

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ

Biogas Production by Co-digestion of Swiftlet Faeces with Aquatic Plants

โชติรัตน์ ศรีเกลื่อน¹ ปณัตตา จะแจ้ง¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู² จำเนียร ชมภู³ และ วนิดา สืบสายพรหม^{4*}

Chotirat Srikluan¹, Panutda Jhajang¹, Chaisit Thongjoo², Jamnian Chompoo³
and Wanida Suebsaiprom^{4*}

¹สาขาวิจัยและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Research and Development Agriculture Program, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Nakhon Pathom 73140, Thailand

²ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

⁴ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: agrwdj@ku.ac.th

(Received: 13 July 2018; Accepted: 25 October 2018)

Abstract: The study aimed to improve the efficiency of biogas production by co-digestion of swiftlet faeces and aquatic plants with or without seed from poultry waste, by using 3x2 factorial in CRD with 5 replications. The experiment contained 2 factors: the first factor was co-digestion of swiftlet faeces and aquatic plants (azolla and water hyacinth) comparing it without aquatic plants (control). The seed from poultry waste was added and not added with co-digestion system was secondary factor. This study was consisted 6 treatments including digestion of swiftlet faeces and without seed from poultry waste (T1), co-digestion of swiftlet faeces and azolla without seed from poultry waste (T2), co-digestion of swiftlet faeces and water hyacinth without seed from poultry waste (T3), digestion of swiftlet faeces and with seed from poultry waste (T4), co-digestion of swiftlet faeces and azolla with seed from poultry waste (T5) and co-digestion of swiftlet faeces and water hyacinth with seed from poultry waste (T6). The biogas content was recorded daily for calculation of accumulated biogas in the system. After 40 days start-up running, CH₄ and CO₂ yields were analyzed. Moreover, pH value was measured and the removal efficiency of BOD, COD, TS and TVS were investigated in influent and effluent. The results showed that co-digestion of swiftlet faeces with water hyacinth and added seed from chicken manure are the factors to significantly increase the amount of biogas and methane content ($P<0.05$). For interaction effect of treatment, T3, T5, and T6 can increase the efficiency in biogas production. Their biogas products were 61.00, 62.40 and 75.60 mL/30 ml (initial volume), respectively. Moreover, T6 was the highest yield of methane at 67.87%. In case of removal of organic matter in the system, we found that T6 had the maximum

BOD removal efficiency at 88.16%. Whereas, T4, T5 and T6 showed high removal efficiency of COD at 90.17, 81.59 and 88.16%, respectively. The removal efficiency of TS and TVS, T2 was the highest removal rate at 81.44 and 82.79 %, respectively, with significant different comparing with the others ($P < 0.05$). Therefore, biogas production by co-digestion of swiftlet faeces with aquatic plants is another alternative for the management of waste from swiftlet houses in order to reduce the amount of waste and toxic gas buildup in bird houses. Moreover, it does not affect the swiftlets, entrepreneurs, consumers and the surrounding environment.

Keywords: Biogas, co-digestion, swiftlet faeces, water hyacinth, azolla

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ ด้วยการเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial in CRD ทำการทดลอง 5 ซ้ำ สิ่งทดลองมี 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 คือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ ได้แก่ แหนแดง และผักตบชวา เปรียบเทียบกับการไม่ใส่พืชน้ำ (ชุดควบคุม) และปัจจัยที่ 2 คือ การเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มทดลอง ได้แก่ การหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรัง โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T1) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T2) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T3) การหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรัง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T4) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T5) และการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T6) บันทึกข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันเพื่อคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในระบบ วิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 40 วันหลังจากเริ่มระบบ นอกจากนี้วัดค่า เพื่อวัดค่าความเป็นกรดต่าง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด BOD, COD, TS และ TVS ในตัวอย่างน้ำก่อนเข้าและหลังออกจากระบบหมัก พบว่า ปัจจัยด้านการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา และปัจจัยด้านการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณารายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของ T3, T5 และ T6 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ เท่ากับ 61.00, 62.40 และ 75.60 มิลลิลิตรต่อปริมาตรเริ่มต้น 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการหมักย่อยร่วมของ T6 ทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนมากที่สุด เท่ากับ 67.87% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงสุดใน T6 เท่ากับ 88.16% ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดใน T4, T5 และ T6 เท่ากับ 90.17, 81.59 และ 88.16% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด TS และ TVS สูงสุดใน T2 เท่ากับ 81.44 และ 82.79% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มทดลอง ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดการของเสียที่เกิดจากบ้านนกแอ่นกินรัง เพื่อลดปริมาณของเสียและการสะสมก๊าซพิษภายในบ้านนก อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อตัวนกแอ่นกินรัง ผู้ประกอบการ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมรอบข้าง

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ การหมักย่อยร่วม ผักตบชวา มูลนกแอ่นกินรัง แหนแดง

คำนำ

จากงานวิจัยที่รายงานว่ารังนกแอ่นกินรังมีสรรพคุณช่วยเสริมสร้างสุขภาพ บรรเทาอาการหอบหืด ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน และบำรุงผิวพรรณ (นันทประภา, 2556; Norhayati *et al.*, 2010) ทำให้รังนกแอ่นกินรังเป็นสินค้าราคาแพงและมีผลประโยชน์อย่างสูง ในระหว่างปี พ.ศ.2550 ถึง 2555 ประเทศไทยมีการส่งออกรังนกแอ่นกินรัง ปริมาณ 14,075 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 15,737,174 บาท (กระทรวงพาณิชย์, 2556) เป็นผลให้การเก็บรังนกแอ่นกินรังตามธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด จึงมีผู้สนใจทำธุรกิจบ้านนกแอ่นกินรังมากขึ้น โดยการสร้างบ้านหรืออาคารเลียนแบบที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของนกแอ่นกินรัง (swiftlet) ซึ่งบ้านนกแอ่นกินรังในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เรียบชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะทางภาคใต้ โดยที่การสะสมของของเสียภายในบ้านนก เช่น มูลของนกแอ่นกินรัง (swiftlet faeces) จึงเป็นปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลต่อสุขภาพของผู้เลี้ยง ชุมชนรอบข้าง ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์รังนกที่ได้ (โชติรัตน์ และวนิดา, 2560) ดังนั้น การจัดการของเสียจึงเป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีทางปศุสัตว์ มีผลต่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์รังนก และโอกาสในการยกระดับเป็นสินค้าส่งออก วิธีการจัดการของเสียที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็น และสามารถช่วยลดปริมาณของเสียในบ้านนก รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตรังนกและเพิ่มมูลค่ารังนกได้ วิธีการบำบัดของเสียแบบไร้ออกซิเจนหรือการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นกระบวนการหมักย่อยสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) จัดเป็นวิธีการบำบัดของเสียที่สมบูรณ์แบบและเป็นมาตรฐานในการรักษาสภาพแวดล้อมที่ให้ผลดีที่สุด (นิรันดร์ และคณะ, 2545) โดยขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ (hydrolysis) การผลิตกรดอินทรีย์ (acidogenesis and acetogenesis) และการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) (วนิดา, 2553; Budiyo *et al.*, 2014) ได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 45-65% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 35-45% ไนโตรเจน

(N_2) 0-3% ไฮโดรเจน (H_2) 0-1% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0-1% (Ogiehor and Ovueni, 2014) สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปหรือที่เรียกว่าการหมักย่อยร่วม (co-digestion) เป็นกระบวนการหมักย่อยร่วมระหว่างวัตถุดิบหลักซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกมูลสัตว์ และวัตถุดิบรองเป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณสูง อาทิเช่น แหนแดง (azolla) ผักตบชวา (water hyacinth) ซึ่งจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักย่อยร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ (จำเนียร และคณะ, 2560; สุนัดดา และคณะ, 2558) การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหามลพิษจากของเสียที่เกิดจากบ้านนกแอ่นกินรัง และเป็นแนวทางในการจัดการบ้านนกแอ่นกินรังตามมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed) โดยใช้มูลสดของไก่จากฟาร์มไก่ไข่ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเริ่มต้นใช้มูลไก่เข้มข้นปริมาณ 100 กรัม เติมน้ำปริมาตร 1 ลิตร ลงในขวดพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท และเติมนูลไก่เข้มข้นทุก ๆ 7 วัน รวมทั้งหมด 5 ครั้ง เป็นระยะเวลา 35 วัน เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลอง จะได้หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ประมาณ 70%TS

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การศึกษาผลของการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ แหนแดง และผักตบชวา เปรียบเทียบกับการเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากมูลไก่ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยใช้มูลนกแอ่นกินรังจากสมาชิกชมรมนกแอ่นกระบี่ จังหวัดกระบี่ ส่วน

ผักตบชวาและแหนแดง เก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นำตัวอย่างพืชน้ำจืดมาทำความสะอาดเพื่อเอาตะกอนสิ่งปนเปื้อนออก หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำไปใส่รวมกับมูลนกแอ่นกินรัง และหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นตามอัตราส่วนของแข็งทั้งหมด (total solid; TS) ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลางหรือผนังเซลล์ (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) และปริมาณลิกนิน (acid detergent lignin; ADL) ตามวิธีของ Van Soest *et al.* (1991)

2. การดำเนินการระบบ

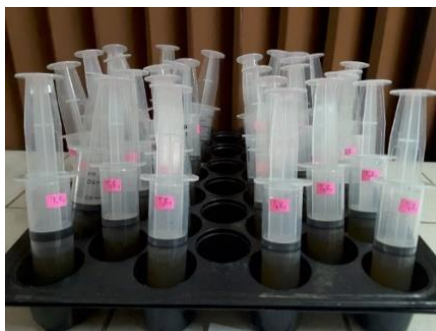
ทำการหมักกลุ่มตัวอย่างทดลองในถังหมักแบบกะ (batch) ดัดแปลงโดยใช้ระบบบ่อขี้ดียวขนาด 60 มิลลิลิตร ปริมาตรการใช้งานจริง 30 มิลลิลิตร ใส่วัตถุดิบตั้งต้นทั้งหมดและใส่อากาศออกจากระบบบ่อขี้ดียว

จนหมด (ไม่ให้มีพื้นที่ว่างในระบบบ่อ) ปิดปลายระบบออกด้วยพาราฟิล์มป้องกันอากาศเข้าออก (ภาพที่ 1A) เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร/วัน ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากพื้นที่ว่างภายในระบบบ่อขี้ดียว โดยใช้หลอดสุญญากาศ (venoject tube) เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ 40 วันหลังจากเริ่มระบบ (ภาพที่ 1B) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง gas chromatography (Shimadzu model GC-8A, Japan) นอกจากนี้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบหมัก (ที่ 0 วันหลังจากเริ่มระบบ) และหลังออกจากระบบหมัก (40 วันหลังจากเริ่มระบบ) วัดค่าความเป็นกรดด่างและวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (biochemical oxygen demand; BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ได้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (chemical oxygen demand; COD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid; TS) และปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (total volatile solid; TVS) ด้วยวิธี standard methods (American Public Health Association, 1998)

Table 1. The ratio of swiftlet faeces, azolla, water hyacinth and seed of each treatment

Treatment	Swiftlet faeces	Azolla	Water hyacinth	Seed ¹
T1	8%TS ²	-	-	-
T2	4%TS	4%TS	-	-
T3	4%TS	-	4%TS	-
T4	8%TS	-	-	10%Vol ³
T5	4%TS	4%TS	-	10%Vol
T6	4%TS	-	4%TS	10%Vol

¹Seed = concentrated microorganism from chicken manure, ²TS = total solid, ³Vol = initial volum



(A)



(B)

Figure 1. Batch digestion system (A) and biogas collection method (B)

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ตามแผนการทดลอง 3x2 factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น ได้แก่ มูลนกแอ่นกินรัง แหนแดง และผักตบชวา (ตารางที่ 2) พบว่า มูลนกแอ่นกินรังมีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมูลสุกรที่มีค่า NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 44, 14 และ 3%DM ตามลำดับ (Vardon *et al.*, 2011) ในขณะที่แหนแดงมีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ใกล้เคียงกับรายงานของ Malik *et al.* (2014) ที่ระบุว่า NDF, ADF และ ADL ของแหนแดง เท่ากับ 36.88-57.06, 36.57-48.91 และ 24.05-27.87%DM ตามลำดับ ส่วนผักตบชวามีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ใกล้เคียงกับรายงานของ Alalade and Iyayi (2006) ที่อ้างว่า NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 63.54-68.97, 33.85-37.46 และ 12.86-15.31%DM ตามลำดับ

ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นในระบบ (accumulate gas) (ตารางที่ 3) พบว่า ปัจจัยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีผลต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ

สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดงและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว (กลุ่มควบคุม) ส่วนการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น และมีค่าแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาแต่ละรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T5) โดยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T3) ให้ปริมาณก๊าซสะสมเฉลี่ยสูงสุด 75.60 62.40 และ 61.00 มิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T1), การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) และการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T4) ที่สามารถผลิตก๊าซได้เฉลี่ย 7.00, 26.80 และ 10.60 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เนื่องจากการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่เป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ ทำให้ระบบมีจุลินทรีย์มากพอต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในการผลิตก๊าซชีวภาพ และผักตบชวามีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงกว่าแหนแดง เซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวของกลูโคส ไม่ละลายน้ำ แต่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ (Perez *et al.*, 2002) ซึ่งก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เกิดจากการหมักย่อยสารจำพวกเซลลูโลส และเอมิเซลลูโลสภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (อรุณี, 2555) ดังนั้น การผลิตก๊าซ

Table 2. Chemical composition of swiftlet faeces, azolla and water hyacinth

Matter	NDF ¹ (%DM)	ADF ² (%DM)	ADL ³ (%DM)
Swiftlet faeces	60.70	29.26	10.76
Azolla	44.95	37.17	27.91
Water hyacinth	67.63	35.54	15.81

¹NDF = neutral detergent fiber, ²ADF = acid detergent fiber, ³ADL = acid detergent lignin

Table 3. Biogas yield and composition of biogas

Treatment	Accumulate gas (ml)	Biogas composition (%)	
		CH ₄	CO ₂
Co-digestion (A)			
swiftlet faeces (control)	8.80 c ¹	15.11 c	10.13 c
swiftlet faeces+azolla	44.60 b	45.61 b	26.52 b
swiftlet faeces+water hyacinth	68.30 a	60.14 a	33.16 a
Seeding (B)			
without seed	31.60 b	32.07 b	17.80 b
with seed	49.53 a	48.50 a	28.74 a
A x B			
T1: 8%swiftlet faeces (without seed)	7.00 b	10.57 e	6.85 e
T2: 4%swiftlet faeces+4%azolla (without seed)	26.80 b	33.23 c	18.22 c
T3: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (without seed)	61.00 a	52.41 b	28.32 b
T4: 8%swiftlet faeces (with seed)	10.60 b	19.65 d	13.40 d
T5: 4%swiftlet faeces+4%azolla (with seed)	62.40 a	57.98 b	34.83 a
T6: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (with seed)	75.60 a	67.87 a	38.00 a
CV (%)	29.69	16.11	10.53

¹Means in the same column followed by a common latter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test

ชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมมูลสัตว์กับพืชน้ำ เป็นการเพิ่มปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ให้แก่ระบบ และส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Iyagba *et al.* (2009) ใช้มูลโคร่วมกับฟางข้าวในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การใช้มูลโคหมักย่อยร่วมกับฟางข้าวในสัดส่วน 50:50 ทำให้ได้มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุด และส่งผลให้มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้มูลโคหมักย่อยร่วมกับฟางข้าวในสัดส่วน 25:75 และ 0:100 ส่วนสับคั่ว และคณะ (2558) ได้ศึกษาการหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำ พบว่า มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการใช้มูลสุกรเพียงอย่างเดียว

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ด้วยเครื่อง gas chromatography คำนวณปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ตารางที่ 3) พบว่า ชนิดของพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีผลต่อปริมาณผลผลิตของก๊าซมีเทนอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับผักตบชวาให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับแหนแดงและมูลนกแอ่นกับพืชน้ำเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) ให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงสุด 67.87% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสอดคล้องกับผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่ง Xie *et al.* (2011) ได้ศึกษาผลของการหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับหญ้าหมักต่อปริมาณก๊าซมีเทนมีผลได้ พบว่า กลุ่มที่ใช้มูลสุกรต่อหญ้าหมักในสัดส่วน 3:1 และ 1:1 ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ใช้มูลสุกรหรือหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการหมักย่อยร่วมของมูลสัตว์

และอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ จะทำให้เกิดความสมดุลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีผลทำให้ระบบการหมักย่อยมีประสิทธิภาพ และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้สูงกว่าการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว (Callaghan *et al.*, 2002) นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าปัจจัยด้านชนิดพืชน้ำและปัจจัยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่มีผลต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดงและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า T5 และ T6 ให้ปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง 34.83 และ 38.00% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น เนื่องจากมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำที่ใช้ เมื่อนำมาหมักย่อยร่วมกันทำให้แหล่งคาร์บอนใน

ระบบสูง ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลผลิตของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์แปรผันตามกันกับผลผลิตของก๊าซมีเทน เช่นเดียวกับรายงานของ Kavuma (2013) ในการศึกษาผลผลิตก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยก๊าซชีวภาพที่ดีจะมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ประมาณ 45-65 % และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 35-45% (Ogiehor and Ovueni, 2014)

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ

จากการทดลอง ผลของปัจจัยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ BOD, COD, TS และ TVS ของระบบ (ตารางที่ 4) พบว่า ปัจจัยการหมักย่อยร่วมกับพืชน้ำ และปัจจัยการ

Table 4. The pH value from influent and effluent and the removal efficiency of organic matters in system

Treatment	pH		Removal efficiency (%)			
	Influent	Effluent	BOD ²	COD ³	TS ⁴	TVS ⁵
Co-digestion (A)						
non (control)	8.00 a ¹	7.31 a	55.77 c	67.41 a	38.96 c	66.50 b
with azolla	7.87 b	6.82 b	74.41 b	69.70 a	80.23 a	81.65 a
with water hyacinth	7.81 c	6.83 b	83.13 a	57.03 b	79.00 b	81.70 a
Seeding (B)						
without seed	8.04 a	7.16 a	67.25 b	43.61 b	66.39 a	77.00 a
with seed	7.75 b	6.82 b	74.96 a	85.82 a	65.74 a	76.24 b
A x B						
T1: 8%swiftlet faeces (without seed)	8.18 a	7.83 a	54.40 f	44.65 b	39.44 d	66.47 d
T2: 4%swiftlet faeces+4%azolla (without seed)	8.03 b	6.83 b	69.23 d	57.80 b	81.44 a	82.79 a
T3: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (without seed)	7.91 c	6.83 b	78.10 c	28.38 c	78.28 c	81.74 b
T4: 8%swiftlet faeces (with seed)	7.82 d	6.80 b	57.13 e	90.17 a	38.49 d	66.52 d
T5: 4%swiftlet faeces+4%azolla (with seed)	7.72 e	6.82 b	79.59 b	81.59 a	79.01 bc	80.51 c
T6: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (with seed)	7.71 e	6.83 b	88.16 a	85.68 a	79.71 b	81.67 b
CV (%)	0.27	0.21	0.08	8.92	0.82	0.05

¹Means in the same column followed by a common latter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test

²BOD = biochemical oxygen demand, ³COD = chemical oxygen demand, ⁴TS = total solid, ⁵TVS = total volatile solid

เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับແຮນແດງและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบสูงกว่าการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงที่สุดเฉลี่ย 88.16% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ในขณะที่ปัจจัยด้านการหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว และการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับผักตบชวา ส่วนปัจจัยด้านการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบสูงกว่าการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาผลในรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรัง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T4) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T5) และการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) มีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงใกล้เคียงกันเฉลี่ย 90.17, 81.59 และ 85.68% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว (T1) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) และการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T3)

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ พบว่า ปัจจัยหลักด้านการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับผักตบชวาและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ส่วนปัจจัยด้านการเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด

TS ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) มีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดเฉลี่ย 81.44% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาและกับແຮນແດງทั้งแบบเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีประสิทธิภาพการกำจัด TVS ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณารายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) มีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงที่สุดเฉลี่ย 82.79% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ซึ่งค่า pH ของงานทดลองนี้ทั้งในรูปของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (influent) และน้ำเสียหลังออกจากระบบ (effluent) พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (pH 6.5-7.5) ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ผจสข และคณะ, 2554) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบเพิ่มขึ้น

สรุป

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพีชน้ำ พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาและกับແຮນແດງ โดยมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่เป็นจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ รวมทั้งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในระบบได้ดี ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดการมูลนกแอ่นกินรัง โดยอาจเลือกใช้พีชน้ำชนิดที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ประกอบการบ้านนกแอ่นกินรังจากชมรมนกแอ่นกระบี่ จังหวัดกระบี่ ที่เอื้อเฟื้อมูลนกแอ่นกินรัง และขอขอบคุณภาควิชาสัตวบาล ภาควิชาปฐพีวิทยา และศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพาณิชย์. 2556. การประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : <http://www.acfs.go.th/news/docs/birdsnest.pdf> (7 เมษายน 2561).
- จำเนียร ชมภู สุนัดดา ไชยสิทธิ์ และ วนิดา สืบสายพรหม. 2560. การใช้ประโยชน์จากวัชพืชน้ำในการหมักย่อยร่วมกับมูลสุกรต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 35(3): 9-18.
- โชติรัตน์ ศรีเกลื่อน และ วนิดา สืบสายพรหม. 2560. การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลนกแอ่น. หน้า 94-102. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 14. 7-8 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- นันทประภา นันทิยะกุล. 2556. การประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. หน้า 1-26. ใน: รายงานการประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- นิรันดร์ โพธิกานนท์ วราภา คุณาพร และ โชค มิเกล็ด. 2545. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ. วารสารเกษตร 18(1): 73-87.
- ผจสุข สุธาร์ตน์ เสาวนิตย์ ชอบบุญ นิศากร วิทจิต สมบูรณ์ และ อนุมิตี เดชนะ. 2554. การพัฒนาถึงผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์. สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา, สงขลา. 108 หน้า.
- วนิดา สืบสายพรหม. 2553. การจัดการส้วมภายในโรงเรียนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ระดับปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 107 หน้า.
- สุนัดดา ไชยสิทธิ์ จำเนียร ชมภู และ วนิดา สืบสายพรหม. 2558. การหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ. หน้า 263-272. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. 17-19 มิถุนายน 2558. โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ,ชลบุรี.
- อรุณี ศุภสินสาริต. 2555. พลังงานจากชีวมวลที่มีลักษณะลูลูสูง. วารสารสิ่งแวดล้อม 16(2): 36-43.
- Alalade, O.A. and E.A. Iyayi. 2006. Chemical composition and the feeding value of azolla (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. International Journal of Poultry Science 5(2): 137-141.
- American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. United Book Press, Inc., Baltimore.
- Budiyono, I. Syaichurrozi and S. Sumardiono. 2014. Effect of total solid content to biogas production rate from vinasse. International Journal of Engineering 27(2): 177-184.
- Callaghan, F.J., D.A. J. Wase, K. Thayanithy, C.F. Forster. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. Biomass Bioenergy 27: 71-77.
- Iyagba, E.T., I.A. Mangibo and Y.S. Mohammad. 2009. The study of cow dung as co-

- substrate with rice husk in biogas production. Scientific Research and Essay 4(9): 861-866.
- Kavuma, C. 2013. Variation of methane and carbon dioxide yield in a biogas plant. MSc. Thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Malik, A.A., A. Aremu, B.A. Ayanwale, A.T. Ijaiya, A.H.A. Badmos and A.H. Dikko. 2014. An evaluation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach) meal as a feedstuff for pullet chicks as determined by carcass and haematological characteristics. International Journal of Advanced Biotechnology and Research 4(2): 114-121.
- Norhayati, M.K., O. Azman and W.M. Wan Nazaimoon. 2010. Preliminary study of the nutritional content of Malaysian edible bird's nest. Malaysian Journal of Nutrition 16(3): 389-396.
- Ogiehor, I.S. and U.J. Ovueni. 2014. Effect of temperature, pH and solid concentration on biogas production from poultry waste. International Journal of Scientific & Engineering Research 5(1): 62-69.
- Perez, J., Munoz-Dorado, T.D.L. Rubia and J. Martinez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. International Microbiology 5(2): 53-63.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.
- Vardon, D.R., B.K. Sharma, J. Scott, G. Yu, Z. Wang, L. Schideman, Y. Zhang and T. Strathmann. 2011. Chemical properties of biocrude oil from the hydrothermal liquefaction of *Spirulina* algae, swine manure, and digested anaerobic sludge. Bioresource Technology 102: 8295-8303.
- Xie, S., P.G. Lawlor, J.P. Frost, Z. Hu and X. Zhan. 2011. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. Bioresource Technology 102: 5728-5733.
-