



การผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่ง ร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ

Biogas Production from Steam-Pretreated Water Hyacinth with Cow Dung by Batch Fermentation

กิตติยา ป้อมเงิน¹, ประภา โชษะสลาม¹, รัชพล พวงศรีรัตน์¹

Kittiya Pomngern¹, Prapa Soh-salam¹, Ratchapol Pawongrat¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาศักยภาพและการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่ง เป็นเวลา 60 นาที เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการหมักแบบกะ โดยควบคุมปริมาตรรวมที่ใช้หมักเท่ากับ 0.25 ลิตร ใช้ผักตบชวาร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 17.96:1 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน ซึ่งพบว่า การปรับสภาพมีผลต่อโครงสร้างของผักตบชวา และองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย โดยหลังการปรับสภาพพบว่ามี เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน คิดเป็นร้อยละ 41.61 16.27 และ 12.53 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 175.67 มิลลิลิตร และสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพโดยมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 57.00 มิลลิลิตร ในขณะที่การผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 30.87 และ 11.53 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งร้อยละ 25.40 และ 2.83 ตามลำดับ ร้อยละการกำจัด (% Removal) ของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) ของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS) ค่าซีไอดี และความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 40.24 45.44 27.11 63,502 และ 7.76 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพในช่วง 15 วันแรกของการหมัก

คำสำคัญ: แก๊สชีวภาพ การปรับสภาพด้วยการนึ่ง ผักตบชวา มูลวัว

Abstract

This study aimed to explore the potential and utilization of water hyacinth for biogas production. The study also aimed to examine unpretreated and steam-pretreated water hyacinth at 100oC for 60 to produce biogas production. The chemical compositions of water hyacinth and the biogas production in batch digestion with 0.25 L of total ferment material was in the ratio of water hyacinth to cow dung of 1 : 4 with C:N ratio of 17.96 : 1 at 33 oC for 40 days. The contents of cellulose, hemicellulose and ligninin unpretreated were 30.85, 25.10 and 2.81 w/w, respectively. After steam-pretreated, the contents of cellulose, hemicellulose and lignin were 41.61, 16.27 and 12.53 w/w, respectively. The pretreatment could broke down the chemical composition and increase cellulose. The biogas production of water hyacinth showed the highest cumulative biogas of 175.67 ml in steam-pretreated water hyacinth and higher than unpretreated of 57.00 ml.

¹ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

¹ Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus

Methane and carbon dioxide content of untreated were 30.87 and 11.53% which higher than those of steam-pretreated water hyacinth were 25.40 and 2.83%. Moreover, the removal efficiency of the total solids (TS), total volatile solid (TVS), total fixed solids (TFS), COD and average pH were 40.24, 45.44, 27.11%, 63,502 mg/l and 7.76, respectively. However, steam- pretreated water hyacinth is an effective method for biogas production which higher than untreated water hyacinth during the first 15 days of fermentation.

Keywords: Biogas, Steam Pretreatment, Water hyacinth, Cow Dung

บทนำ

ผักตบชวา (Water Hyacinth) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae เป็นวัชพืชน้ำ มีความสามารถในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำ และทางด้านการคมนาคมในปัจจุบัน (วิพรพรรณ เนื่องเม็ก, ชรินทร์ คงเดิม และมนัส ทิตยวรรณ, 2557) การคิดค้นวิธีการป้องกันกำจัดผักตบชวามีหลากหลายวิธี แต่ยังไม่มียุทธวิธีที่ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ประโยชน์สูงสุด (วิเชียร สีสุข, 2532; โอสถ นาคสกุล, วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง, พิไล กวีศราศัย และเสาวคนธ์ โรจนสถิต, 2529; Encarnacion, Cristobal & Paloma, 2008)

การเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกนำไปสู่ความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงลดน้อยลงและราคาพลังงานปรับตัวสูงขึ้น ทำให้การพัฒนาหาแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก แก๊สชีวภาพ (Biogas) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งแก๊สชีวภาพมีแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก เป็นพลังงานสะอาดสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ผลิตไฟฟ้า หรือผลิตความร้อนได้ โดยแก๊สมีเทน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนแก๊สหุงต้มได้ประมาณ 0.46 กิโลกรัม หรือผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2.086 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2551) ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้

การผลิตแก๊สชีวภาพสามารถทำได้หลายแหล่งวัตถุดิบ แต่การผลิตแก๊สชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีมากในประเทศ โดยเฉพาะวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น และวัชพืชน้ำ เช่น ผักตบชวา จอก ทุปถาฐ เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ภายในโครงสร้างมีองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่สามารถถูกนำมาใช้เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพได้ (Zhang , Wei,Wub, Qi,Li, Zuo & Dong, 2014) โดยนิยมนำมาหมักร่วมกับของเสียจากปศุสัตว์ เช่น มูลวัว เนื่องจากมีเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ (Corro, Paniagua, Pal, Banuelos & Rosas, 2013) แต่เนื่องจากโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนจึงมีความจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนปรับสภาพ (pretreatment) ซึ่งในผลิตแก๊สชีวภาพนั้น ลิกนินจะเป็นตัวขัดขวางกระบวนการหมักให้เป็นไปได้ซ้ำส่งผลให้ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพลดลง การปรับสภาพผักตบชวานั้นสามารถทำได้หลายวิธีการโดยอาจจะใช้วิธีการทางกายภาพ เช่น การบด การใช้ไอน้ำแรงดันสูง วิธีการทางเคมี เช่น การใช้กรดหรือด่าง วิธีการทางชีวภาพ เช่น การใช้เอนไซม์ หรือเชื้อจุลินทรีย์ หรือการใช้รวมกันในวิธีการดังกล่าวข้างต้น (Parveen, Dianne, Micheal & Pieter, 2009)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพโดยวิธีการทางกายภาพด้วยการนึ่งเปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาศักยภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพโดยใช้มูลวัวแห้งด้วยกระบวนการหมักแบบกะ (batch fermentation) ซึ่งเป็นกระบวนการหมักในระบบปิดที่มีสารอาหารเริ่มต้นจำกัด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาศักยภาพของการใช้ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพโดยการนึ่งในการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับมูลวัวแห้ง โดยกระบวนการหมักแบบกะ (batch fermentation)

วิธีการศึกษา

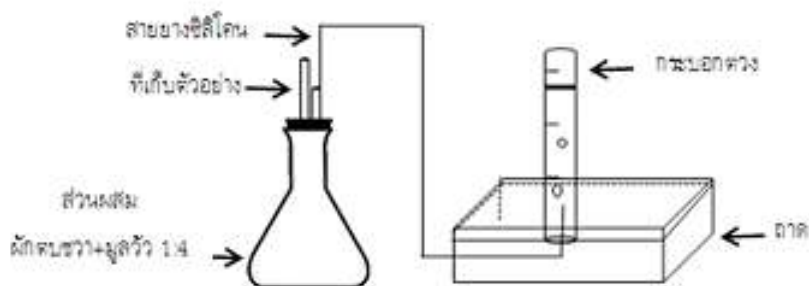
1. การเตรียมตัวอย่างผักตบชวาสำหรับการปรับสภาพและการเตรียมมูลวัว

เก็บตัวอย่างผักตบชวาจากส่วนใบ และลำต้น (จากแหล่งน้ำบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดเพื่อลดขนาด (ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร) ด้วยเครื่องบด แล้วทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเริ่มต้น ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการบดลดขนาดมาปรับสภาพโดยการนึ่งโดยให้น้ำร้อน เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือ และศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยผักตบชวาก่อนและหลังการปรับสภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เก็บตัวอย่างมูลวัวแห้ง (จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) นำมาผึ่งแดด 1 วัน จากนั้นนำมาบดเพื่อลดขนาด ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และกายภาพเริ่มต้น ได้แก่ ค่าความชื้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เก็บตัวอย่างมูลวัวไว้ในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ

การผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ ในชุดอุปกรณ์การผลิตแก๊สชีวภาพ ดัดแปลงมาจากวิธีการของเวสราซ์ สุนทรชัยบุรณ์, ธัญวิทย์ พลายงาม และรัชพล พะวงศ์รัตน์ (2558) (ภาพที่ 1) นำผักตบชวาที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับสภาพมาใส่ลงในพลาสติก ขนาด 0.5 ลิตร ควบคุมปริมาตรภายในถังหมักที่ 0.25 ลิตร โดยอัตราส่วนผักตบชวาต่อมูลวัว 1:4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C: N Ratio) เท่ากับ 17.96:1 ระยะเวลาในการหมัก 40 วัน ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างโดยการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นโดยวิธีการแทนที่น้ำ ทุกๆ 3 วัน หรือจนกว่าปริมาณแก๊สคงที่ วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่เก็บ ได้แก่ แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์การผลิตแก๊สชีวภาพ

3. การวิเคราะห์

การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของเส้นของผักตบชวา ก่อนและหลังการปรับสภาพ ดัดแปลงมาจากวิธีการของ AOAC (1980) การวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลวัวดัดแปลงมาจากวิธีการของ อรทัย ชาวลภาฤทธิ์ (2545) ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS) และค่าความชื้น ดัดแปลงมาจากวิธีการของ (AOAC, 1980) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Walkley & Black (1934) ค่าซีโอดี (COD) ดัดแปลงมาจากวิธีการของ มั่นสิน ตันทุลเวศม์ และมัทนักรักษ์ ตันทุลเวศม์ (2551) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเครื่องวัดค่าเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดัดแปลงมาจากวิธีการของทศนีย์ อุตตนันท์ และจรงค์ จันทรเจริญสุข (2542) การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Walkley & Black (1934) วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) ดัดแปลงมาจากวิธีการของสมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ ปิติรักษสกุล (2554) ได้แก่ ปริมาณแก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ขั้นตอนในการวิจัยและผลการทดลองทั้งหมดจากการวิจัยทั้งหมด 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.0 ($p < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาการเตรียมตัวอย่างผักตบชวาสำหรับการปรับสภาพ และการเตรียมมูลวัว

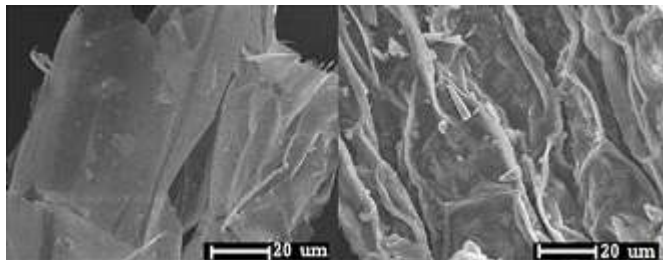
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน คิดเป็นร้อยละ 30.85, 25.10 และ 2.81 ตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการปรับสภาพ ส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลส และลิกนินเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 41.61 และ 12.53 ตามลำดับ แต่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง คิดเป็นร้อยละ 16.27 (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการปรับสภาพโดยการนึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่อาศัยไอน้ำร้อนซึ่งมีแรงดันไอสุงทำให้โครงสร้างของผักตบชวาเปิดออก สามารถทำให้องค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสแยกออกง่ายขึ้น ในขณะที่ลิกนินมีคุณสมบัติที่ทนต่อการย่อยสลายมากกว่า ดังนั้นในขั้นตอนการปรับสภาพอาจจะต้องมีการใช้สารเคมีร่วมด้วย เช่น สารละลายด่างเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินให้มากขึ้น (Zheng, Zhao, Xu & Li, 2014)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยของผักตบชวา ก่อนและหลังการปรับสภาพ

การปรับสภาพ	ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย			อื่นๆ	ร้อยละน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน		
ไม่ผ่านการปรับสภาพ	30.85	25.10	2.81	41.24	100
ผ่านการปรับสภาพ	41.61	16.27	12.53	29.59	92.2



สอดคล้องกับการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ภาพที่ 2 ก) มีลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ (ภาพที่ 2 ข) โดยพบว่าโครงสร้างจะถูกทำลายได้มากกว่า ทำให้เห็นโครงสร้างของเซลล์ของผักตบชวาชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสบางส่วนได้ถูกทำลายและแยกออกไป ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวจะช่วยส่งเสริมให้กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Lin et al., 2015; เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์, ธัญวิทย์ พลายงาม และรัชพล พะวงค์รัตน์, 2558)



ก.

ข.

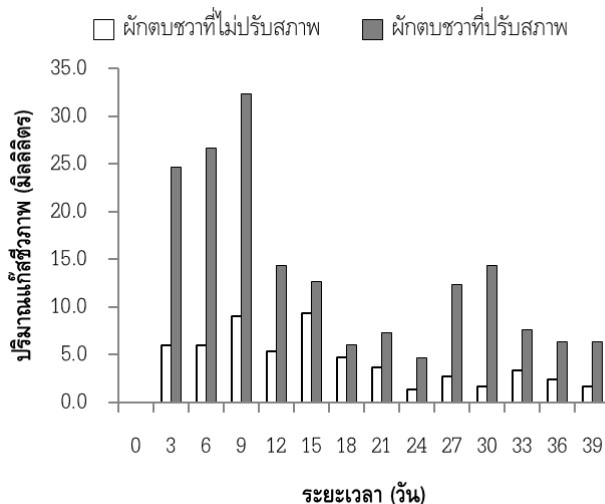
ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของผักตบชวา ก. ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ข. ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่ง 60 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของตัวอย่างมูลวัว พบว่ามูลวัวมีค่าความชื้นร้อยละ 11.08 และค่า C:N ratio ของผักตบชวาต่อมูลวัว มีค่าเท่ากับ 17.96:1 โดยจากการวิจัยของ Okeh, Chukwudi & Odibo (2014), Fernandez, Vargas, Alarco & Velasco (2008) และเวสารัช สุนทรชัยบูรณ์, ธัญวิทย์ พลายงาม และรัชพล พะวงค์รัตน์ (2558) พบว่าองค์ประกอบของวัสดุหมักมีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยค่า C:N ratio ที่เหมาะสมจะต้องอยู่ในช่วง 25-30:1 ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายมีประสิทธิภาพสูง และเกิดเร็วขึ้น โดยถ้าค่า C:N ratio ต่ำ ส่งผลให้ไนโตรเจนมีมากเกินไปทำให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) หรือ แอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นไปทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 8.5 ก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมทาโนเจนส์ (Methanogenic bacteria) ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพลดลง แต่ถ้าค่า C:N ratio สูง จะกระตุ้นให้แบคทีเรียเมทาโนเจนส์ใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ทำให้ไนโตรเจนหมดอย่างรวดเร็วส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพลดลงเช่นกัน

2. ผลการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ

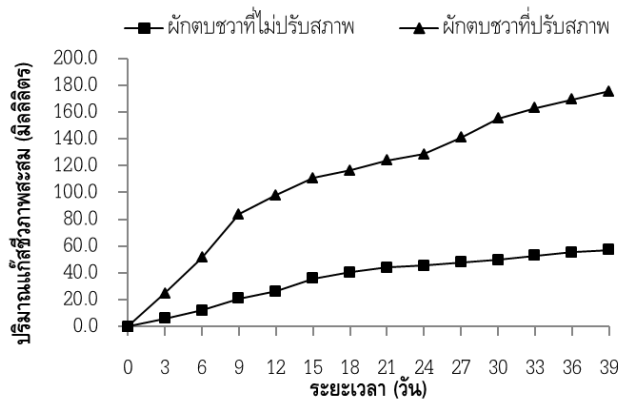
จากการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน จากภาพที่ 3 พบว่าการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาผ่านการปรับสภาพจะให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพที่สูงกว่า และเกิดแก๊สชีวภาพเร็วกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดยผลผลิตแก๊สชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนในช่วงวันที่ 9 มีการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ เท่ากับ 32.33 มิลลิลิตร ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาของ Singhal & Rai (2003) พบว่าอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่างวันที่ 9-12 ในขณะที่ผลผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดในช่วงวันที่ 15 เท่ากับ 9.33 มิลลิลิตร ซึ่งเมื่อทำการศึกษาและวัดผลผลิตอย่างต่อเนื่องจะพบว่า ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ต่อไป ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทำการเปลี่ยนโครงสร้างของผักตบชวาให้อยู่สภาวะ

ที่เหมาะสมต่อการหมัก ในขณะที่ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพจะมีผลผลิตแก๊สชีวภาพลดลงเนื่องจากว่าองค์ประกอบทางเคมีนั้นถูกย่อยจนเกือบหมดแล้วนั่นเอง (Fernandez, Vargas, Alarco & Velasco, 2008)



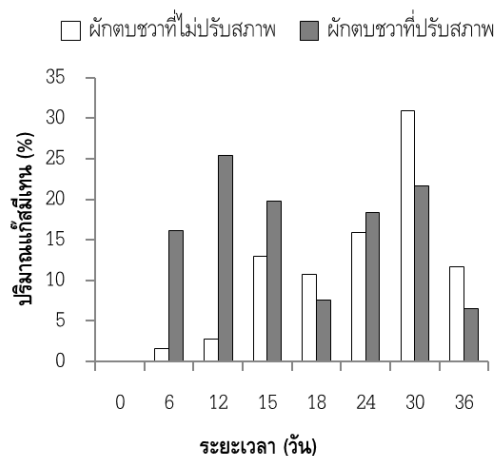
ภาพที่ 3 ปริมาณผลผลิตแก๊สชีวภาพทุกๆ 3 วัน ของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

จากภาพที่ 4 ปริมาณผลผลิตแก๊สชีวภาพสะสมของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เท่ากับ 175.67 และ 57.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ และผลผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มคงที่ในช่วงท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพคือช่วงวันที่ 37 เป็นต้นไป จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่าปริมาณแก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในช่วง 15 วันแรก โดยผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทน สูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และในวันที่ 12 ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุด คือร้อยละ 25.40 ($p < 0.05$) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2.83 ขณะที่ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทนเพียงร้อยละ 2.75 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1.76 แต่หลังจากวันที่ 15 เป็นต้นไป ผลผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทนสูงกว่าที่ผ่านการปรับสภาพ และในวันที่ 30 มีปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุดคือร้อยละ 30.87 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 11.53 ($p < 0.05$) (ภาพที่ 5 และ 6) ทั้งนี้ในช่วง 15 วันแรก ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เนื่องจากการปรับสภาพส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักตบชวาโดยโครงสร้างถูกเปิดออกเพื่อให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทันทีจึงทำให้อัตราการย่อยสลายและการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดเร็วขึ้นส่งผลให้ปริมาณแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ แต่หลังจากวันที่ 15 เป็นต้นไปพบว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ เนื่องจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีโครงสร้างที่แข็งแรงทำให้ยากต่อการย่อยสลายของแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์นานขึ้นส่งผลให้มีปริมาณแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ ดังนั้นผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

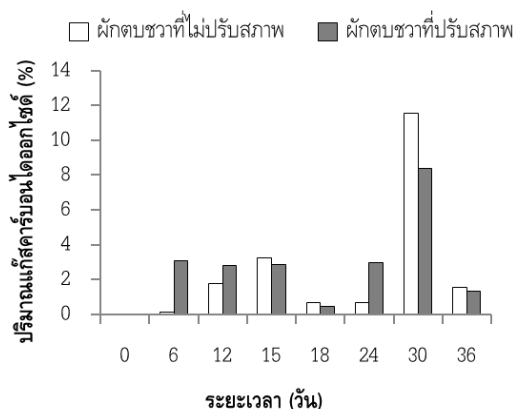


ภาพที่ 4 ปริมาณผลผลิตแก๊สชีวภาพสะสมทุกๆ 3 วัน ของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

จากการศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุของผักตบชวาที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับสภาพ (ตารางที่ 2) พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหยได้ (TVS) ปริมาณของแข็งคงตัว (TFS) และค่าซีโอดี (COD) แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ในวันแรกของการผลิตแก๊สชีวภาพมีปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหยได้สูง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหยได้ลดลงจากวันแรก โดยเฉพาะผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งทั้งหมดสูงกว่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เท่ากับ 61.21 และ 45.44 หน่วยตามลำดับ การลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพของเชื้อจุลินทรีย์ (Song et al., 2014) โดยค่าซีโอดีวันสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นทั้งในผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพ คือ 23,250 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 63,502 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 37,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 97,468 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าซีโอดี มีสาเหตุมาจากการผลิตกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ถ้ามีการย่อยสลายที่ดีจะส่งผลให้เกิดการผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทนได้เยอะ (Sullivan, Rounsefell, Grinham, Clake & Udy, 2010)



ภาพที่ 5 ปริมาณผลผลิตแก๊สมีเทนในแต่ละวันของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

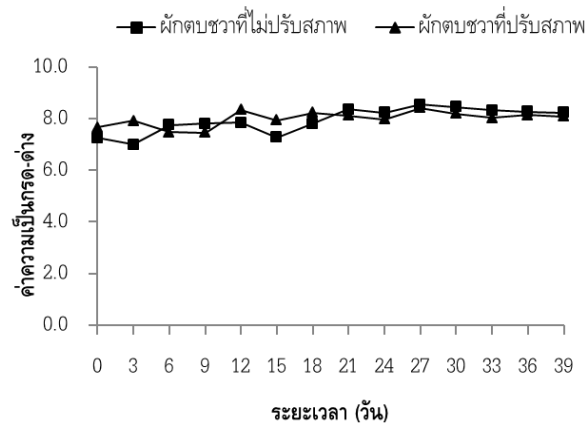


ภาพที่ 6 ปริมาณการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละวันของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

นอกจากนี้ในระหว่างการผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพ พบว่ามีแนวโน้มค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน คือในช่วงแรกจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงโดยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงในช่วง 5 วันแรกซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ 6.98 และผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงในช่วง 9 วันแรกซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ 7.44 ในช่วงท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเสถียรที่ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8 (ภาพที่ 7) การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงแรก เนื่องมาจากการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยโดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดและที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายเพราะว่าเมื่อมีการย่อย กรดที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Wang, Xu & Lia, 2013) เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ Song et al. (2014) กล่าวว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงในช่วงแรกของการผลิตแก๊สชีวภาพหลังจากนั้นจะปรับตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่

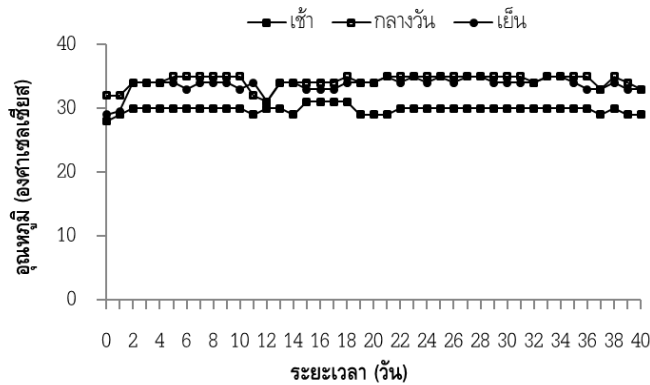
ตารางที่ 2 ปริมาณ TS, TVS และ TFS ในวันแรกและวันสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

ตัวอย่าง	ตัวแปร (มก./ล.)	วันที่ 0	วันที่ 40	ร้อยละการกำจัด
ผักตบชวาที่ไม่ปรับสภาพ	TS	170,822±308	102,089±8306	40.24
	TVS	122,300±393	66,722±6128	45.44
	TFS	48,522±267	35,367±2178	27.11
	COD	23,250	63,502	-
ผักตบชวาที่ปรับสภาพ	TS	152,656±3304	66,289±17161	56.58
	TVS	114,478±2173	44,411±12236	61.21
	TFS	38,178±1400	21,878±5058	42.69
	COD	37,500	97,468	-



ภาพที่ 7 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพพร้อมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

ในการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากภาพที่ 8 พบว่าอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-38 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสูง และแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นมัก จะมีความเสถียร (Igoni, Ayotamuno, Eze, Ogaji & Probert, 2008) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Caporgno et al. (2015) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพภายใต้อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การผลิตแก๊สชีวภาพลดลง



ภาพที่ 8 อุณหภูมิในระหว่างการผลิตแก๊สชีวภาพของผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพพร้อมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน

สรุปผล

จากการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาโดยกระบวนการหมักแบบกะ พบว่าเมื่อทำการปรับสภาพผักตบชวาด้วยการทิ้ง 60 นาที ส่งผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา โดยปริมาณเซลลูโลส และลิกนินเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 41.61 และ 12.53 ตามลำดับ แต่ปริมาณเอมีเซลลูโลสลดลงเท่ากับร้อยละ 16.27 เมื่อเทียบกับไม่ปรับสภาพ



และปริมาณผลผลิตแก๊สชีวภาพสะสมของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพคือ 175.67 และ 57.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีสูงสุด คือร้อยละ 25.40 และ 2.83 ตามลำดับ และผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดคือร้อยละ 30.87 และ 11.53 ตามลำดับ ดังนั้นกล่าวได้ว่าการปรับสภาพมีผลต่อการการผลิตแก๊สชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้ ทั้งนี้ยังจำเป็นต้องมีการศึกษา และพัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (ศสวท.) ประจำปีการศึกษา 2558 และหน่วยวิจัยจุลินทรีย์เพื่อการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

รายการอ้างอิง

- ทัศน์ัย อุตตนันท์ และจรงค์ จันทน์เจริญสุข. (2542). **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืชปฐพีวิทยา**. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรัช ตันทุลเวศม์. (2551). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิเชียร สีสุข. (2532). **การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมด้วยเอนไซม์จาก *Aspergillus fumigates* Fresenius รหัส 4-45-1F**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิพรพรรณ เนื่องเม็ก, ชรินทร์ คงเดิม และมนัส ทิตยวรรณ. (2557). การควบคุมผักตบชวาแบบผสมผสานโดยใช้ตัววงจรผักตบชวาร่วมกับเชื้อรา *Alternaria sp.* **แก่นเกษตร**, 42(ฉบับพิเศษ 1), 677-682.
- เวสาร์ช สุนทรชัยบูรณ์, ธัญวิทย์ พลายงาม และรัชพล พวงศรีรัตน์. (2558). การปรับสภาพขุยมะพร้าวเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลวัว. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร**, 9(2), 19-31.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2551). **เราไม่ใช้น้ำมัน**. กรุงเทพฯ: ฐานบุ๊คส์.
- สมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ ปิติรักษสกุล. (2554). การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. **วิศวกรรมสาร มข.**, 38(2), 101-110.
- โอสถ นาคสกุล, วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง, พิไล กวีศรัย และเสาวคนธ์ โรจนสถิตย์. (2529). การใช้ผักตบชวาแห้งระดับต่างๆ ในอาหารสำหรับเลี้ยงห่าน. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 23 (สาขาสัตวศาสตร์)**. กรุงเทพฯ, 2-15.
- อรทัย ชาลภาฤทธิ์. (2545). **คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1980). **Official methods of analysis** (13th ed). Washington, DC: AOAC.
- Caporgno, M. P., Trobajo, R., Caiola, N., Ibanez, C., Fabregat, A. & Bengoa, C. (2015). Biogas production from sewage sludge and microalgae co-digestion under mesophilic and thermophilic conditions. **Renewable Energy**, 75, 374-380.

- กระทรวงมหาดไทยและกรมการปกครอง วันที่ 8 ฉบับที่ 3 ปีระบอบ - ธันวาคม 2559