญในการย่อยสลายคาร์บอน แต่ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป โดยเฉพาะอยู่ในรูปของแอมโมเนียก็จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20:1 และ 30:1 ถ้า N_2 น้อยจะต้องเติมไนโตรเจนลงไป เช่น ยูเรีย หรือ มูลไก่ เป็นต้น ธาตุบางตัว เช่น ฟอสฟอรัส อาจจะมีการเติมลงไปเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

4.7 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14-60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า TSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าใดโดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

4.8 การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง (กรมการพลังงานทหาร, 2546)

5. ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

5.1 ด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้วการลงทุนผลิตแก๊สชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิง ชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้า แก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

(1) ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เดือดได้

(2) ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

(3) ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.25 กิโลวัตต์

(4) ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

5.2 ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม โดยการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อแก๊สชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยง ทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง

และผลจากการหมักมูลสัตว์ในบ่อแก๊สชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกัน ไม่ให้มูลสัตว์ ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

5.3 ด้านการเกษตร

(1) การทำปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักแก๊สชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

(2) การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลด ต้นทุนการผลิตอีกด้วย (สมชัย, ม.ป.ป.)

6. ปุ๋ยคอก (Farm Manure)

ปุ๋ยคอก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกอบด้วย อุจจาระ ปัสสาวะของสัตว์ต่าง ๆ เช่นโค กระบือ สุกร ม้า เป็ด ไก่ แพะ แกะ ค้างคาว และสัตว์อื่น ๆ ผสมกับเศษอาหารต่าง ๆ เข้าไปด้วย ในปุ๋ยคอกจึงมีจุลินทรีย์และอินทรีย์ต่าง ๆ มีทั้งพวกเป็นฮิวมัส และส่วนของอาหารที่ยังสลายตัวไม่หมดมีทั้งส่วนที่เป็นเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนั้นยังพบว่ามีวิตามินและฮอร์โมนพืช เช่น กรดอะมิโน ไทอามีน (Thiamine) ไบโอติน (Biotin) และไพริด็อกซิน (Pyridoxine) (ธงชัย, 2546) ในประเทศไทยนอกจากการทำการเพาะปลูกพืชแล้ว ยังมีการเลี้ยงสัตว์ด้วย โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกร วัว ควาย และไก่ จะมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทยซึ่งจากการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ดังกล่าวจำนวนมาก ทำให้ได้มูลสัตว์ในปริมาณมากด้วย ซึ่งมูลจากสัตว์ต่าง ๆ เหล่านั้นเมื่อนำมาผ่านกระบวนการหมักแล้ว จะได้ปุ๋ยคอกที่สามารถนำมาใช้ในพื้นที่เพาะปลูกทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณปุ๋ยคอกที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

ชนิดสัตว์	ปริมาณที่ได้ต่อตัวต่อวัน (กิโลกรัม)	ปริมาณมูลที่ได้ต่อปี (พันตัน)
โค	19	10,317
กระบือ	27	5,600
สุกร	2.7	4,596
เป็ด	0.03	4,019
ไก่	0.03	535

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2545)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปุ๋ยคอกถึงแม้จะมีธาตุอาหารสูง แต่เป็นอินทรียวัตถุที่ถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียไปกับน้ำหรือระเหยไปได้ง่าย ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยคอกจะสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซและสูญเสียไปโดยการระเหยได้ สำหรับธาตุที่ไม่เปลี่ยนเป็นก๊าซจะสูญเสียโดยการละลายในน้ำได้ เช่น ไนโตรเจนที่หมักอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย ธาตุอาหารพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมที่มีอยู่ในส่วนที่เป็นอุจจาระนั้น ก่อนที่พืชจะทำไปใช้ประโยชน์ได้ จำเป็นต้องรอให้จุลินทรีย์เข้าย่อยทำลายต่อไปจนถึงระยะหนึ่งก่อน สำหรับธาตุปุ๋ย ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่อยู่ในส่วนที่เป็นปัสสาวะนั้น พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที สำหรับการเก็บรักษาปุ๋ยเพื่อไม่ให้ธาตุอาหารพืชเกิดการสูญหายไปมักใช้เศษหญ้า เศษฟาง แกลบหรือขี้เลื้อยผสมกับปุ๋ยคอกโดยใช้ฟาง 1 ส่วนและปุ๋ยคอก 4 ส่วน ทั้งนี้เพื่อให้ฟางหรือขี้เลื่อยดูดซับเอาส่วนของปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ไว้ไม่ให้ไหลออกและสูญหายไป การเก็บรักษาถ้าเก็บไว้ในที่ๆ มีอากาศน้อยเท่าใดก็ยิ่งดี หรืออีกนัยหนึ่งอย่าให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ทั้งนี้เพื่อลดอัตรากิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในปุ๋ยซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้ไนโตรเจนเกิดการสูญหายไปอย่างรวดเร็วด้วย ปุ๋ยคอกนี้หากไม่เก็บไว้เป็นอย่างดีแล้วการสูญหายของธาตุอาหารอาจจะเกิดขึ้นมาก

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด

ประเภทของปุ๋ยคอก	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
โค	1.91	0.56	1.40
กระบือ	1.23	0.69	1.66
ไก่	3.77	1.89	1.76
เป็ด	2.15	1.33	1.15
สุกร	3.11	12.20	1.84
ค้างคาว	5.28	8.42	0.58
นกนางแอ่น	2.04	1.66	1.83
แกะ	2.33	0.83	1.31
ม้า	2.80	1.36	1.18

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ที่มา: ปรัชญา และคณะ (2540)

7. ลำไย

ชื่อภาษาไทย	:	ลำไย
ชื่อภาษาอังกฤษ	:	Longan
ชื่อวิทยาศาสตร์	:	*Dimocarpus longan* Lour.
วงศ์	:	Sapindaceae

7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลำไย

ลำต้น มีขนาดลำต้นสูงปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดจะมีลำต้นตรง เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่มีความสูงประมาณ 12-15 เมตร และถ้าหากเป็นต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้ๆกับพื้น และถ้าได้รับการตัดแต่งกิ่งในขณะที่ต้นยังเล็กมักแตกลำต้นเทียมหลายต้น ลำต้นที่เกิดขึ้นไม่ค่อยเหยียดตรงมักเอนหรือโค้งงอเปลือกลำต้น ขรุขระมีสีเทาหรือสีเทาปนน้ำตาลแดงเป็นสะเก็ด

ภาพที่ 2 ต้นลำไย

ที่มา : สมุนไพรเพื่อสุขภาพ (2556)

ใบ เป็นใบรวมที่ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) มีปลายใบเป็นคู่ มีใบย่อย 3-5 คู่ ความยาวใบ 20-30 เซนติเมตร ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้าม ความกว้างของใบย่อย 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร รูปร่างใบเป็นรูปรีหรือรูปหอก ส่วนปลายใบและฐานใบค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่าด้านล่างสากเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อย และเห็นเส้นแขนง (vein) แตกออกมาจากเส้นกลางใบชัดเจนและมีจำนวนมาก

ภาพที่ 3 ใบลำไย

ที่มา : คลังข้อมูลสารสนเทศลำไยเชิงลึก (2553)

ช่อดอก ส่วนมากเกิดจากตาที่ปลายยอด(terminal bud) บางครั้งอาจเกิดจากตาข้างของกิ่ง ช่อดอกยาวประมาณ 15-60 เซนติเมตร ช่อดอกขนาดกลางจะมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอก

ภาพที่ 4 ช่อดอกลำไย

ที่มา : คลังข้อมูลสารสนเทศลำไยเชิงลึก (2553)

ดอก มีสีขาวหรือขาวอมเหลืองมีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-8 มิลลิเมตร มีกลิ่นหอม ช่อดอกหนึ่งๆอาจมีดอก 3ชนิด (polygamo-monoecious) ดอกตัวผู้ (staminate) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ลักษณะที่คล้ายคลึงกันของดอกทั้ง 3 ชนิด คือกลีบดอกบาง 5 กลีบ สีขาว กลีบเลี้ยงหนาแข็ง 5 กลีบ มีสีเขียวปนน้ำตาล

ก. ดอกตัวผู้ มีเกสรตัวผู้ 6-8 อันเรียงเป็นชั้นเดียวกันบนจานรองดอก(disc) ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนและมีลักษณะอุ้มน้ำ ก้านชูเกสรตัวผู้มีขน เกสรตัวผู้มีความยาวสม่ำเสมอคือยาวประมาณ 3-5 มิลลิเมตร อับเรณูมี 2 หยัก และเมื่อแตกจะแตกตามยาว (longitudinal dehiscence)

ภาพที่ 5 ดอกตัวผู้

ที่มา : คลังข้อมูลสารสนเทศลำไยเชิงลึก (2553)

ข. ดอกตัวเมีย ประกอบด้วยรังไข่ที่มี 2 พู (bicarpellate) ตั้งอยู่บนจานรองดอกเป็นแบบ superior ovary ด้านนอกของรังไข่มีขนปกคุลมอยู่ แต่ละพูจะมีเพียง 1 ช่อง(locule) เท่านั้น ที่จะเจริญเติบโตและพัฒนาจนเป็นผล ส่วนอีกพูหนึ่งจะค่อยๆ ฝ่อ ในบางกรณีอาจผสมไข่ทั้งสองเจริญจนเป็นผลได้ เกสรตัวเมีย (Style) ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ตรงปลายยอดเกสร (stigma) แยกออกเป็น 2 แฉก เห็นได้ชัดเมื่อดอกบานเต็มที่ เกสรตัวผู้มีประมาณ 8 อัน ก้านเกสรตัวผู้เป็นแบบ semi-sessile filament สั้นเพียง 1 มิลลิเมตร อับเรณูของเกสรตัวผู้จะไม่มีการแตกและไม่มีการงอก แต่จะค่อยๆแห้งตายไปหลังดอกบาน

ภาพที่ 6 ดอกตัวเมีย

ที่มา : คลังข้อมูลสารสนเทศลำไยเชิงลึก (2553)

ค. ดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน รังไข่พองเป็นกระเปาะค่อนข้างกลม ขนาดเล็กกว่ารังไข่ของดอกเพศเมีย ยอดเกสรตัวเมียจะสั้นกว่าและตรงปลายจะแยกเพียงเล็กน้อยเมื่อดอกบาน ก้านชูอับละอองของดอกสมบูรณ์เพศจะมีความยาวสม่ำเสมอกัน คือ มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.5 -3.0 เซนติเมตร ดอกสมบูรณ์เพศสามารถติดผลได้เช่นเดียวกับดอกตัวเมีย

ภาพที่ 7 ดอกสมบูรณ์เพศ

ที่มา : คลังข้อมูลสารสนเทศลำไยเชิงลึก (2553)

เมล็ด มีลักษณะกลมจนถึงแบน เมื่อยังไม่แก่มีสีขาวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีดำมัน ส่วนของเมล็ดนี้จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างกันไปตามพันธุ์ เมื่อผลแก่จัดถ้ายังไม่เก็บเกี่ยว placenta จะใหญ่ขึ้นเนื่องจาก placenta ดูดอาหารขึ้นไปเลี้ยงเมล็ด ทำให้เนื้อเยื่อมีรสชาติจืดลง

7.2 ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอในระยะผลแก่

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอในระยะผลแก่

ธาตุอาหาร	ส่วนต่างๆ ของผล		
	เปลือกผล	เนื้อ	เมล็ด
ไนโตรเจน (%)	1.06	0.78	1.11
ฟอสฟอรัส (%)	0.09	0.15	0.15
โพแทสเซียม (%)	0.67	1.11	0.53
แคลเซียม (%)	1.41	0.07	0.14
แมกนีเซียม (%)	0.15	0.05	0.06
เหล็ก (มก/กก.)	56.50	25.90	168.00
แมงกานีส (มก/กก.)	49.60	5.90	14.10
สังกะสี (มก/กก.)	10.70	8.50	18.40
ทองแดง (มก/กก.)	6.10	7.80	8.60

ที่มา : ปฏิภาณ (2555)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ

ธงชัย (2524) ศึกษาการผลิตและการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในห้องปฏิบัติการ โดยอินทรียวัตถุที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้แก่ มูลโค ต้นถั่วลิสง หญ้าและฟางข้าว นำมาหมักในสภาวะAnaerobic แบบ Semi-continuous พบว่ามูลโคให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดต่อวัน ส่วนวัสดุอื่นๆให้ปริมาณก๊าซต่อวันน้อยกว่ามูลโคมากและให้ปริมาณก๊าซที่ไม่ต่างกันมากนัก ก๊าซจากมูลโคและวัสดุอื่นๆ มีเปอร์เซ็นต์ของมีเทนปริมาณไล่เลี่ยกัน

จิรวัฒน์ (2546) ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้ออกซิเจนอัตราการย่อยสูงของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลไม้บรรจุกระป๋อง โดยวัสดุหมักที่นำมาศึกษาเป็นเศษเปลือกและแกนสับปะรดที่บดให้มีขนาด 1x1 ซม. แล้วป้อนเข้าสู่ระบบวันละ 1 ครั้ง ใช้ถังเหล็กรูปทรงกระบอก 250 ลิตรและมีใบพัดกวนอยู่ภายในถัง พบว่า การเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจะทำให้อัตราการเกิดก๊าซต่อสารอินทรีย์ที่ใช้และสัดส่วนของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น

เพชรและสายทิพย์ (ม.ป.ป.) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษพืชต่างๆ โดยใช้มูลสุกรผสมกับเศษพืช คือ ผักตบชวา หญ้านวลน้อย ใบสนปดิพัทธ์ และหญ้าขน ในอัตราส่วน 5:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ ปรากฏว่า ใบสนปดิพัทธ์ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพดีกว่าและให้ก๊าซในช่วงเวลาที่นานกว่าเศษพืชชนิดอื่นๆ

พงษ์ศักดิ์ (2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคและเปลือกสับปะรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคและเปลือกสับปะรดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในอัตราส่วนมูลโค:เปลือกสับปะรด:น้ำกลั่น คือ 1:0:1 และระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน จะทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซมีเทน เท่ากับ 46.19% v/v

ศักรินทร์ (2555) ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์ จากการทดลองพบว่า อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลไก่เนื้อปนแกลบที่มีอัตราส่วนการเจือจางมูลไก่ต่อน้ำ 1:3 และ1:5 เทียบเท่า TS เท่ากับ 152,098 และ 112,670 มิลลิกรัมต่อลิตร (TSประมาณ 15 และ11%) สามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.173 และ 0.176 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยที่ป้อน เทียบเท่า 101.36 และ 103.48 ลิตรต่อกิโลกรัม

สิริชัย (2556) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อหมักรางของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่วนแรกเป็นการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยศึกษาอัตราส่วนผสมมูลไก่ต่อน้ำ จากการทดลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลไก่ไข่ของ RPM ฟาร์ม จ.เชียงใหม่ เมื่อปรับอัตราส่วนการเจือจางมูลไก่ต่อน้ำ 1:2, 1:4, 1:8 และ1:10 เทียบเท่า TS เท่ากับ 94,405, 57,406, 34,906 และ 31,049 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.310, 0.318, 0.320, และ 0.334 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมปริมาณของแข็งระเหยที่ป้อนเมื่อคิดเทียบกับจำนวนไก่ 1 ตัวจะสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 9.34 9.70, 9.77 และ10.19 ลิตรต่อตัวต่อวัน

หทัยรัตน์ (2555) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกลำไยและเปลือกลิ้นจี่โดยการย่อยสลายร่วมกับมูลไก่ ผลการทดลองพบว่าถังที่หมักร่วมกับมูลไก่โดยใช้เปลือกลิ้นจี่อย่างเดียวและใช้เปลือกลำไยอย่างเดียวปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะเท่ากับ 0.04+0.01 และ 0.10+0.05 ล.CH4/ก. VS added ตามลำดับ และถังที่หมักร่วมกับยูเรียโดยใช้เปลือกลิ้นจี่อย่างเดียวและใช้เปลือกลำไยอย่างเดียวปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะเท่ากับ 0.02 และ 0.05+0.02 ล.CH4/ก. VS added ตามลำดับ แสดงให้เป็นว่าเปลือกลำไยมีประสิทธิภาพที่จะได้ปริมาณก๊าซมีเทนมากกว่าเปลือกลิ้นจี่

พลกฤษณ์ (2557) รายงานการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การจุดติดไฟสูงสุดเท่ากับ 93% และแสดงถึงการผลิตก๊าซชีวภาพได้ด้วยวิธีอย่างง่าย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ไพศาล (2553) ศึกษาการหมักร่วมระหว่างใบยางพารากับมูลโค และใบยางพารากับมูลสุกร พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างใบยางพารากับมูลโค และระหว่างใบยางพารากับสุกรที่ 10% ผลิตก๊าซได้สูงสุด รองลงมา คือ 30% และ 50% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักระหว่างใบยางพารากับมูลโค และใบยางพาร่วมกับมูลสุกรที่อัตราส่วนเกิดก๊าซสูงสุด (10%) พบว่าการหมักระหว่างใบยางพารากับมูลโค ผลิตก๊าซได้สูงกว่าใบยางพาร่วมกับมูลสุกร เท่ากับ 1664.33 มิลลิลิตร และ 1322.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ

จรูญ และคณะ (2553) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 73.12 ลิตร และ 91.68 ลิตร ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการหมัก 15 วัน และเมื่อนำก๊าซชีวภาพไปเผาต้มน้ำ พบว่า ให้พลังงานความร้อน 17.4 Kcal และ 129.6 Kcal ตามลำดับ

ชาญ (2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชผักร่วมกับมูลสัตว์ พบว่าอัตราส่วนของมูลสุกรต่อมูลโคที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ 70:30 และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.5-6.5

วรรณกร และคณะ (2553) ศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง พบว่าการทดลองหมักแบบเปียกมีประสิทธิภาพการกำจัด VS ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด TS 5% จากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง มีค่าเท่ากับ 60.27 %.และ 68.28 % ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,439 มิลลิลิตร และ 1,170 มิลลิลิตร ตามลำดับ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 57.56 มิลลิลิตร/กรัม และ 46.8 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ

รุ่งนภา (2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักร่วมกับมูลสุกร พบว่าปริมาตรก๊าซ ที่ได้จากการหมักเศษผักร่วมกับมูลสุกรร้อยละ 50 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุด ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้สูงสุดเท่ากับ 1,248 มิลลิลิตร

ฟาริดา และคณะ (2557) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ พบว่าอัตราส่วนของหญ้าต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุดสำหรับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และอาลาฟัล คืออัตราส่วน 1:3, 1:2 และ 1:2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 22.45, 26.25 และ 24.29 ลิตร คิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.37, 0.53 และ 0.47 ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกรัมของแข็งระเหย มีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีร้อยละ 82.8, 76.9 และ 85.0

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี