

ผลของถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยที่มีต่อเสถียรภาพการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์แตกต่างกัน

ชัชวินทร์ นวลศรี* สิริวิชญ์ แดงวงศ์เจริญพร และ จักรกฤษ ศรีระฮอ

หลักสูตรสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ธันวาคมส ภาคสนุก และ คงเดช พะสีนาม

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6925 6168 อีเมล: chatchawin.n@psru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.034

รับเมื่อ 22 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 22 มิถุนายน 2563 ตอรับเมื่อ 24 มิถุนายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 25 พฤษภาคม 2564

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

กระบวนการหมักแบบไร้อากาศเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ในการบำบัดเศษอาหารเหลือทิ้งควบคู่กับการผลิตแก๊สมีเทน แต่ทั้งนี้เศษอาหารสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่ายสะสมอยู่ในกระบวนการหมัก นำไปสู่การเสถียรภาพของกระบวนการ การเติมถ่านชีวภาพเป็นหนึ่งในวิธีที่ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วย เพื่อรักษาเสถียรภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษอาหาร เติมน้ำด้วยค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rates; OLR) แตกต่างกัน ทำการทดลองในถังหมักปริมาตรทำงาน 5 ลิตร โดยการป้อนเศษอาหารผสมกับถ่านชีวภาพที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร เข้าสู่ถังหมักมีการแปรผันค่า OLR ตั้งแต่ 1-6 กรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลิตรถึงหมักต่อวัน (g-VS/L-reactor.d) เปรียบเทียบกับถังหมักควบคุมที่เติมน้ำในสถานะเดียวกัน แต่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพ ผลการวิจัยพบว่าการเติมถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ โดยถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพสามารถรับค่า OLR ได้ถึง 5 g-VS/L-reactor.d มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 888 mL/L-reactor.d และสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ถึง 80.77% นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังช่วยลดค่าซีไอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ถังหมักควบคุมเกิดการเสถียรภาพ เมื่อใช้ค่า OLR สูงกว่า 2 g-VS/L-reactor.d และกระบวนการหมักได้ล้มเหลวลงเนื่องจากค่า pH ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การเติมถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษอาหารเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สมีเทน และเพิ่มคุณภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการได้

คำสำคัญ: เศษอาหาร มีเทน ถ่านชีวภาพ เปลือกกล้วย บัฟเฟอร์



Effect of Biochar from Banana Peel on the Stability of Methane Production from Food Waste at Different Organic Loading Rates

Chatchawin Nualsri*, Sirawit Dangwongjaroenporn and Chakkrit Sreela-or

Department of Agriculture, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, Thailand

Thanwamas Kassaruk and Khongdet Phasinam

Department of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6925 6168, E-mail: chatchawin.n@psru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.034

Received 22 May 2020; Revised 22 June 2020; Accepted 24 June 2020; Published online: 25 May 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Anaerobic digestion is widely regarded as a suitable technology for food wastes treatment along with methane production. However, high biodegradability of food wastes usually leads to the rapid accumulation of volatile fatty acids (VFAs), which causes the instability of the anaerobic digestion process. The addition of biochar is one of the methods to improve the stability of anaerobic digestion. In this study, biochar from banana peel was used as an additive to stabilize anaerobic digestion of food waste at different organic loading rates (OLR) in reactors with a working volume of 5 L. The food waste mixed with 20 g/L of banana peel biochar was fed into the reactor with different OLRs of 1 to 6 g-VS/L-reactor.d. Another reactor at the same operating conditions without the biochar was set as a control. Results showed that the addition of banana peel biochar improved the stability of anaerobic digestion. The reactor with biochar could operate at the maximum OLR of 5 g-VS/L-reactor.d with the highest methane production rate of 888 mL/L-reactor.d and 80.77% removal of chemical oxygen demand. Moreover, biochar revealed effective color adsorption from the effluent of anaerobic digestion. However, instability of the control reactor was observed at the OLR higher than 2 g-VS/L-reactor.d. Thus, the control reactor had failed to operate due to the rapid drop of pH. Therefore, the addition of biochar from banana peel into the anaerobic digestion of food waste enhanced the process stability, the methane production, and the quality of effluent.

Keywords: Food Waste, Methane, Biochar, Banana Peel, Buffer

Please cite this article as: C. Nualsri, S. Dangwongjaroenporn, C. Sreela-or, T. Kassaruk, and K. Phasinam, "Effect of biochar from banana peel on the stability of methane production from food waste at different organic loading rates," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 4, pp. 770–780, Oct.–Dec. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

จากข้อมูลสรุปสถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2561 ของกรมควบคุมมลพิษระบุว่า ปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศมีมากกว่า 27.8 ล้านตัน โดยกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้น เป็นขยะอินทรีย์ที่เน่าเสียง่าย เช่น เศษอาหาร จึงจะเห็นได้ว่าเศษอาหารเหลือทิ้งจากครัวเรือนเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและเร่งด่วนปัญหาหนึ่งของประเทศไทย กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นวิธีการจัดการเศษอาหารที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่ง เนื่องจากเศษอาหารเป็นของเสียที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน จึงเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ นอกจากนี้ เศษอาหารยังมีความชื้นสูงทำให้ถูกย่อยสลายได้ง่าย และเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทนได้ แต่ปริมาณเศษอาหารที่เติมลงไปในการหมักแบบไร้อากาศจะต้องถูกควบคุมให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศเสียเสถียรภาพ เนื่องจากในขั้นตอนแรกของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ของเสียต่างๆ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFAs) ก่อนที่ VFAs จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทนโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง ดังนั้น หากมีการเติมเศษอาหารในปริมาณที่สูงเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการสะสมของ VFAs ในระบบ ทำให้ค่าพีเอชของกระบวนการหมักลดต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมหรือประมาณ 6.8-7.4 [1] หากผู้ควบคุมระบบไม่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการควบคุมปริมาณเศษอาหารที่เติมเข้าไปในกระบวนการหมัก ให้เหมาะสมกับปริมาตรของถังหมักจะทำให้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศเสียเสถียรภาพ และหยุดชะงักลง ส่งผลให้การผลิตแก๊สมีเทนล้มเหลว ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

การใช้พีเอชบัฟเฟอร์ (pH Buffer) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถควบคุมค่าพีเอชของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ พีเอชบัฟเฟอร์ คือ สารที่มีคุณสมบัติ

ในการควบคุมค่าพีเอช โดยการทำการดให้เป็นกลาง (Acid Neutralization) หรือช่วยดูดซับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ส่งผลให้ค่าพีเอชไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ วัสดุและสารเคมีที่ถูกนำมาใช้เป็นพีเอชบัฟเฟอร์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น สารเคมีจำพวกไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) [2] เถ้า (Ash) [3] ผงเหล็กวาเลนซ์ศูนย์ (Zero Valent Iron) [4] เป็นต้น นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพ (Biochar) เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาใช้เป็นบัฟเฟอร์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ ได้แก่ มีความคงตัวสูง ไม่เป็นพิษต่อเซลล์จุลินทรีย์ มีรูพรุนสูง ทำให้สามารถดูดซับสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมถึงช่วยลด VFAs ที่สะสมในระบบได้ ซึ่งรูพรุนดังกล่าวยังเป็นที่ยึดเกาะของเซลล์จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ และมีรายงานการวิจัยที่ระบุว่า ถ่านชีวภาพมีบทบาทสำคัญในการเป็นสื่อนำอิเล็กตรอนโดยตรงระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์ (Direct Interspecies Electron Transfer; DIET) ทำให้การทำงานร่วมกันของกลุ่มจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น [5] ยกตัวอย่างงานวิจัยของ Kaur และคณะ [6] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่ ฟางข้าวสาลี ลำต้นเรพชิต และเศษไม้เนื้ออ่อน ผลการวิจัยพบว่า การผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย โดยมีการเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสาลี มีค่าผลได้ของมีเทนสูงที่สุดถึง 381.9 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองควบคุมที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพถึง 24%

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพในการควบคุมเสถียรภาพของการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) หรือค่า OLR แตกต่างกัน ซึ่งค่า OLR เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ (ในงานวิจัยนี้คือเศษอาหาร) ที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบต่อปริมาตรถังหมักต่อวัน มีหน่วยเป็นกรัมของแข็งระเหย

ง่ายต่อลิตรถึงหมักต่อวัน (g-VS/L-reactor.d) และใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกกล้วยเป็นบัพเฟอร์ในการควบคุมเสถียรภาพ เนื่องจากเปลือกกล้วยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถหาได้ง่ายในทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วย เช่น จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดใกล้เคียง นอกจากนี้ ยังมีบทความวิจัยหลายบทความที่ได้รายงานถึงการประยุกต์ใช้เปลือกกล้วยในงานด้านการบำบัดน้ำเสีย ทั้งในรูปแบบเปลือกกล้วยอบแห้งบดเป็นผง [7], [8] และถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วย [9], [10] ซึ่งพบว่า โครงสร้างทางกายภาพของเปลือกกล้วยมีรูพรุนสูง จึงมีคุณสมบัติเด่นในด้านการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำ และมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม [11] แต่จากข้อมูล ณ ปัจจุบัน พบว่า บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ ทำให้ทราบผลของถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยที่มีต่อเสถียรภาพของการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหาร ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้เปลือกกล้วยเหลือทิ้ง ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษอาหาร และผลิตแก๊สมีเทนใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้อย่างยั่งยืน

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมเศษอาหาร และหัวเชื้อจุลินทรีย์

เก็บรวบรวมเศษอาหารจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมัก โดยนำเศษอาหารมาแยกส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออก เช่น ยาง ถุงพลาสติก ไม้เสียบลูกชิ้น กระดุก จากนั้นนำเศษอาหารมาปั่นให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นอาหาร แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาสภาพก่อนนำมาใช้

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บรวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลย้อนขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) ของบริษัท ขอนแก่นบิวโรเวอรี่ จำกัด

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เพื่อนำมาใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมมาได้ จะถูกนำมาเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เสียสภาพก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

เศษอาหารและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid; TS) และค่าของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid; VS) ตามวิธีมาตรฐาน [12] และวัดค่า pH โดยใช้ pH Meter

2.2 การเตรียมถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วย

เก็บรวบรวมเปลือกกล้วยน้ำว่าที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ในเขตอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก นำมาเข้าสู่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งสนิท จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาถ่านแบบแนวตั้งขนาด 200 ลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อได้ถ่านชีวภาพออกมาแล้ว จึงนำถ่านที่ได้ไปบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อคัดเอาแต่เฉพาะถ่านที่มีอนุภาคเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร เก็บรักษาในถุงซิปล็อกเพื่อป้องกันความชื้นก่อนนำมาใช้งาน

2.3 การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร

กระบวนการผลิตแก๊สมีเทนใช้ถึงหมักระดับห้องปฏิบัติการ ปริมาตรทำงาน 5 ลิตร เริ่มต้นเดินระบบโดยการนำเศษอาหารมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 5 กรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลิตร (g-VS/L) ปรับค่า pH เท่ากับ 7.0 โดยใช้สารละลาย 3M NaOH และเติมผงถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยในอัตรา 20 กรัมต่อลิตร (g/L) ซึ่งเป็นอัตราที่ได้มาจากการทดลองเบื้องต้นในกระบวนการหมักแบบกะ (Batch) และเป็นอัตราที่อยู่ในช่วงเหมาะสมจากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [13]-[16] จากนั้นจึงเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในอัตรา 50 g-VS/L ปิดฝาถังหมักให้สนิท แทนที่อากาศภายในโดยการพ่นด้วยแก๊สไนโตรเจน

บริสุทธิ์ เพื่อสร้างสภาวะไร้ออกซิเจนในถังหมัก จากนั้นจึงเริ่มต้นเดินระบบด้วยกระบวนการหมักแบบกะ ประมาณ 2 สัปดาห์ วัดค่า pH ของน้ำหมักทุกวัน เพื่อตรวจติดตามค่า pH ในถังหมักให้คงที่ในช่วง 6.8–7.4 และบันทึกข้อมูลอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพต่อวัน ด้วยเครื่องวัดแก๊ส (Gas Counter) จากนั้นเก็บตัวอย่างแก๊สที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC) ตามวิธีการของ Pattra และคณะ [17]

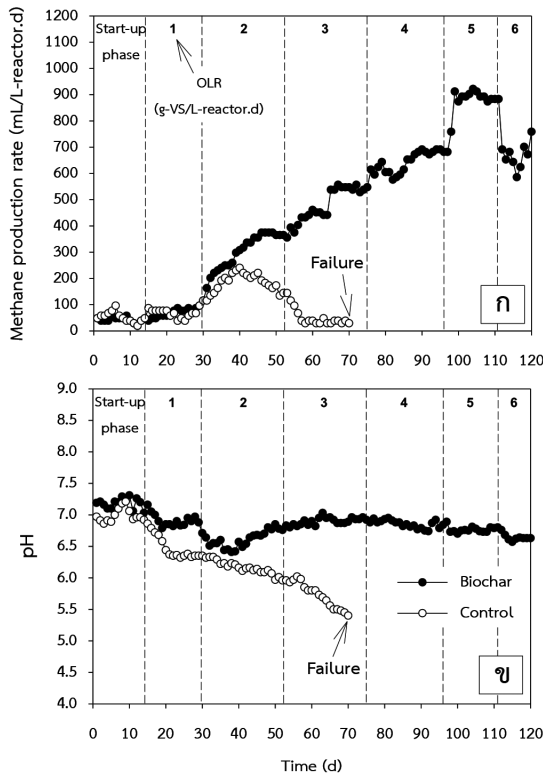
เมื่ออัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีสัดส่วนของแก๊สมีเทนที่พบในแก๊สชีวภาพมากกว่า 50% และค่า pH ไม่ลดลงต่ำกว่า 6.8 แล้ว จึงเริ่มต้นกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง โดยทุกๆ 24 ชั่วโมง ให้น้ำหมักในถังหมักออก 1 ลิตร จากนั้นเติมสารละลายเศษอาหารที่ความเข้มข้น 5 g-VS/L ผสมผงถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยในอัตรา 20 กรัมต่อลิตร ปริมาตรรวมทั้งหมด 1 ลิตร เข้าไปในถังหมัก ซึ่งคิดเป็นค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) หรือค่า OLR เท่ากับ 1 กรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลิตรถังหมักต่อวัน (g-VS/L-reactor.d) เก็บข้อมูลอัตราการผลิตแก๊สมีเทน และค่า pH ของน้ำหมักในถังหมัก จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) คือ มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทน และค่า pH คงที่อยู่ในระดับ $\pm < 10\%$ เป็นระยะเวลาต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน จึงเริ่มปรับค่า OLR เพิ่มขึ้นเป็น 2, 3, 4, 5 และ 6 g-VS/L-reactor.d โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเศษอาหารเป็น 10, 15, 20, 25 และ 30 g-VS/L ตามลำดับ และผสมผงถ่านชีวภาพในอัตราคงที่เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของถ่านชีวภาพในถังหมักให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยวิธีที่เมนด์ควบคุมในการวิจัยนี้ คือ การผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารที่ใช้สภาวะเดียวกันกับกระบวนการที่อธิบายข้างต้น แต่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพลงในกระบวนการหมัก นอกจากนี้ ก่อนการแปรผันค่า OLR แต่ละครั้ง จะมีการเก็บตัวอย่างน้ำหมักที่ออกจากถังหมักไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ตามวิธีมาตรฐาน [18] เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของการเดินระบบที่ค่า OLR ต่างๆ

วิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตแก๊สมีเทน ค่าผลได้ของมีเทน และค่า pH ของการเดินระบบที่ค่า OLR ต่างๆ (จำนวน 3 ซ้ำ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษอาหาร และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบว่า เศษอาหารมีค่า TS และ VS เท่ากับ 205.77 และ 196.25 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่า TS และ VS เท่ากับ 133.28 และ 122.52 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า วัตถุประสงค์ทั้งสองชนิดมีค่า VS ในสัดส่วนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่า TS แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ และเมื่อพิจารณาจากค่า pH แล้ว พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่า pH เท่ากับ 7.82 ในขณะที่เศษอาหารมีค่า pH เท่ากับ 5.78 แสดงถึงค่าความเป็นกรดของเศษอาหาร เนื่องจากองค์ประกอบที่พบในเศษอาหารส่วนใหญ่เป็นข้าว ซึ่งเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต สามารถย่อยสลายเปลี่ยนเป็นกรดได้ง่าย โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม

ผลการทดลองผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารโดยใช้ถ่านชีวภาพเป็นบัฟเฟอร์ มีการแปรผันค่า OLR ตั้งแต่ 1–6 g-VS/L-reactor.d และเดินระบบเป็นระยะเวลาทั้งหมด 120 วัน พบว่า ค่า OLR ส่งผลต่ออัตราการผลิตแก๊สมีเทนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเพิ่มค่า OLR จาก 1 ไปจนถึง 5 g-VS/L-reactor.d อัตราการผลิตแก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ [รูปที่ 1 (ก)] และมีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนก่อนการเปลี่ยนค่า OLR ค่อนข้างคงที่ (\pm ไม่เกิน 10%) แต่เมื่อเพิ่มค่า OLR จาก 5 เป็น 6 g-VS/L-reactor.d พบว่า อัตราการผลิตแก๊สมีเทนลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าการเดินระบบที่ค่า OLR เท่ากับ 6 g-VS/L-reactor.d เป็นการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบในอัตราที่สูงเกินไป และอาจส่งผลให้กระบวนการหมักล้มเหลวลงได้ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักควบคุม (Control) ที่ไม่มีการใช้ถ่านชีวภาพเป็นบัฟเฟอร์พบว่า เมื่อเพิ่มค่า OLR จาก 1 เป็น 2



รูปที่ 1 (ก) อัตราการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารในถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับถังหมักควบคุม (ข) ค่า pH ในถังหมักแก๊สมีเทนจากเศษอาหารที่ใช้ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับถังหมักควบคุม

* เส้นประในแนวตั้ง คือ การแบ่งช่วงของการเดินระบบที่ค่า OLR ต่างๆ

g-VS/L-reactor.d อัตราการผลิตแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นในช่วงแรกก่อนที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเข้าสู่การเดินระบบที่ค่า OLR 3 g-VS/L-reactor.d ส่งผลให้แก๊สมีเทนหยุดผลิตในช่วงวันที่ 70 ของการเดินระบบ แสดงให้เห็นว่าการผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารโดยไม่ใช้ถ่านชีวภาพเป็นบัพเฟอร์สามารถรับค่า OLR สูงสุดได้ไม่เกิน 2 g-VS/L-reactor.d

ค่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เนื่องจากใช้เป็นตัวชี้วัดด้านเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้เมื่อดูจากค่า pH ระหว่างกระบวนการผลิตแก๊สมีเทนจาก

เศษอาหารของถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับถังหมักควบคุมพบว่า ในช่วงเริ่มต้นระบบ (Start-up Phase) ถังหมักทั้งสองถังมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.9–7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ [รูปที่ 1 (ข)] หลังจากนั้น เมื่อเริ่มต้นป้อนเศษอาหารเข้าสู่ถังหมักที่ค่า OLR เท่ากับ 1 g-VS/L-reactor.d พบว่า ค่า pH ของถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มที่ลดลงมาเล็กน้อย อยู่ที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 6.89 และเมื่อเพิ่มค่า OLR เป็น 2, 3, 4 และ 5 g-VS/L-reactor.d พบว่า ถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพสามารถคงระดับของค่า pH ได้ค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 6.77–6.91 ในขณะที่ค่า pH ของถังหมักควบคุมมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มค่า OLR โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเพิ่มค่า OLR ถึงระดับ 3 g-VS/L-reactor.d พบว่า ค่า pH ลดต่ำลงเหลือ 5.5 ซึ่งถือว่ากระบวนการหมักล้มเหลว สอดคล้องกับอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่หยุดชะงักลง [รูปที่ 1 (ก)] ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพสามารถรักษาเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้เป็นอย่างดี

อัตราการผลิตแก๊สมีเทน (Methane Production Rate; MPR) ค่าผลได้ของมีเทน (Methane Yield; MY) และค่า pH ของถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพ เมื่อเดินระบบที่ค่า OLR แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 1 พบว่า อัตราการผลิตแก๊สมีเทนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มค่า OLR จาก 1 ถึง 5 g-VS/L-reactor.d ตามลำดับ โดยที่ค่า OLR เท่ากับ 5 g-VS/L-reactor.d มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 888 มิลลิลิตรต่อลิตรถังหมักต่อวัน (mL/L-reactor.d) มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.77 แต่เมื่อเพิ่มค่า OLR เป็น 6 g-VS/L-reactor.d พบว่า อัตราการผลิตแก๊สมีเทน และค่า pH เฉลี่ยมีค่าลดลงเหลือ 667 mL/L-reactor.d –และ 6.64 ตามลำดับ

ค่าผลได้ของมีเทนคำนวณจากการนำอัตราการผลิตแก๊สมีเทนหารด้วยค่า OLR ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสับสเตรทไปเป็นแก๊สมีเทน จากผลการวิจัยพบว่า ที่ค่า OLR เท่ากับ 2 g-VS/L-reactor.d มีค่าผลได้ของมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 184 mL/g-VS และเมื่อเพิ่มค่า OLR เป็น 3, 4, 5 และ 6 g-VS/L-reactor.d พบว่า ค่าผลได้ของมีเทนลดลง แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเดินระบบที่ค่า OLR

ตารางที่ 1 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ค่าผลได้ของมีเทน และค่า pH ของถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพ เปรียบเทียบกับถังหมักควบคุม เมื่อเดินระบบที่ค่า OLR แตกต่างกัน

OLR (g-VS/ L-reactor.d)	Methane Production Rate (mL/L-reactor.d)		Methane Yield (mL/g-VS)		pH	
	With Biochar	Control	With Biochar	Control	With Biochar	Control
1	82.80 ± 7.14 ^e	60.00 ± 19.03 ^b	82.80 ± 7.14 ^e	60.00 ± 19.03 ^b	6.89 ± 0.06 ^a	6.35 ± 0.02a
2	368.40 ± 7.14 ^d	163.20 ± 20.53 ^a	184.20 ± 3.57 ^a	81.60 ± 10.26 ^a	6.77 ± 0.06 ^b	6.03 ± 0.07 ^b
3	545.07 ± 9.33 ^c	34.29 ± 6.20 ^c	181.69 ± 3.11 ^{ab}	11.43 ± 2.07 ^c	6.91 ± 0.04 ^a	5.66 ± 0.18 ^c
4	683.73 ± 6.40 ^b	-	170.93 ± 1.60 ^c	-	6.82 ± 0.06 ^b	-
5	888.69 ± 12.22 ^a	-	177.74 ± 2.44 ^b	-	6.77 ± 0.03 ^b	-
6	667.73 ± 49.44 ^b	-	111.29 ± 8.24 ^d	-	6.64 ± 0.05 ^c	-

* ค่าเฉลี่ย (n=3) ที่มีอักษรกำกับตามแนวตั้ง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

2 กับ 5 g-VS/L-reactor.d พบว่า การเดินระบบที่ค่า OLR 5 g-VS/L-reactor.d แม้ว่าจะมีค่าผลได้ของมีเทนที่ต่ำกว่า การเดินระบบที่ค่า OLR 2 g-VS/L-reactor.d เล็กน้อย (177 mL/g-VS) แต่มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่สูงกว่าถึง 2.4 เท่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่า OLR เท่ากับ 5 g-VS/L-reactor.d เป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบที่เหมาะสมที่สุด

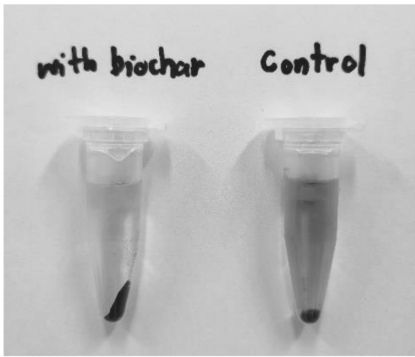
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี (COD Removal Efficiency) ของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงสิ่งแวดล้อมของกระบวนการหมัก เนื่องจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเป็นการบำบัดของเสียควบคู่ไปกับการผลิตพลังงานทดแทน (แก๊สมีเทน) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของเศษอาหารเริ่มต้น (COD in) เปรียบเทียบกับค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (COD out) เฉพาะถังหมักที่มีการเติมถ่านชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี เมื่อมีการเดินระบบที่ OLR แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มค่า OLR ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย โดยการเดินระบบที่ค่า OLR เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 5 g-VS/L-reactor.d มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีได้ถึง 80.77%

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพ เมื่อเดินระบบที่ค่า OLR แตกต่างกัน

OLR (g-VS/L- reactor.d)	COD Removal Efficiency		
	COD in (g/L)	COD out (g/L)	Removal (%)
1	6.68 ± 0.08 ^f	0.57 ± 0.09 ^f	91.47 ± 1.23 ^a
2	11.31 ± 0.08 ^e	1.58 ± 0.11 ^e	86.03 ± 0.85 ^b
3	16.08 ± 0.17 ^d	3.60 ± 0.14 ^d	77.61 ± 0.67 ^d
4	20.35 ± 0.15 ^c	4.39 ± 0.16 ^c	78.43 ± 0.63 ^d
5	25.84 ± 0.12 ^b	4.97 ± 0.22 ^b	80.77 ± 0.83 ^c
6	31.12 ± 0.12 ^a	16.67 ± 0.11 ^a	46.43 ± 0.17 ^e

* ค่าเฉลี่ย (n=3) ที่มีอักษรกำกับตามแนวตั้ง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

นอกจากนี้ คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของถ่านชีวภาพ ในงานด้านสิ่งแวดล้อม คือ การดูดซับสีและกลิ่นของน้ำเสีย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำหมักจากถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพ ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วง OLR ที่เหมาะสม เท่ากับ 5 g-VS/L-reactor.d (ประมาณวันที่ 110 ของการเดินระบบ) มีสีใสกว่าน้ำหมักจากถังหมักควบคุมอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 สีของน้ำหมักจากถังหมักที่ใช้ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับถังหมักควบคุม

และมึกลิ่นเหม็นลดน้อยลงกว่าน้ำหมักจากถังหมักควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ข้อมูลจากการสังเกต)

4. อภิปรายผลและสรุป

เศษอาหารเหลือทิ้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นข้าวซึ่งจัดเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย จุลินทรีย์ที่อยู่ตามธรรมชาติจึงสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตและเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) สะสมอยู่ในกระบวนการหมักได้อย่างรวดเร็ว [19] ส่งผลให้ค่า pH ของเศษอาหารหมักจะลดลงภายในระยะเวลาไม่นานหลังจากเหลือทิ้งจากการประกอบอาหาร หรือการรับประทานอาหาร ดังนั้น ในระหว่างการรวบรวมเศษอาหารเพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ค่า pH เริ่มต้นของเศษอาหารจึงมักมีค่าต่ำอยู่ในช่วงที่เป็นกรด โดยในงานวิจัยนี้พบว่าเศษอาหารเหลือทิ้งจากโรงอาหารที่ถูกรวบรวมในแต่ละวันมีค่า pH เฉลี่ยประมาณ 5.78 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบหลัก จึงมักประสบปัญหาเรื่องการควบคุมค่า pH ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตแก๊สมีเทน ดังจะเห็นได้จากผลการวิจัยนี้พบว่า ถังหมักควบคุมที่ไม่มีการใช้ถ่านชีวภาพเป็นบัฟเฟอร์ สามารถรับค่า OLR สูงสุดได้เพียง 2 g-VS/L-reactor.d โดยที่ค่า pH มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากเริ่มป้อนเศษอาหารเข้าสู่ถังหมักแสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพในกระบวนการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Giwa และคณะ [20] ที่รายงานไว้ว่า การ

ผลิตแก๊สมีเทนจากเศษอาหารด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเกิดการเสถียรภาพเมื่อใช้ค่า OLR สูงกว่า 2 g-VS/L-reactor.d เนื่องจากค่า pH ลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้แก๊สมีเทนหยุดผลิต และกระบวนการหมักได้ล้มเหลวลง

การใช้ถ่านชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศแสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้เป็นอย่างดี โดยสามารถเพิ่มค่า OLR ให้กับระบบได้สูงถึง 5 g-VS/L-reactor.d หรือคิดเป็น 2.5 เท่าของระบบที่ไม่มีการใช้ถ่านชีวภาพ และสามารถผลิตแก๊สมีเทนเฉลี่ยได้สูงถึง 888 mL/L-reactor.d ถึงแม้ว่าค่า pH เฉลี่ยของกระบวนการหมักที่สภาวะนี้จะอยู่ที่ 6.77 ซึ่งเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เนื่องจากช่วง pH ที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 6.8-7.4 [1] แต่เมื่อดูจากเสถียรภาพของค่า pH และอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่ค่อนข้างคงที่แล้ว การเดินระบบที่ค่า OLR 5 g-VS/L-reactor.d จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยเมื่อมีการเพิ่มค่า OLR เป็น 6 g-VS/L-reactor.d พบว่า ถังหมักเริ่มเสถียรภาพ เนื่องจากมีค่า pH และอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่ไม่คงที่ และมีแนวโน้มที่ลดลงแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดในการรับเศษอาหารที่สภาวะดังกล่าว

เมื่อพิจารณาจากค่าผลได้ของมีเทน และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีแล้วพบว่า การเดินระบบที่ค่า OLR 2 g-VS/L-reactor.d มีค่าสูงกว่าการเดินระบบที่ค่า OLR 5 g-VS/L-reactor.d อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1 และ 2) แต่จะเห็นได้ว่า การเดินระบบที่ค่า OLR 5 g-VS/L-reactor.d มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่สูงกว่าถึง 2.4 เท่า และสามารถรับปริมาณเศษอาหารเข้าสู่ระบบได้สูงกว่าถึง 2.5 เท่า ดังนั้น หากพิจารณาถึงเหตุผลในด้านความเหมาะสมต่อการขยายขนาดสู่การใช้งานจริงแล้ว การเดินระบบที่ค่า OLR 5 g-VS/L-reactor.d สามารถลดปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้งได้มากกว่า และผลิตแก๊สมีเทนใช้เป็นพลังงานได้ในอัตราที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดซับสีของน้ำหมักจากกระบวนการ

หมักแบบไร้อากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับสีย้อมสี มีลักษณะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang และคณะ [13] ที่ได้รายงานไว้ว่า รุพารูของถ่านช่วยดูดซับสีของน้ำหมักในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วยทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการหมักมีคุณภาพที่ดีขึ้น และยังมีบทความวิจัยที่รายงานถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของถ่านชีวภาพที่มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ยกตัวอย่างเช่น คุณสมบัติของถ่านชีวภาพในการเป็นสื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์ (Direct Interspecies Electron Transfer; DIET) โดยในงานวิจัยของ Wang และคณะ [21] ได้อธิบายไว้ว่า สาเหตุหลักที่ทำให้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศล้มเหลวเกิดขึ้นจากการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย อันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการย่อยสลายกรดบิวทริกและกรดโพรพิโอนิกจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์อย่างน้อย 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Syntrophic VFA Oxidizing Bacteria และกลุ่ม Methanogenic Archaea แต่เนื่องจากจุลินทรีย์ 2 กลุ่มนี้ ไม่มีอวัยวะในการส่งถ่ายอิเล็กตรอนระหว่างกัน (e-pili) จึงทำให้การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างกระบวนการเมทาบอลิซึมเกิดขึ้นได้ช้า ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายช้าลง การใช้ถ่านชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจะช่วยเป็นสื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์ได้โดยตรง เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอนมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่าย และเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สมีเทนให้สูงขึ้นได้ ดังนั้น ในงานวิจัยครั้งต่อไป จึงควรมีการศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์ของถ่านชีวภาพจากวัสดุชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบหาวัสดุที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตถ่านชีวภาพสำหรับใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศต่อไป

คุณสมบัติอีกด้านหนึ่งของถ่านชีวภาพ คือ การลดผลกระทบจากแอมโมเนียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นสารยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ โดยถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนสูง จะช่วยดูดซับแอมโมเนียไว้ในพื้นผิว

[22] ซึ่งนอกจากจะช่วยลดผลกระทบของแอมโมเนียแล้วยังช่วยลดระยะพัก (Lag Phase) ของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงขึ้นด้วย [23] นอกจากนี้ Luo และคณะ [24] ได้รายงานไว้ว่า รุพารูบนพื้นผิวของถ่านชีวภาพเป็นที่ยึดเกาะของเซลล์จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ จึงช่วยเสริมสร้างกระบวนการตรึงเซลล์ของกลุ่มจุลินทรีย์ทำให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น และช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายให้สูงขึ้น

เปลือกกล้วยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ให้ค่าผลได้ของถ่านชีวภาพประมาณ 30-35% (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างสูง นอกจากนี้ เปลือกกล้วยเหลือทิ้งยังมีปริมาณมาก และสามารถหาได้ง่ายในทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วย ดังนั้น การนำเปลือกกล้วยมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตถ่านชีวภาพสำหรับใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจึงมีความเป็นไปได้สูง

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยช่วยรักษาระดับ pH ของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจากเศษอาหารได้ ทำให้กระบวนการหมักมีเสถียรภาพ และเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สมีเทนให้สูงขึ้น โดยถ่านชีวภาพที่มีการเติมถ่านชีวภาพสามารถรับค่า OLR ได้สูงสุดถึง 5 g-VS/L-reactor.d มีอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงที่สุด 888 mL/L-reactor.d ในขณะที่ถ่านชีวภาพที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพสามารถรับค่า OLR ได้ไม่เกิน 2 g-VS/L-reactor.d นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังมีบทบาทในการเพิ่มคุณภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยการช่วยดูดซับสีและกลิ่นของน้ำหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการวิจัยต่อไป ควรมีการพัฒนากระบวนการกระตุ้นถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยให้มีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับให้สูงขึ้น และศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในด้านความพรุนและพื้นที่ผิว รวมถึงบทบาทเชิงลึกของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เช่น การเป็นที่ยึดเกาะของเซลล์จุลินทรีย์ การเป็นสื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างจุลินทรีย์ต่างสายพันธุ์ คุณสมบัติในการดูดซับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาการวิจัย และบริหารจัดการงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประจำปีงบประมาณ 2562 (ประเภททุนวิจัยเพื่อพัฒนานักวิจัย สัญญารับทุนเลขที่ RDI-4-62-03) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และสนับสนุนเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Mao, Y. Feng, X. Wang, and G. Ren, "Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 540–555, 2015.
- [2] S. Gao, Y. Huang, L. Yang, H. Wang, M. Zhao, Z. Xu, Z. Huang, and W. Ruan, "Evaluation the anaerobic digestion performance of solid residual kitchen waste by NaHCO₃ buffering," *Energy Conversion and Management*, vol. 93, pp. 166–174, 2015.
- [3] R. M. Novais, T. Gameiro, J. Carvalheiras, M. P. Seabra, L. A. C. Tarelho, J.A. Labrincha, and I. Capela, "High pH buffer capacity biomass fly ash-based geopolymer spheres to boost methane yield in anaerobic digestion," *Journal of Cleaner Production*, vol. 178, pp. 258–267, 2018.
- [4] A. C. Lizama, C. C. Figueiras, A. Z. Pedreguera, and J. E. R. Espinoza, "Enhancing the performance and stability of the anaerobic digestion of sewage sludge by zero valent iron nanoparticles dosage," *Bioresource Technology*, vol. 275, pp. 352–359, 2019.
- [5] S. Chen, A. E. Rotaru, P. M. Shrestha, N. S. Malvankar, F. Liu, W. Fan, K. P. Nevin, and D. R. Lovley, "Promoting interspecies electron transfer with biochar," *Scientific Reports*, vol. 4, pp. 1–7, 2015.
- [6] G. Kaur, D. Johnravindar, and J. W. C. Wong, "Enhanced volatile fatty acid degradation and methane production efficiency by biochar addition in food waste-sludge co-digestion: A step towards increased organic loading efficiency in co-digestion," *Bioresource Technology*, vol. 308, pp. 123250, 2020.
- [7] Y. Li, J. Liu, Q. Yuan, H. Tang, F. Yu, and X. Lv, "A green adsorbent derived from banana peel for highly effective removal of heavy metal ions from water," *RSC Advances*, vol. 6, pp. 45041–45048, 2016.
- [8] J. Anwar, U. Shafique, W. Zaman, M. Salman, A. Dar, and S. Anwar, "Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana," *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 6, pp. 1752–1755, 2010.
- [9] N. Zhou, H. Chen, j. Xi, D. Yao, Z. Zhou, Y. Tian, and X. Lu, "Biochars with excellent Pb(II) adsorption property produced from fresh and dehydrated banana peels via hydrothermal carbonization," *Bioresource Technology*, vol. 232, pp. 204–210, 2017.
- [10] A. Chaparadza and J. M. Hossenlopp, "Adsorption kinetics, isotherms and thermodynamics of atrazine removal using a banana peel based sorbent," *Water Science and Technology*, vol. 65, no. 5, pp. 940–947, 2012.
- [11] T. Ahmad and M. Danish, "Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 206, pp. 330–348, 2018.
- [12] *Standard Methods for the Examination of Water*



- and Wastewater, 23rd ed. APHA, AWWA and WEF, Washington DC, 2017, pp. (part 2540) 66–73.
- [13] L. Zhang, J. Zhang, and K. C. Loh, “Activated carbon enhanced anaerobic digestion of food waste: Laboratory-scale and pilot-scale operation,” *Waste Management*, vol. 75, pp. 270–279, 2018.
- [14] W. Yan, N. Shen, Y. Xiao, Y. Chen, F. Sun, V.K. Tyagi, and Y. Zhou, “The role of conductive materials in the start-up period of thermophilic anaerobic system,” *Bioresource Technology*, vol. 239, pp. 336–344, 2017.
- [15] Y. Yang, Y. Zhang, Z. Li, Z. Zhao, X. Quan, and Z. Zhao, “Adding granular activated carbon into anaerobic sludge digestion to promote methane production and sludge decomposition,” *Journal of cleaner production*, vol. 149, pp. 1101–1108, 2017.
- [16] F. Liu, A. E. Rotaru, P. M. Shrestha, N. S. Malvankar, K. P. Nevin, and D. R. Lovley, “Promoting direct interspecies electron transfer with activated carbon,” *Energy and Environmental Science*, vol. 5, pp. 8982–8989, 2012.
- [17] S. Pattra, S. Sangyoka, M. Boonmee, and A. Reungsang, “Bio-hydrogen production from the fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate by *Clostridium butyricum*,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, no. 19, pp. 5256–5265, 2008.
- [18] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed., APHA, AWWA and WEF, Washington DC, 2017, pp. (part 5220) 17–21.
- [19] D. Wang, J. Ai, F. Shen, G. Yang, Y. Zhang, S. Deng, J. Zhang, Y. Zeng, and C. Song, “Improving anaerobic digestion of easy-acidification substrates by promoting buffering capacity using biochar derived from vermicompost,” *Bioresource Technology*, vol. 227, pp. 286–296, 2017.
- [20] A. S. Giwa, H. Xu, F. Chang, J. Wu, Y. Li, N. Ali, S. Ding, and K. Wang, “Effect of biochar on reactor performance and methane generation during the anaerobic digestion of food waste treatment at long-run operations,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 103067, 2019.
- [21] G. Wang, Q. Li, X. Gao, and X. C. Wang, “Synergetic promotion of syntrophic methane production from anaerobic digestion of complex organic wastes by biochar: Performance and associated mechanisms,” *Bioresource Technology*, vol. 250, pp. 812–820, 2018.
- [22] J. Pan, J. Ma, L. Zhai, T. Luo, Z. Mei, and H. Liu, “Achievements of biochar application for enhanced anaerobic digestion: A review,” *Bioresource Technology*, vol. 292, pp. 122058, 2019.
- [23] F. Lu, C. H. Luo, L. M. Shao, and P. J. He, “Biochar alleviates combined stress of ammonium and acids by firstly enriching *Methanosaeta* and then *Methanosarcina*,” *Water Research*, vol. 90, pp. 34–43, 2016.
- [24] C. Luo, F. Lu, L. Shao, and P. He, “Application of eco-compatible biochar in anaerobic digestion to relieve acid stress and promote the selective colonization of functional microbes,” *Water Research*, vol. 68, pp. 710–718, 2015.