http://journal.rmutp.ac.th/

การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอก

นพดล โพชกำเหนิด* ณิชา ประสงค์จันทร์ และ อัญณี บุญชัย

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

รับบทความ 10 พฤษภาคม 2561 แก้ไขบทความ 29 มิถุนายน 2561 ตอบรับบทความ 16 กรกฎาคม 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมแบบไร้อากาศระหว่างสาหร่ายหางกระรอกจากทะเลสาบสงขลาและมูลไก่ จากการศึกษาองค์ประกอบของของเสียทั้งสองชนิด พบว่ามูลไก่และสาหร่ายหางกระรอกมีค่าซีโอดี เท่ากับ 11.20 และ 14.40 กรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอช เท่ากับ 6.53 และ 5.53 ตามลำดับ การทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การย่อยในสภาวะไร้อากาศแบบเดี่ยวของสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าให้ปริมาณมีเทนสะสม เท่ากับ 1,521 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย และผลผลิตมีเทน เท่ากับ 78.28 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก สำหรับสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ให้ปริมาณมีเทนสะสม เท่ากับ 1,786 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย และผลผลิตมีเทน เท่ากับ 91.87 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ซึ่งผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.5 เมื่อเทียบสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การย่อยในสภาวะไร้อากาศแบบเดี่ยวของมูลไก่พบว่าให้ปริมาณมีเทนสะสมและผลผลิตมีเทนเท่ากับ 978 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย และ 50.73 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาโดยใช้สาหร่ายหางกระรอก การศึกษาการหมักร่วมระหว่างสาหร่ายหางกระรอกกับมูลไก่ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1:1, 2:1 และ 3:1 พบว่า การหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 3:1 และ 2:1 ให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมสูงสุด คือ 3,202 และ 2,122 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย ตามลำดับ และให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 82.53 และ 82.26 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คำสำคัญ : มูลไก่; สาหร่ายหางกระรอก; การหมักร่วม; ก๊าซมีเทน

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร.: +668 6689 0920, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: podkumnerd@yahoo.co.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

The Study of Biogas Production from Anaerobic Co-digestion Chicken Manure and Hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle)

Noppadon Podkumnerd* Nicha Prasongchan and Anyanee Bunchai

Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya
1 Ratchadamnoen Nok Road, Bo Yang, Mueang, Songkhla, 90000

Received 10 May 2018; Revised 29 June 2018; Accepted 16 July 2018

Abstract

This work presented the production of biogas using anaerobic co-digestion between hydrilla verticillata (HV) from Songkhla Lake Basin and chicken manure (CM). From the study of compositions of both wastes, it was found that the COD of CM and HV were 11,200 and 14,400 mg/l and pH were 6.5 and 5.5, respectively. The biogas production using anaerobic single-digestion of untreated hydrilla verticillata (UHV) gave accumulative methane of 1,251 ml-CH_4/g-VS and methane production of 78.28 L-CH_4/kg-substrate was obtained. For hydrilla treated with 2% w/v NaOH (THV), the accumulative methane was 1,786 ml-CH_4/g-VS and the obtained methane production was 91.87 L- CH_4/kg-substrate which was 17.5 % increase when compared to the UHV. For the biogas production using anaerobic single-digestion of CM, it was found that the accumulative methane and methane production were 978 ml-CH_4/g-VS and 78.28 L- CH4/kg-substrate, respectively. These were lower than the studies using HV. The study of anaerobic co-digestion of HV and CM at three different ratios; 1:1, 2:1 and 3:1 was studied. It was found that the anaerobic co-digestion using THV and CM at ratio 3:1 and 2:1 gave the highest potential for biogas production. The accumulate methane of 3,202.20 and 2,079.19 ml- CH_4/g-VS were obtained, respectively. The methane productions were 2.53 and 82.26 L-CH_4/ton-substrate, for ratio 3:1 and 2:1, respectively which is no significant different at 95 % confidence interval.

Keywords : Chicken Manure (CM); Hydrilla Verticillata (HV); Anaerobic Co-digestion; Methane

** Corresponding Author. Tel.: +668 6689 0920, E-mail Address: podkumnerd@yahoo.co.th*

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำวัสดุจากแหล่งต่างๆ โดยเฉพาะของเสียอินทรีย์และชีวมวล มาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้ โดยก๊าซชีวภาพหนึ่งลูกบาศก์เมตรมีปริมาณเทียบเท่าก๊าซหุงต้มประมาณ 0.5 กิโลกรัม [1] มูลไก่เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากมูลไก่หากปล่อยทิ้งไว้จะส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ก่อให้เกิดมลพิษด้านต่างๆ เช่น เป็นแหล่งของพาหะนำโรค ได้แก่ แมลงวัน และยุง เป็นต้น และก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพหากสูดดมกลิ่นของมูลไก่เป็นเวลานาน เนื่องจากในมูลไก่ที่ปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการสะสมของก๊าซแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อระบบหายใจ โดยไก่หนึ่งตัวจะมีปริมาณมูลเฉลี่ยประมาณ 0.03 กิโลกรัมต่อวัน [2] ดังนั้นหากเกษตรกรมีการเลี้ยงไก่ในปริมาณมาก เช่น 1,500 ตัวก็จะเกิดของเสียได้ถึง 45 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 1 ตันต่อเดือน ซึ่งมูลไก่ที่มีปริมาณมากนี้หากไม่มีการจัดการที่ดีก็จะส่งผลกระทบต่อชุมชนได้ ส่วนสาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle) เป็นพืชใต้น้ำชนิดหนึ่ง ต้นเป็นสายเรียวยาว โดยมีรากยึดอยู่กับผิวดิน พบตามบริเวณแหล่งน้ำจืดทั่วไป เช่น หนอง บึง หรือในนาข้าว หรือบริเวณที่น้ำขังและไหลไม่แรงนัก [3] เนื่องจากสาหร่ายหางกระรอก เป็นพืชที่เจริญเติบโตเฉพาะที่ และมีความสามารถในการปรับตัวให้เจริญได้เป็นอย่างดี จึงส่งผลให้สาหร่ายหางกระรอกมีการขยายพันธุ์ กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ดี ส่งผลให้เกิดปัญหาการแพร่ระบาดในแหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมของเสียจากการเลี้ยงไก่กับสาหร่ายหางกระรอก เพื่อเป็นแนวทางการผลิตพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป นอกจากนั้นการนำวัตถุดิบดังกล่าวมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพยังส่งผลให้สามารถลดการปล่อยของเสียจากการเลี้ยงไก่ไข่ และลดปริมาณสาหร่ายหางกระรอกที่เจริญเติบโตในสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้นด้วย

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีจากของเสียจากมูลไก่ และสาหร่ายหางกระรอก

ศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีจากมูลไก่ และสาหร่ายหางกระรอก โดยตัวอย่างมูลไก่ใช้ตัวอย่างของเสียจากฟาร์มไก่ไข่ของคุณศิริวัฒน์ สุวรรณโณ ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลท่าช้าง อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา สำหรับสาหร่ายหางกระรอกจะใช้ตัวอย่างสาหร่ายหางกระรอกจากแหล่งทะเลสาบสงขลา ในพื้นที่อุทยานนกน้ำทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง โดยนำมาสับย่อยให้มีขนาดยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งพร้อมนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ อีกส่วนหนึ่งนำไปทำการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่อไป ตัวอย่างทั้งสามชนิดที่เตรียมได้จะถูกนำไปศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids Dried; TS ที่ 103-105 องศาเซลเซียส) ของแข็งระเหยทั้งหมด (Volatile Solid; VS ที่ 550 องศาเซลเซียส) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ไขมัน (Fat and Oil) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) โดยวิธีของ [5] คาร์โบไฮเดรต (Anthrone Method) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Dinitrosalicylic Acid Method) โดยวิธีของ [6] เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามวิธีการวิเคราะห์ของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) [7]

2.2 การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ทำการปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยนำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร (ธนากรฟาร์ม) หมู่ 9 ตำบลควนโส อำเภอควนเนียง จังหวัดสงขลา จำนวน 3 ลิตร เติมลงในขวดแก้วขนาด 5 ลิตร เติมสาหร่ายหางกระรอกและมูลไก่ลงไป ในปริมาณอย่างละ 2 กรัมของแข็งระเหย เพื่อให้เชื้อเกิดความคุ้นเคยสามารถย่อยสลายเป็นอาหาร ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศโดยการพ่นก๊าซด้วยอาร์กอน โดยการเป่าก๊าซอาร์กอนลงในขวดเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้เกิดสภาวะไร้อากาศ

2.3 ศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก

การศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential; BMP) จากมูลไก่ และสาหร่ายหางกระรอก ตามวิธีการของ [8] ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร เติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว 160 มิลลิลิตร โดยใช้ปัจจัยต่างๆ 3 ปัจจัย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้ ปัจจัยที่ 1) มูลไก่ปริมาณ 2 กรัมของแข็งระเหย ปัจจัยที่ 2) ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ปริมาณ 2 กรัมของแข็งระเหย และ ปัจจัยที่ 3) ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณ 2 กรัมของแข็งระเหย และใช้กลูโคส 2 กรัมของแข็งระเหย เป็นชุดควบคุม ทำการปรับค่าพีเอช ของชุดทดลองโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ให้ค่าเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7.0-7.2 นำมาบ่มที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ ±32 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 45 วัน วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ เก็บตัวอย่างโดยการใช้เข็มฉีดดูดตัวอย่างก๊าซ 10 ไมโครลิตร วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Agilent GC 7890: USA) โดยใช้สภาวะดังต่อไปนี้ แก๊สตัวพาฮีเลียม (He) อัตราการไหล 30 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้คอลัมน์ชนิด Molesieve 5A ความยาว 1 เมตร อุณหภูมิของ Oven 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ Injector 150 องศาเซลเซียส Detector ชนิด TCD อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทำวิเคราะห์จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว คือไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น นำค่าปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้วิเคราะห์หาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้มีเทน และปริมาณผลผลิตมีเทน โดยใช้ One Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2.4 ศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก

ศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอก เพื่อนำมาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนในระบบการหมักแบบไร้อากาศ ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร เติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว 160 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก ตามตารางที่ 1 ชุดละ 3 ซ้ำ ทำการปรับค่าพีเอชของชุดทดลองต่างๆ ให้ค่าเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7.0-7.2 นำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 วัน วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Agilent GC 7890: USA) ทำการวิเคราะห์จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว คือไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น นำค่าปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้วิเคราะห์หาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลได้มีเทน และปริมาณผลผลิตมีเทน โดยใช้ One Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองการหมักร่วมระหว่างของเสียจากการเลี้ยงไก่ไข่กับสาหร่ายหางกระรอก

ชุดการทดลอง	สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ (กรัมของแข็งระเหย)	สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพ (กรัมของแข็งระเหย)	มูลไก่ไข่ (กรัมของแข็งระเหย)	กล้าเชื้อ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)
ชุดที่ 1	1	-	1	160	200
ชุดที่ 2	2	-	1	160	200
ชุดที่ 3	3	-	1	160	200
ชุดที่ 4	-	1	1	160	200
ชุดที่ 5	-	2	1	160	200
ชุดที่ 6	-	3	1	160	200

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก

ผลการศึกษาองค์ประกอบของมูลไก่ (ตารางที่ 2) พบว่าองค์ประกอบของของเสียจากการเลี้ยงไก่ไข่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในปริมาณสูงถึง 107.19 กรัมต่อลิตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ร้อยละ 38.84 (น้ำหนักแห้ง) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง คือ ร้อยละ 6.90 (น้ำหนักแห้ง) ส่งผลให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เพียง 5.63:1 ซึ่งค่อนข้างต่ำ จึงอาจจะส่งผลต่อเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนได้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของมูลไก่

องค์ประกอบ	ปริมาณที่ได้
ของแข็งทั้งหมด (g/l)	107.19
ของแข็งที่ระเหยง่าย (g/l)	72.45
สภาพความเป็นด่าง (g/l $CaCO_3$)	2.65
กรดไขมันที่ระเหยง่าย (g/l)	0.98
ซีโอดี (g/l)	11.20
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%w/w dry weight)	38.84
คาร์โบไฮเดรต (g/l)	15.00
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	0.22
ไนโตรเจน (%w/w dry weight)	6.90
ไขมัน (%w/w dry weight)	0.52
อัตราส่วน C/N	5.63
พีเอช	6.53

สำหรับองค์ประกอบเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีจากสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ (ตารางที่ 3) พบว่าองค์ประกอบของสาหร่ายหางกระรอกมีปริมาณปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่ายในปริมาณสูงเฉลี่ยร้อยละ 98.11 และ 81.92 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ มีสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดร้อยละ 36.60 ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.53 ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายหางกระรอกมีอินทรีย์คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายหรือส่วนประกอบที่ไม่มีไนโตรเจน (Nitrogen Free Extact) ในปริมาณค่อนข้างสูง [9] ซึ่งสารอินทรีย์นี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสได้ง่าย ส่งผลให้สาหร่ายหางกระรอกมีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8-7.2 [8] จึงจะต้องทำการปรับสภาพพีเอชของวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไป

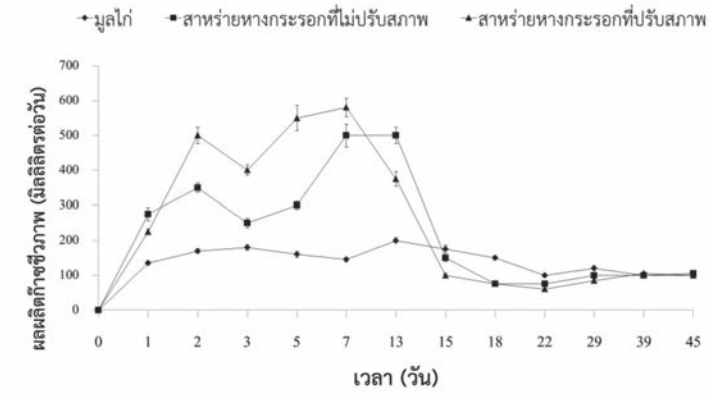
สำหรับองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2.0 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไป (ตารางที่ 3) โดยมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76.48 และมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 15.13 และ 8.39 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับจะเห็นได้ว่าการปรับสภาพสาหร่ายหางกระรอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นสามารถไฮโดรไลซ์ได้เซลลูโลสได้ง่าย เนื่องจากการไฮโดรไลซ์ด้วยด่างจะเป็นการทำลายผนังเซลล์พืชโดยการละลายเฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกมา และทำให้การเป็นผลึกของเซลลูโลสลดลงส่งผลให้เกิดช่องว่างของลิกโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้เฮมิ-เซลลูโลสและลิกนินหลุดออกจากโครงสร้างได้ง่ายและเหลืออยู่ในเซลล์น้อยลง [9] ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช โดยพบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ [10] ดังนั้นการกำจัดลิกนินออกไปโดยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ น่าจะส่งผลการย่อยสลายสาหร่ายหางกระรอกโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศได้ดีขึ้น

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของของสาหร่ายหางกระรอก

องค์ประกอบ	สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ	สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพ
ความชื้น (%w/w fresh weight)	91.54	-
เซลลูโลส (%w/w dry weight)	39.91	76.48
เฮมิเซลลูโลส (%w/w dry weight)	49.59	15.13
ลิกนิน (%w/w dry weight)	10.50	8.39
ของแข็งทั้งหมด (%w/w dry weight)	98.11	99.06
ของแข็งที่ระเหยง่าย (%w/w dry weight)	81.92	79.64
สภาพความเป็นด่าง (g/l $CaCO_3$)	0.98	1.55
กรดไขมันที่ระเหยง่าย (g/l)	0.48	0.38
ซีโอดี (g/l)	14.40	38.40
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%w/w dry weight)	36.60	34.00
คาร์โบไฮเดรต (g/l)	13.24	25.80
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	0.78	1.45
ไนโตรเจนทั้งหมด (%w/w dry weight)	4.90	2.17
ไขมัน (%w/w dry weight)	6.38	8.46
อัตราส่วน C/N	7.47	15.67
พีเอช	5.53	10.52

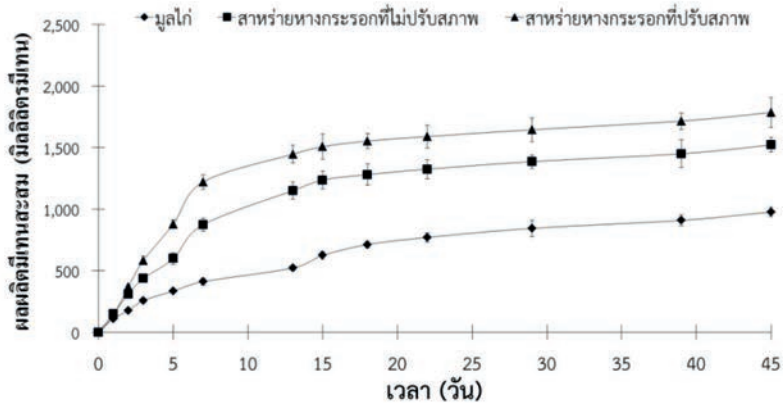
3.2 ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential; BMP) จากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก

ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-13 (รูปที่ 1) จะเห็นได้ว่ามีปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากนั้นปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพค่อยๆ ลดลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในของวัตถุดิบเริ่มน้อยลง ทำให้ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลงตามไปด้วย โดยหลังจากการทดลอง 7 วัน ชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ ให้ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 580 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองที่ใช้ของเสียจากการเลี้ยงไก่ให้ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยให้ปริมาณสูงสุดหลังจากการทดลอง 13 วัน เพียง 200 มิลลิลิตรต่อวัน และเมื่อสิ้นสุดการหมักที่เวลา 45 วันพบว่าการใช้วัตถุดิบจากมูลไก่ สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพให้ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพรวมคือ 1,375 2,780 และ 3,155 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองซึ่งพบว่าการใช้มูลไก่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากมูลไก่มีอัตราส่วน C/N เพียง 5.63 (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2) โดยค่าอัตราส่วน C/N มีความสำคัญมากต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ การที่วัตถุดิบมีอัตราส่วน C/N ต่ำจะส่งผลให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว [11] แต่จะส่งผลให้ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเป็นจำนวนมาก [12] ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มอื่น โดยเฉพาะกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเจริญเติบโตในสภาวะที่สารตั้งต้นมีค่าอัตราส่วน C/N สูง [13]



รูปที่ 1 ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอกในสภาวะไร้อากาศ ตั้งแต่ 0-45 วัน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ พบว่าองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในระหว่างสองสัปดาห์แรกปริมาณมีเทนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณร้อยละมีเทนก็จะคงที่จนสิ้นสุดกระบวนการหมัก (รูปที่ 2) โดยปริมาณผลผลิตมีเทนจากชุดทดลองที่ใช้ของเสียจากมูลไก่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก จะได้ผลผลิตมีเทนสะสม 978.13±37.95 มิลลิลิตรมีเทน หรือมีเทนปริมาณร้อยละ 58.50 สำหรับศักยภาพในการผลิตมีเทนโดยใช้สาหร่ายหางกระรอกพบว่า สาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 45 วัน พบว่าชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพ จะได้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 1,786.04±121.45 มิลลิลิตรมีเทน หรือมีปริมาณมีเทนร้อยละ 61.00 ส่วนสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะได้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 1,521.82±59.05 มิลลิลิตรมีเทน หรือมีปริมาณมีเทนร้อยละ 58.80



รูปที่ 2 ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมจากการย่อยสลายมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพในสภาวะไร้อากาศ ตั้งแต่ 0-45 วัน

จากผลผลิตมีเทนที่ได้จากการย่อยสลายมูลไก่ สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพและสาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ นั้น สามารถนำมาวิเคราะห์ปริมาณผลได้มีเทน และผลผลิตมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก แสดงตารางที่ 4 โดยชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพจะให้ปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดคือ 81.94±4.93 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 กับชุดทดลองที่ใช้วัตถุดิบจากสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ และการใช้มูลไก่ ซึ่งมีปริมาณผลได้มีเทนเท่ากับ 69.81±4.00 และ 47.18±2.14 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ผลผลิตมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก พบว่าผลผลิตมีเทนที่ได้จากการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพจะให้ผลผลิตมีเทนสูงสุดคือ 91.8±5.40 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมสารวัสดุหมัก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 กับชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและมูลไก่ ซึ่งให้ผลผลิตมีเทน 78.28±4.50 และ 50.73±2.74 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมักตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ามูลไก่มีศักยภาพในการผลิตมีเทนต่ำกว่าสาหร่ายหางกระรอก เนื่องจากมีปริมาณของแข็งมากกว่า และมีค่าอัตราส่วน C/N ต่ำ จึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลาย

ยาก ได้ผลผลิตมีเทนน้อย

จากการเปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่ได้จากสาหร่ายหางกระรอก พบว่าการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศมีผลต่อการผลิตมีเทนเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะทำให้องค์ประกอบของวัตถุดิบสามารถใช้ในการย่อยสลายได้ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ [14] ซึ่งนำกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนำมาหมักร่วมกับข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายด่าง (ร้อยละ 2 NaOH) พบว่าจะช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ในระบบ ทำให้เกิดการผลิตมีเทนสูงขึ้น

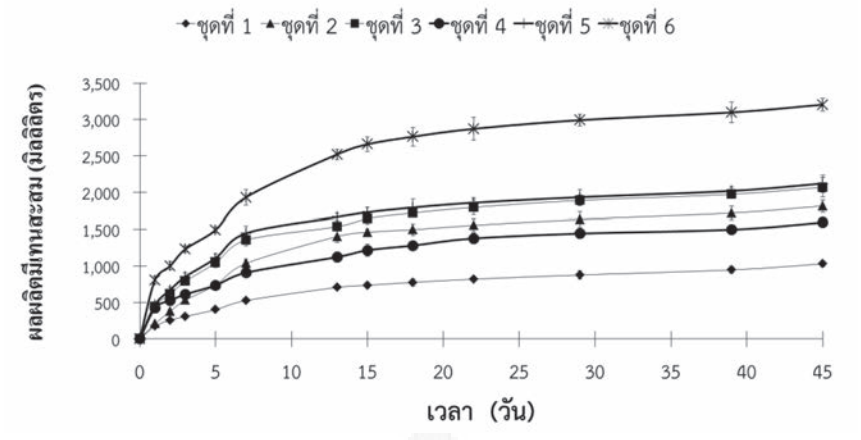
ตารางที่ 4 ปริมาณมีเทนจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก

การทดลอง	ปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตรมีเทน)	ผลได้มีเทน (มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย)	ผลผลิตมีเทน (ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก)
มูลไก่	978.13±55.46[a]	47.18±2.14[a]	50.73±2.74[a]
สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ	1,521.82±92.00[b]	69.81±4.00[b]	78.28±4.50[b]
สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพ	1,786.04±86.98[c]	81.94±4.93[c]	91.87±5.40[c]

* ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ

3.3 ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential; BMP) โดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอก

ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอก ในระบบการหมักแบบไร้อากาศ 6 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 (สาหร่ายหางกระรอกไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 1:1) ชุดที่ 2 (สาหร่ายหางกระรอกไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 2:1) ชุดที่ 3 (สาหร่ายหางกระรอกไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 3:1) ชุดที่ 4 (สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 1:1) ชุดที่ 5 (สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 2:1) และชุดที่ 6 (สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ อัตราส่วน 3:1) เป็นเวลา 45 วัน (รูปที่ 3) พบว่าการใช้มูลไก่หมักร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพชุดที่ 4, 5 และ 6 ได้ผลผลิตมีเทน 1,592.64±43.80 2,121.65±116.69 และ 3,202.20±88.06 มิลลิลิตรมีเทน ตามลำดับ ส่วนการหมักร่วมมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพให้ผลผลิตมีเทนสูงกว่าการหมักเดี่ยวสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพมากนัก โดยชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ได้ผลผลิตมีเทน 1,028.56±37.75 1,715.38±78.74 และ 2,070.19±132.91 มิลลิลิตรมีเทน ตามลำดับ



รูปที่ 3 ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมจากการหมักร่วมมูลไก่ร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ตั้งแต่ 0-45 วัน

เมื่อนำปริมาณมีเทนสะสมที่ได้จากการหมักที่ระยะเวลา 45 วัน มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 5) พบว่าการใช้อัตราส่วนการหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกกับมูลไก่ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ได้ปริมาณมีเทนมากขึ้น โดยการหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ พบว่าชุดที่ 3 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 3:1) มีปริมาณมีเทนสะสม 2,070.19±132.91 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับชุดที่ 2 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 2:1 และ ชุดที่ 1 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 1:1) ซึ่งมีปริมาณมีเทนสะสมเพียง 1,715.38±78.74 และ 1,028.56±37.75 มิลลิลิตรมีเทน ตามลำดับ สำหรับการหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพกับมูลไก่ พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ โดยพบว่าการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ชุดที่ 6 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 3:1) ให้ผลผลิตมีเทนสะสมสูงสุดคือ 3,202.20±88.06 มิลลิลิตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 กับชุดที่ 5 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 2:1) และ ชุดที่ 4 (หมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 1:1) ซึ่งมีปริมาณมีเทนสะสม 2,121.65±116.69 และ 1,592.64±43.80 มิลลิลิตรมีเทน ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การหมักร่วมส่งผลให้ได้ปริมาณมีเทนสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสาหร่ายหางกระรอกให้สูงขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณมีเทนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [15] ที่ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคหมักร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกเพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมในการอบลดความชื้นแผ่นยางพาราดิบ มีการนำหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกกับมูลโคเพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อหาสภาวะของการเกิดก๊าซที่เหมาะสมอัตราส่วนต่อการหมักสาหร่ายหางกระรอกต่อมูลโคที่ใช้ คือ 1:1, 2:1 และ 3:1 พบว่าอัตราส่วน 3:1 ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนจากการหมักร่วมมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพเมื่อสิ้นสุดการหมักที่เวลา 45 วัน

การทดลอง	ปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตรมีเทน)	ผลได้มีเทน (มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย)	ผลผลิตมีเทน (ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อตันวัสดุหมัก)
ชุดที่ 1	1,028.56±37.75[a]	69.26±3.49[a]	53.13±3.21[a]
ชุดที่ 2	1,715.38±78.74[c]	71.77±3.74[a]	53.36±3.03[a]
ชุดที่ 3	2,070.19±132.91[d]	81.78±5.03[b]	62.43±3.54[b]
ชุดที่ 4	1,592.64±43.80[b]	95.58±5.30[c]	72.96±3.15[c]
ชุดที่ 5	2,121.65±116.69[d]	111.13±5.50[d]	82.26±4.72[d]
ชุดที่ 6	3,202.20±88.06[e]	128.79±6.54e	82.53±4.02[d]

* ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ

จากผลผลิตมีเทนที่ได้จากการหมักร่วมมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอกนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์ปริมาณผลได้มีเทน (ตารางที่ 5) พบว่าการหมักร่วมสาหร่ายที่ไม่ปรับสภาพกับมูลไก่ จะให้ผลได้มีเทนต่ำกว่าการหมักร่วมสาหร่ายที่ผ่านปรับสภาพกับมูลไก่ โดยชุดที่ 6, 5 และ 4 ซึ่งทำการหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ จะให้ผลได้มีเทนคือ 128.79±6.54, 111.13±5.50 และ 95.58±5.30 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็ง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ทั้งสามชุดทดลอง ส่วนชุดที่ใช้การหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 3:1 (ชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3) ให้ผลได้มีเทนเพียง 69.26±3.49, 71.77±3.74 และ 81.78±5.03 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ตามลำดับ โดยชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ให้ผลได้มีเทนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับชุดที่ 3

จากการวิเคราะห์การผลิตมีเทนโดยใช้การหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกและมูลไก่โดยพิจารณาผลผลิตมีเทนต่อตันวัสดุหมักนั้น พบว่าการหมักร่วมโดยใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 3:1 และ 2:1 จะให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด คือ 82.53±4.02 และ82.26±4.72 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 รองลงมาคือการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 1:1 ซึ่งให้ผลผลิตมีเทน 72.96±3.15 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ส่วนการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพร่วมกับมูลไก่ที่อัตราส่วน 1:1 และ 2:1 ให้ผลผลิตมีเทนต่อตันวัสดุหมักแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับชุดทดลองที่ใช้อัตราส่วน 3:1 โดยให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 53.13±3.21, 53.36±3.03 และ 62.43±3.54 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ตามลำดับ

4. สรุป

จากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก พบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า

มูลไก่ เนื่องจากมูลไก่มีของแข็งในปริมาณค่อนข้างสูง และมีค่าอัตราส่วน C/N ต่ำ ซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน และเมื่อนำสาหร่ายหางกระรอกไปปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงขึ้นกว่าการใช้สาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพเนื่องจากการปรับสภาพสาหร่ายหางกระรอกก่อนนำมาใช้ในการหมักนั้นทำให้องค์ประกอบของสารที่ย่อยสลายยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ลดปริมาณลง ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น และเมื่อทำการหมักร่วมสาหร่ายหางกระรอกกับมูลไก่พบว่าจะได้ปริมาณมีเทนสูงขึ้น โดยการหมักร่วมมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอกที่ผ่านการปรับสภาพ จะให้ผลผลิตมีเทนสูงกว่าการหมักร่วมมูลไก่กับสาหร่ายหางกระรอกที่ไม่ปรับสภาพ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนให้สูงขึ้นพบว่าจะให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าการผลิตมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างสาหร่ายหางกระรอกกับมูลไก่นั้น สามารถใช้อัตราส่วนได้ตั้งแต่ 2:1–3:1 และถ้าสามารถนำสาหร่ายหางกระรอกไปผ่านการปรับสภาพด้วยร้อยละ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนดียิ่งขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการนำมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอก มาผลิตเป็นพลังงานชีวภาพถือว่าเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการกำจัดมูลไก่และสาหร่ายหางกระรอกในระบบนิเวศอย่างมีประสิทธิภาพได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งนอกจากจะสามารถแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการแพร่ระบาดของสาหร่ายหางกระรอกในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และมลภาวะจากของเสียจากการเลี้ยงไก่ได้แล้วนั้น ยังสามารถได้พลังงานชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น การนำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน ใช้ผลิตความร้อนในการกกลูกไก่ หรือนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์สำหรับสันดาปภายใน สำหรับขับมอเตอร์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างของเสียจากการเลี้ยงไก่กับสาหร่ายหางกระรอกจากแหล่งในทะเลสาบสงขลา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณรายได้ ประจำปี 2560

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ministry of Energy. (2016, May 13). Knowledgebase of biogas. [Online]. Available:http://www.dede.go.th/dede

[2] S. Tungtaweewipat, “Biogas Production to Reduce Pollution and Use in Household”, Clinic Technology of Chiang Mai University and Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 2012.

[3] The Botanical garden organization. (2018, March 20). Plants Database The Botanical garden organization. [Online]. Available: http://www.qsbg.org/Database/plantdb/searchmix.asp

[4] K. varnishgul, S. Champasri, J. Kulsiri, P. Chantevee and Y. Prasertchai, “Efficiency of hydrilla (hydrilla verticillata) in water quality improvement,” *RMUTP Research Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 11-18, Sep. 2015.

[5] L. S. Clescerl, A. E. Greenberg and A. D. Eaton, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed. Washington DC: *American Public Health Association*, 1998.

[6] S. Sadasivam, A. Manickam, *Biochemical Methods*, 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 1997.

[7] B. G. Miller, "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar," *Analytical Chemistry*, vol. 31, no. 3, pp. 426-428, 1959.

[8] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton and D. Crocker, "Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass," *Laboratory Analytical Procedure*, vol. 8, pp. 1-15, 2012.

[9] Y. Santos, T. R. Sreekrishnan, S. Kohli and V. Rana, "Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques," *Bioresource Technology*, vol. 95, pp. 1-10, 2004.

[10] N. Sakar, S. K. Ghosh, S. Bennerjee and K. Aikat, "Bioethanol production from agricultural wastes: An Overview," *Renewable Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 19-27, 2012.

[11] K. K. Cheng, J. A. Zhang, W. X. Ping, J. P. Ge, Y. J. Zhou, H. Z. Ling and J. M. Xu, "Sugarcane bagasse mild alkaline/ oxidative pretreatment for ethanol production by alkaline recycle process," *Biochem Biotechnol*, vol. 151, pp. 43-50, 2012.

[12] S. A. Abbasi, P. C. Nipaney and G. D. Schaumberg, "Bioenergy potential of eight common aquatic weeds," *Biologycal Wastes*, vol. 34 no. 4, pp. 359–366, 1990.

[13] R. T. Haug, *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.

[14] C. Zhang, H. Su, J. Baeyens and T. Tan, "Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 383-392, 2014.

[15] C. Wongvan and O. Chavalparit, "Biogas production from co-digestion of pretreated corn stalk and glycerol waste," in *Proceedings of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Engineering*, Science Technology and Environment, Thailand, 2012, pp. 1837-1844.

[16] W. Tongnu, "Biogas production from mixture of cow dung and hydrilla verticilata as supplementary energy in unsmoked rubber sheet," M.S. thesis, Dept. Energy. Tech., King Mongkut's Univ., Bangkok, Thailand, 2009.