

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

Organic Loading Rate of Two-Stage Anaerobic Digestion for Biogas Production

from Napier Pak chong1 grass (*Pennisetum purpureum*. Schum)

สุพล บ่อคุ้ม (Supon Bokum)* สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์ (Somsak Pitaksanurat)**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ของระบบหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลไก่ใช้เวลาพักเก็บ 28 วัน ในถังปฏิกรณ์ขนาด 200 ลิตร(L) OLR ในรูปของของแข็งระเหย (VS) เท่ากับ 0.49, 0.55 และ 0.80 kg VS/m³-d ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเกิด ก๊าซชีวภาพสะสม 33 วันเท่ากับ 126.09, 211.73 และ 561.63 ลิตร และผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 24.07, 36.18 และ 66.13 L CH₄/kg.VS added ตามลำดับ OLR ทั้งสามมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีองค์ประกอบมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 61.61 (± 8.03) ได้ผลผลิตมีเทนเป็น 4,855.25, 3,952.93 และ 5,242.73 ลิตรต่อตัน น้ำหนักสดตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 สามารถหมักร่วมกับมูลไก่ด้วยระบบหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนเพื่อ ผลิตก๊าซชีวภาพได้โดยยังสร้างมีเทนมีเสถียรภาพดี

ABSTRACT

The study objective was to study the effect of Organic Loading Rate (OLR) in Two-stage Anaerobic Digestion for biogas production from Napier Pakchong 1 grass. Using chicken manure was co-digest at 28-days Retention Time in 200 liters of Reactor. OLR in term of volatile solids ratio were 0.49, 0.55 and 0.80kg VS/m³-d respectively. The result showed that the biogas accumulated were 126.09, 211.73 and 561.63 liters and the methane yields were 24.07, 36.18 and 66.13 L CH₄ / kg VS added, respectively. The three organic loading rate, the amount of biogas accumulated are significantly different statistically ($P < 0.05$). The average of all OLR had methane percentage composition 61.61(± 8.03) and productivity of methane yield were 4,855.25, 3,952.93 and 5,242.73 L/ton (wet weight) Napier Pak chong 1 grass can be combined with chicken manure in two-stage anaerobic digestion to producing biogas and methane reactor also good stability.

คำสำคัญ: การหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ก๊าซชีวภาพ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

Key Words: Biogas, Napier pak chong 1 grass, Two-Stage Anaerobic digestion

* นักศึกษา หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์ด้านพลังงานของโลกมีแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสรรหาพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นมาผลิตพลังงานให้เพียงพอแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป พืชพลังงานเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผลิตเป็นพลังงานได้ จึงเล็งเป้าหมายที่การผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซที่ได้จากการหมักชีวมวลเนื่องจากพืชสามารถให้ออกซิเจนแก่สิ่งมีชีวิตอื่น และยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ โดยหมุนเวียนใช้ก๊าซเหล่านั้นได้ ประเทศไทยโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงเริ่มส่งเสริมให้ใช้หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มาผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum* Schum) เป็นหญ้าเนเปียร์ลูกผสมระหว่าง *Pennisetum purpureum* กับ *Pennisetum americanum* มีลำต้นสูง 2-4 เมตร แตกกอดี มีใบดกหนา กว้างและไม่ทิ้งใบ มีอายุปลูกหลายปี (กมล, 2554) อายุการเก็บเกี่ยวเพื่อเลี้ยงสัตว์และการผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกันคือ 25-55 วัน อายุ 55 วัน สามารถเก็บเกี่ยวได้ 7 ครั้งต่อปี และไว้ต่อได้ถึง 7 ปีเป็นอย่างน้อย (สำราญ และพรชัย, 2554) ทำให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ลักษณะและคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ สำหรับการศึกษาของน้ำเพชร และสุวัฒน์ (2555) เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการนำหญ้าเนเปียร์ยักษ์มาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้า เทียบกับฟางข้าว และเศษเห้ง้าและต้นมันสำปะหลังเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกกะวัตต์ พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีต้นทุนต่ำกว่าพืชทั้งสองชนิดดังกล่าวและมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าได้

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเพื่อย่อยสลายอินทรีย์เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลายขั้นตอน หากทำการหมักในถังเดียวกันย่อมเป็นการยากที่จะปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นจึงแยกขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยแยกออกเป็นขั้นตอนการสร้างกรด (Acid Fermentation) และขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methane Formation) ออกจากกันโดยอิสระ (จิรสมัย, 2551) ซึ่งทำให้ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมแก่แบคทีเรียแต่ละกลุ่มได้

การผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้วัตถุดิบทางเลือกอีกหลายชนิดเพื่อนำมาผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เช่น ก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายของเสียอินทรีย์ที่มาจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร กากของเสียต่าง ๆ จากชุมชน เศษวัสดุเหลือจากการเกษตรกรรม และจากมูลสัตว์ต่างๆ ปัจจุบันมีการนำของเสียจำพวกมูลสัตว์มาบำบัดด้วยระบบไร้อากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการจัดการของเสียภายในฟาร์ม เช่น ฟาร์มสุกร จะใช้มูลและน้ำล้างคอก มูลไก่จากฟาร์มเลี้ยงไก่ และก๊าซชีวภาพที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ภายในฟาร์ม ใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม ใช้กักกักอุณหภูมิในฟาร์ม ใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม ใช้กักอุณหภูมิในระยะแรกก็ได้ การใช้วัตถุดิบจากมูลสัตว์มาหมักด้วยระบบหมักไร้อากาศยังช่วยไม่ให้เกิดกลิ่นรบกวนผู้อาศัยบริเวณใกล้เคียงซึ่งนำไปสู่เหตุทะเลาะวิวาทได้นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดไข่พยาธิที่ปนมากับมูลสัตว์และสามารถฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ได้ ส่วนกากและน้ำหมักที่ผ่านระบบยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรด้วยการใช้ทำปุ๋ยทั้งรูปแบบน้ำและแบบแห้ง มูลสัตว์ต่าง ๆ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพค่อนข้างแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากองค์ประกอบของมูลสัตว์แต่ละชนิดแตกต่างกัน มูลสัตว์จากปศุสัตว์สามประเภทที่นิยมนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้แก่ มูลสุกร มูลโค และมูลไก่ ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.25-0.5, 0.20-0.30 และ 0.35-0.60 m³ kg⁻¹ VS ตามลำดับ (Fabien, 2003) ซึ่งพบว่ามูลไก่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีกว่ามูลสัตว์อื่น เนื่องจากในมูลไก่มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม *Methanococcus* sp. และกลุ่ม *Methanobacterium* sp. ในปริมาณสูงนั่นเอง และนอกจากนั้นก็ยังมีแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์อยู่ด้วย เมื่อศึกษาองค์ประกอบของ

มูลไก่เพิ่มเติมยังพบว่ามีปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำ และมีลักษณะที่เหมาะสมในการนำมาหมักผลิตก๊าซชีวภาพได้

การศึกษานี้จึงสนใจนำเอาหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum*, Schum.) ซึ่งเป็นพืชที่ให้ผลผลิตต่อไร่ต่อปีสูง และสามารถให้ผลผลิตได้หลายครั้งต่อปี อายุ 45 วันนำมาหมักร่วมกับมูลไก่ด้วยระบบหมักไร้อากาศสองขั้นตอน (Two-stage Anaerobic digestion) ที่มีการกวนผสมถังสร้างมีเทน 30 รอบต่อนาที (round per minute, rpm)

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

วิธีการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมี: โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Union Science Trading, Thailand), กรดซัลฟริก (GAMMA, Thailand), โซเดียมไบคาร์บอเนต (S.Tong, Thailand), โปแตสเซียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต (k.science center and Medical, Thailand),

เครื่องมือ: Toploading Balance (Sartorius, Germany), Furnace (Chemoscience, Thailand), Thermo-Meter (GibThai, Thailand), pH-Meter, Gas Chromatography (Shimadzu, Japan)

2. วิธีการทดลอง

การติดตั้งชุดหมัก: ระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ประกอบด้วย ถึงปฏิกิริยาผลิตกรด (Hydrolysis Stage) เป็นขั้นตอนที่ 1 สำหรับการหมักเพื่อให้วัตถุดิบเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์กลายเป็นกรดไขมันระเหยใช้ถังพลาสติก (Poly Ethylene, PE) ขนาด 100 ลิตร (L) มีปริมาตรใช้งาน 67 L ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้ถังพลาสติก (Poly Ethylene, PE) ขนาด 200 L มีปริมาตรใช้งาน 180 L เป็นถึงปฏิกิริยาสร้างมีเทนส่วนบนติดตั้งใบ

กวนความเร็ว 30 rpm และต่อท่อส่งก๊าซชีวภาพไปยังถังเก็บขนาด 10 L ติดตั้งทั้งหมด 3 ชุด

การเตรียมตัวอย่าง: หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 อายุ 45 วัน สับลดขนาด 0.5 – 2 เซนติเมตร นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยขนาดอีกครั้งเพื่อให้ละเอียดขึ้น ชั่งน้ำหนักสด 12 กิโลกรัม (Kilograms, Kg) แช่น้ำสารละลาย 2 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 50 L แล้วแยกน้ำออกและล้างน้ำเปล่าอีก 3 รอบ ปล่อยให้หมาดประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้

การเริ่มต้นระบบ: ชั่งหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 น้ำหนัก 2 kg และมูลไก่ไข่สด 20 kg ใส่ลงในถังขนาด 100 L เติมน้ำให้มีปริมาตร 60 L ส่วนถึงปฏิกิริยาสร้างมีเทนขนาด 200 L ชั่งหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 น้ำหนัก 3 kg และมูลไก่สด 35 kg เติมน้ำให้มีปริมาตร 110 L ปิดฝาถึงให้สนิทให้แบคทีเรียมีการเจริญและคุ้นเคยกับสภาวะการทำงานเป็นเวลา 15 วัน มีระยะเวลาพักเก็บเท่ากับ 28 วัน

การทดลอง: เมื่อสภาวะการหมักเข้าสู่การสร้างก๊าซชีวภาพ เริ่มเดิมอัตราส่วนผสมหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1: มูลไก่ 0.5:0.5, 1.0:0.5 และ 2.0:0.5 kg เท่ากับ OLR ในรูปของแข็งระเหยเท่ากับ 0.49, 0.55 และ 0.80 kg VS/m³-d เป็น OLR1, OLR2 และ OLR3 ตามลำดับ เติมน้ำทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง ในเวลา 17.00 น. ตั้งเวลาการผสมอัตโนมัติทำงาน 15 นาที ทุกๆ 3 ชั่วโมง ดำเนินการภายใต้สภาวะอุณหภูมิช่วงปานกลาง วิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยของวัตถุดิบ และเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพ อุณหภูมิ pH ทุกวัน ก่อนเดิมวัตถุดิบ เป็นเวลา 33 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: การวิเคราะห์ด้วยทางสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) หาค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย; mean) และการกระจายข้อมูล (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; Standard Deviation; SD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม Stata 10.1

- ใช้สถิติ Wilcoxon rank-sum Test ในการเปรียบเทียบข้อแตกต่างรายคู่ โดยกำหนด $\alpha = 0.05$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาณก๊าซชีวภาพ

จากการทดลองหมักหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ร่วมกับมูลไก่ด้วยระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนและมีการกวนถังสร้างมีเทนด้วยรอบกวน 30 rpm พบว่าช่วงเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาการสร้างมีเทนของแต่ละอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์แบบที่เรียที่สร้างมีเทนยังเพิ่มจำนวนได้ไม่มากและยังปรับตัวเข้ากับภาระบรทุกสารอินทรีย์ในถังปฏิกิริยาได้ไม่ดี ซึ่งการเจริญและการปรับตัวของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและใช้อาหารได้ดีมากขึ้นเมื่อมีการเติมอินทรีย์วัตถุเข้าไปในวันถัดๆ ไป โดยสังเกตมีการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นนั่นเอง จากการสังเกตเมื่อทดลอง OLR1 หลังจากวันที่ 11 ของการเติมวัตถุดิบ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของ OLR2 และ OLR3 นำข้อมูลปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 3 OLR มาทดสอบทางสถิติด้วยสถิติ ONEWAY ANOVA ปรากฏว่าไม่ผ่านเงื่อนไขการทดสอบจึงทดสอบด้วยสถิติ Kruskal Wallis Test พบว่า $p\text{-value} < 0.05$ แสดงว่ามีค่ามัธยฐานอย่างน้อยหนึ่งคู่แตกต่างกันจึงทำการเปรียบเทียบรายคู่โดยใช้สถิติ Willcoxon rank-sum Test พบว่าค่ามัธยฐานของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของทั้ง 3 OLR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของ OLR ที่ 0.49, 0.55 และ $0.80 \text{ kg VS/m}^3\text{-d}$ เกิดก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 126.09, 211.73 และ 561.63 L (ดังภาพที่ 1)

2. pH และอุณหภูมิของถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนในแต่ละ OLR มี pH อยู่ในช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถเจริญได้ดี โดยถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน ของ OLR1 pH อยู่ระหว่าง 7.0-7.6 ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ $7.26 (\pm 0.18)$, OLR2 pH อยู่ระหว่าง 7.1-7.8 ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ $7.32 (\pm 0.21)$ และ OLR3 pH อยู่

ระหว่าง 7.1-7.6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $7.44 (\pm 0.12)$ ดังแสดงในภาพที่ 2 และพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.49, 0.55 และ $0.80 \text{ kg VS/m}^3\text{-d}$ เท่ากับ $27.5 (\pm 1.6)$, $27.8 (\pm 0.8)$ และ $27.2 (\pm 1)$ ตามลำดับ

3. องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

เมื่อเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราการบรทุกสารอินทรีย์มาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบมีเทนด้วยเครื่อง Gas chromatography ผลปรากฏว่ามีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH_4) เฉลี่ยร้อยละ $61.61 (\pm 8.03)$ ปริมาณก๊าซไนโตรเจน (N_2) เฉลี่ยร้อยละ $21.40 (\pm 8.97)$ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เฉลี่ยร้อยละ $16.99 (\pm 1.67)$ (ตารางที่ 1)

4. อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน

เมื่อนำข้อมูลผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดตลอดการทดลองมาคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนต่ออัตราการบรทุกสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งระเหย (VS added) พบว่า ผลผลิตของมีเทนที่ห้องค์ประกอบของมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 61.61 พบว่าผลผลิตมีเทนของ OLR เท่ากับ 0.49, 0.55 และ $0.80 \text{ kg VS/m}^3\text{-d}$ จะให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 24.07, 36.18 และ 66.13 L $\text{CH}_4/\text{kg.VS added}$ และ ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่อตันน้ำหนัสดของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เท่ากับ 7,880.63, 6,416.06 และ 8,509.55 ลิตรต่อตันสด คำนวณเป็นผลผลิตมีเทนได้ 4,855.25, 3,952.93 และ 5,242.73 ลิตรต่อตันน้ำหนัสดตามลำดับ (ตารางที่ 2)

อภิปรายผล

จากผลการทดลองการหมักหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ร่วมกับมูลไก่ด้วยระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่กวนด้วยรอบการกวนที่ 30 rpm เป็นรอบการกวนที่ต่ำหรือกวนช้าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ จากการศึกษาพบว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของหญ้าเนเปียร์ยี่ห้อต่อมูลไก่ที่ $0.80 \text{ kg VS/m}^3\text{-d}$ จะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าอัตราการบรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.55 และ $0.49 \text{ kg VS/m}^3\text{-d}$ ตามลำดับ โดย

ที่ระบบยังมีสภาวะการทำงานของแบคทีเรียที่มีความเสถียรทั้งถึงปฏิกิริยาตั้งสร้างกรด และถึงปฏิกิริยาสร้างมีเทน เมื่อพิจารณาค่า pH ของถังผลิตกรดทั้ง 3 อัตราการบรรทุกพบว่ามีความอยู่ในช่วง 5.2 – 6.1 ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียผลิตกรดสามารถเจริญได้ จะเห็นได้ว่าการเติมมูลไก่ในส่วนผสมอินทรีย์วัตถุเข้าไปในทุกอัตราการบรรทุกก็เพื่อรักษาสมดุลของปริมาณแบคทีเรียภายในถังผลิตกรดเนื่องจากในมูลไก่มีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chitchanoke, Chaisri & Juntima (2011) ทั้งนี้มีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยปรับค่าความเป็นกรดต่างเป็นระยะเพื่อปรับสภาพการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เติมเข้าสู่ถังผลิตมีเทนด้วย และสำหรับถึงปฏิกิริยาสร้างมีเทนทั้ง 3 อัตราการบรรทุกพบว่า มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.0 – 7.8 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนเช่นกัน ซึ่งถือว่ายังมีเสถียรภาพดีสำหรับการย่อยสลายวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสสูงอย่างหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และพบว่าไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Babaei, Shayegan & Roshani (2013) ซึ่งมี pH ของถังผลิตมีเทนอยู่ช่วงระหว่าง 6.8 – 7.8 ตลอดจนการทดลองและพบว่าหาก pH ลดลงจนต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเพราะจะเกิดการสะสมของปริมาณกรดจนแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทนหยุดการเจริญเติบโตได้ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการเติมสารเคมีพวกด่างลงไป ในการศึกษานี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เติมลงไปเพื่อปรับสภาพ pH ได้ถึงที่ตลอดการทดลองโดยไม่ได้ลดปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแต่อย่างใด สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Yadvika et al., (2004) คือมีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารสำหรับการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเพียงพอต่อการสร้างก๊าซชีวภาพได้และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Gelegenis et al., (2007) ที่พบว่าเกิดการเกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นมาจากการการย่อยสลายได้ ของจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์โบไฮเดรตจากวัตถุดิบซึ่ง

เป็นส่วนผสมหลัก และของน้ำมูลกับไขมันจากมูลไก่ สำหรับการศึกษาของอริยา (2546) พบว่าผลของการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เช่นกัน ทั้งนี้ต้องไม่มากเกินไปจนการบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ จากการศึกษานี้ได้ทดลองเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็นสองเท่าของ OLR ที่ 3 พบว่าระบบไม่สามารถทำงานได้หลังจากเติมเข้าระบบได้ 3 วัน เนื่องจากการบรรทุกสารอินทรีย์มากเกินไปจนแบคทีเรียในระบบจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทันนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากการทดลองนี้ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดมีองค์ประกอบมีเทนเท่ากับร้อยละ 68.95 มากกว่าการศึกษาของอริยา (2545) ที่ย่อยเศษอาหารที่มีของแข็ง 4 % และมีองค์ประกอบมีเทนร้อยละ 60.56 ส่วนการศึกษาการย่อยสลายเศษอาหารแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่มีการกวนผสมของอริยา (2546) มีองค์ประกอบมีเทนเท่ากับ 61.26 และพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายวัตถุดิบจำพวกหญ้าซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์จำพวกพอลิเมอร์ที่เป็นเซลลูโลสจะขึ้นอยู่กับขนาดของถังบ่มเพื่อทำให้วัตถุดิบมีขนาดละเอียดมากขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสให้กับแบคทีเรียเพื่อดูดซับสารอาหารได้ดีมากขึ้น ขนาดวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่อาจทำให้เกิดก๊าซชีวภาพลดลงได้ Chitchanoke, Chaisri & Juntima (2011) ดังนั้นจึงมีการย่อยสลายเบื้องต้นด้วยการแช่หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ในด่าง โดยใช้ 2% Sodium hydroxide เป็นสารช่วยย่อยสลายเบื้องต้นเพื่อให้เซลลูโลสย่อยได้ง่ายขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Yang et al., (2012) แต่ยังไม่พบว่าการย่อยสลายหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ก่อนนำมาแช่ในด่างยังมีขนาดไม่เหมาะสมเนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือจึงไม่สามารถลดขนาดวัตถุดิบให้เล็กลงให้มีขนาดถึง 2.0 มิลลิเมตรได้ ทำให้มีผลต่อการทำงานของเครื่องบ่มที่ใช้สำหรับบ่มเดิมเข้าเพื่อป้อนวัตถุดิบจากถังหมักกรดเข้าสู่ถังสร้างมีเทนเกิดเป็นอุปสรรคขึ้นจึงต้องแก้ไขระบบการป้อนใหม่นอกจากนี้ยังเกิดการลอยบนผิวหน้าของวัตถุดิบ (scum) ในถังสร้างมีเทน ทำให้ก๊าซชีวภาพถูกขัดขวางไม่สามารถลอยขึ้นสู่ท่อส่งก๊าซได้สะดวก ถึงแม้ว่าจะมีการกวนผสม

ช่วยก็ตาม และมีการแก้ไขปัญหาลอยบนผิวหน้าด้วยการเติม Potassium aluminium phosphate 100 กรัมลงในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าถังหมักกรดทุกสัปดาห์ๆ ละครั้ง สามารถแก้ปัญหาการลอยบนผิวหน้าของวัสดุหมักได้ระดับหนึ่ง แต่ยังสังเกตพบว่ามีกรลอยบนผิวหน้าของวัสดุหมักบ้างจึงทำให้การเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพได้ไม่เต็มความสามารถของระบบ จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องอาศัยวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ที่เจริญหรือย่อยสลายในระบบการหมักแบบไร้อากาศ การลดขนาดเบื้องต้นของวัตถุดิบที่จะส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายอย่างมีประสิทธิภาพต้องมีขนาดไม่ใหญ่เกินไป นอกจากนี้ต้องสร้างสภาวะที่เหมาะสมทั้งในขั้นตอนการผลิตกรดและขั้นตอนการผลิตมีเทน ทั้งนี้การใช้หลักการต่างๆ เหล่านี้ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพอย่างผสมผสานกันนั้น เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมให้แก่ระบบการทำงานของจุลินทรีย์ภายในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพดังการศึกษาของ Ziemiński & Frac (2012) ได้อธิบายว่ามีการใช้ทั้งการผสมคลุกเคล้าส่วนผสม การลดขนาดที่พอเหมาะต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ การเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการปรับสภาพการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อให้มีความเป็นกรดต่ำที่เหมาะสมกับการทำงานของถังผลิตกรดในขั้นตอนแรก และถังสร้างมีเทนสำหรับขั้นตอนที่สองซึ่งจะส่งเสริมให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ร่วมกับมูลไก่ด้วยระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่กวน 30 rpm โดยมี OLR เท่ากับ 0.49, 0.55 และ 0.80 kg VS/m³-d ตามลำดับ และไม่มีเติมเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของทั้งสาม OLR มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งพบว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะเกิดเพิ่มมากขึ้นตามอัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ซึ่ง

มี pH ของถังสร้างมีเทนเหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน โดยที่ OLR ที่ 0.49, 0.55 และ 0.80 kg VS/m³-d เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลองเท่ากับ 126.09, 211.73 และ 561.63 ลิตร และผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 24.07, 36.18 และ 66.13 L CH₄/kg VS added ตามลำดับ และมืองค์ประกอบก๊าซมีเทนเฉลี่ยของสามอัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์พบมีเทนร้อยละ 61.61 (± 8.03) ปริมาณก๊าซไนโตรเจน (N₂) ร้อยละ 21.40 (± 8.97) และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ร้อยละ 16.99 (± 1.67) ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่อต้นน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เท่ากับ 7,880.63, 6,416.06 และ 8,509.55 ลิตรต่อต้นน้ำหนักสดหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 คิดเป็นผลผลิตมีเทน 4,855.25, 3,952.93 และ 5,242.73 ลิตรต่อต้นน้ำหนักสดตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

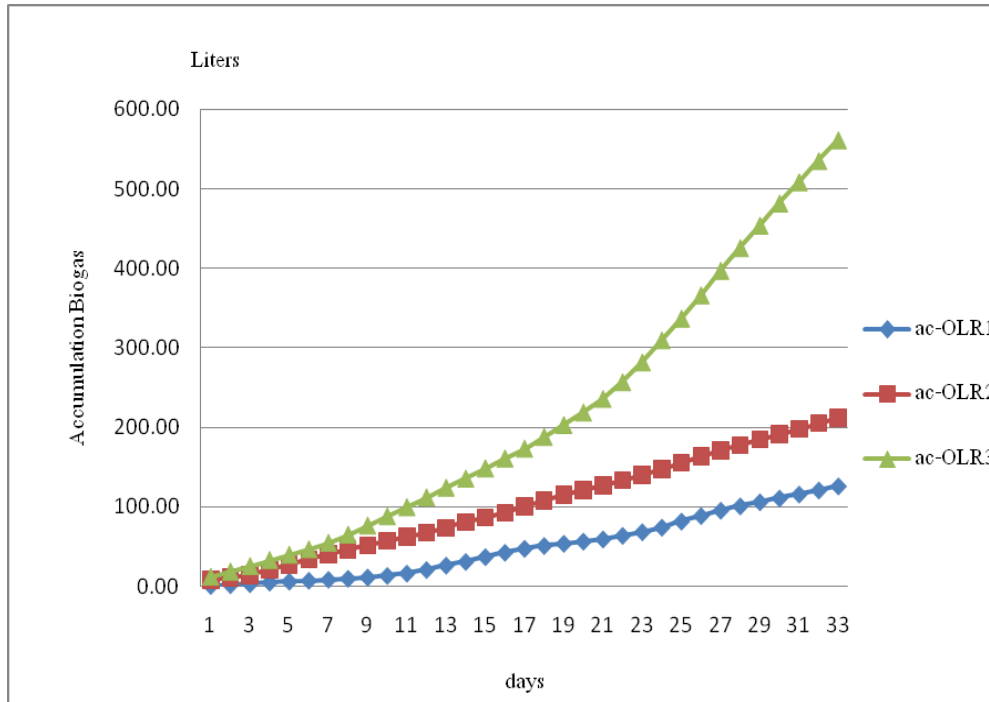
1. ควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่อายุมากกว่า 45 วัน ในการผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ควรศึกษาการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งานจริงในชุมชนที่มีการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ว่ามีความคุ้มค่าในการผลิตมากน้อยเพียงใด
3. ควรศึกษาวิธีลดขนาดหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 สดด้วยเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้นโยบายและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ประจำปีภาคปลาย ปีการศึกษา 2555 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ พิทักษ์นุรัตน์ ที่สนับสนุนทุนเพิ่มเติม และคณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กมล ริมศิริ. 2554. ฐานเป็รปากช่อง 1. กองอาหาร
สัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
ค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2555, จาก
http://www.dld.go.th/ncna_nak/NP1
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน. (2554). เอกสารองค์ความรู้
เรื่อง พลังงานก๊าซชีวภาพ. ค้นเมื่อ 28 พฤษภาคม
2555, จาก <http://www.dede.go.th/dede>
- จิรสมัย คลชม. 2551. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกรด
อินทรีย์ระเหยในระบบถังหมักแบบแบบสอง
ขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- น้ำเพชร พันธุ์พัฒน์ และสุวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ. 2555.
การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่
ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. การ
ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 13, จังหวัดเชียงใหม่, 4-5
เมษายน 2555.
- สำราญ วิจิตรพันธ์ และพรชัย ลือวิสัย. 2554. ผลของอายุ
การตัดที่มีต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาของ
ฐานเป็รปากช่องภายใต้การให้น้ำชลประทาน.
วารสารวิจัย มช, 16 (3) : 13-22.
- อริยา วิชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษ
อาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายแบบสองขั้นตอน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อวิศา ฉลาณวัฒน์. 2545. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก
และอัตราป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิต
วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง.
- Azadeh Babaei, Jalal Shayegan, & Anis Roshani. 2013
Anaerobic slurry co-digestion of poultry manure
and straw : effect of organic loading and
temperature. *Journal of Environmental Health
Science & Engineering*. 11: 15.
- Chitchanoke Kongdang, Chaisri Suksaroj, & Juntima
Chungsiriporn. Biogas Production by Anaerobic
Batch co-digestion of Pig Manure and Rubber
Leaves. The 5th PSU-UNS International Conference
on Engineering and Technology (ICET-2011),
Phuket, May 2-3, 2011.
- Fabien, M. (2003). An Introduction to Anaerobic
Digestion of Organic Wastes: Final Report.
Scotland: [n.p.].
- Gelegenis, J., D. Georgakakis, I. Anglidaki, & V.
Mavris. 2007. Optimization of biogas production
by co-digesting whey with diluted poultry manure.
Renewable Energy. 32: 2147-2160.
- Krzysztof Ziemiński, & Magdalena Frac. 2012.
Methane fermentation process as anaerobic
digestion of biomass: Transformations, stages and
microorganisms. *African Journal of Biotechnology*.
11(18): 4127-4139.
- Sung-Jae Yang, Irena Kataeva, Scott D. Hamilton-
Brehm, & Nancy L. Engle. 2012. Efficient
Degradation of Lignocellulosic Plant Biomass,
without Pretreatment, by the Thermophilic
Anaerobe "Anaerococcus thermophilus"
DSM6725. *Applied and Environmental
Microbiology*. 75 (14): 4762-4769.
- Yadvika, Santosh, T.R. Sreekrishnan, Sangeeta
Kohli, & Vineet Rana. 2004. Enhancement of
biogas production from solid substrates using
different techniques—a review. *Bioresource
Technology*. 95: 1–10.

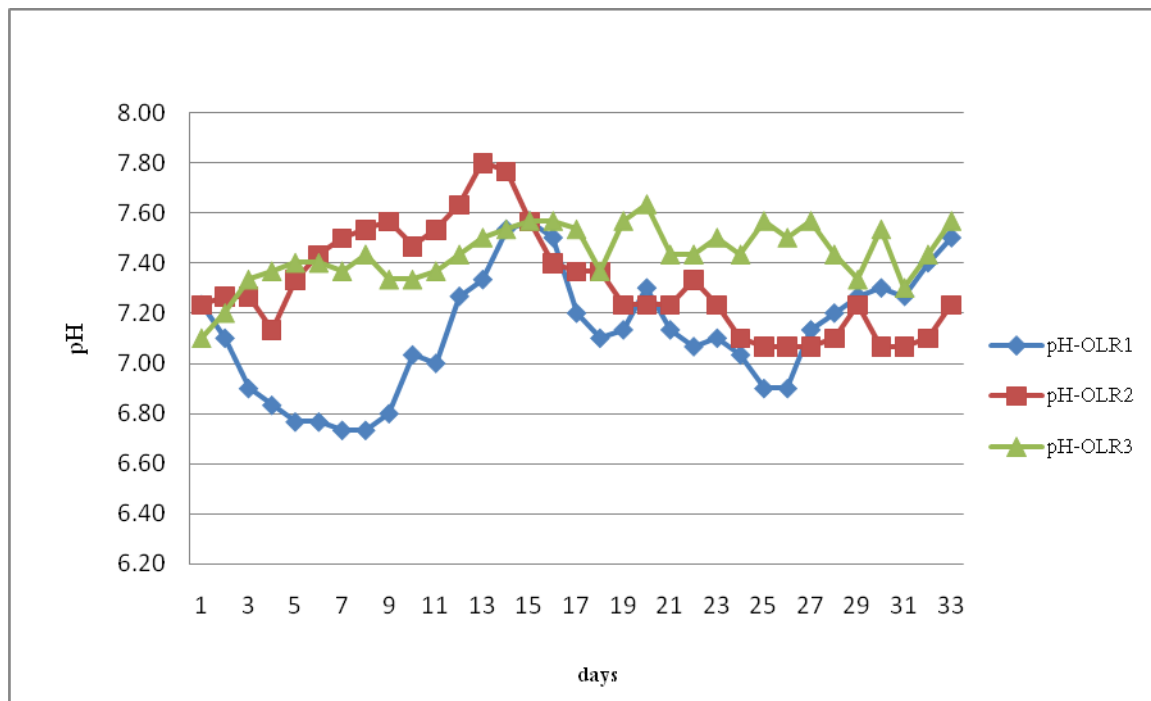


ภาพที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเฉลี่ยแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

หมายเหตุ: ac-OLR1 คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1

ac-OLR2 คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2

ac-OLR3 คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 3



ภาพที่ 2 pH เฉลี่ยในถังปฏิกริยาสร้างมีเทนแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

หมายเหตุ: pH-OLR1 คือ ความเป็นกรด-ด่างของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1

pH-OLR2 คือ ความเป็นกรด-ด่างของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2

pH-OLR3 คือ ความเป็นกรด-ด่างของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 3

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography

Gas Composition	mean $\pm$ SD		
	OLR1 (%)	OLR2 (%)	OLR3 (%)
CH ₄	53.03 $\pm$ 0.63	62.86 $\pm$ 6.30	68.95 $\pm$ 7.00
CO ₂	16.75 $\pm$ 0.30	15.45 $\pm$ 1.64	18.76 $\pm$ 2.22
N ₂	30.22 $\pm$ 0.91	21.70 $\pm$ 7.93	12.29 $\pm$ 9.22

ตารางที่ 2 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพและผลผลิตก๊าซมีเทน

อัตราการระบรทุก		Methane Yield			Biogas	Methane
สารอินทรีย์	OLR (VS)	Biogas	(61.61%)	biogas, L	production	Yields
(มูลไก่ : หย้าเนเปียร์ ปากช่อง1)	kg VS/m ³ -d	L /kg VS addded	L CH ₄ / kg VS addded	on Study	L biogas/ton (ww*)	L CH ₄ / ton (ww*)
OLR1 (1 : 1)	0.49	39.07	24.07	126.09	7880.63	4855.25
OLR2 (1 : 2)	0.55	58.72	36.18	211.73	6416.06	3952.93
OLR3 (1 : 4)	0.80	107.34	66.13	561.63	8509.55	5242.73

หมายเหตุ: ww* = wet weight