The 11th Khon Kaen University 2010 Graduate Research Conference
การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11

BMP19

ผลของปริมาณมูลโคและยูเรีย ในการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับมันสำปะหลัง

EFFECT OF COW DUNG AND UREA CONTENT IN BIOGAS PRODUCTION WITH CASSAVA

ปิยะภา หิรัญพัทรวงศ์ (Piyapha Hirunpatrawong)* วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ (Wipada Siri-anusornsak)*
สุภางค์ จุฬาลักษณานุกูล (Suphang Chulalaksananukul)** วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล (Warawut Chulalaksananukul)***

บทคัดย่อ

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อาหารของจุลินทรีย์ และชนิดของวัตถุดิบ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของชนิดของวัตถุดิบ และอาหารของจุลินทรีย์ต่อการย่อย วัตถุดิบที่ใช้คือมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบงและมูลโค มันสำปะหลังมีความชื้นเท่ากับ 17.14 เปอร์เซ็นต์ ค่าซีโอดีเท่ากับ 1.67 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์เท่ากับ 0.71 กรัมต่อลิตร และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเท่ากับ 1.39 กรัมต่อลิตร มูลโคที่ใช้ มีความชื้นเท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับทั้งหมด 0.04 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงพอสำหรับการเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ จากการศึกษาความเข้มข้นเพื่อใช้ในกระบวนการหมักพบว่าความเข้มข้นมูลโคที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นยูเรียที่ 0.08 เปอร์เซ็นต์เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

ABSTRACT

The factors affecting biogas production process were temperature, pH, nutrients and type of raw materials. The objective of this research was to study the type of raw materials and nutrients on digestion. Cassava (Huaybong) and cow dung were used as raw materials. Cassava contained 17.14% of moisture, 1.67 gCOD/gsample of COD, 0.71 g/l of reducing sugar and 1.39 g/l of total carbohydrate. Cow dung contained 81% of moisture, 0.04% of total phosphorus and 0.52% of total nitrogen which were highly content for using as nutrition source. The studied on many concentrations using in process showed that 10% of cow dung and 0.08% of urea were suitable concentration for biogas production process.

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง มูลโค แก๊สชีวภาพ

Key Words: Cassava, Cow dung, Biogas

** มหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

**** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากประชากรที่เพิ่มขึ้น แต่แหล่งพลังงานที่ใช้อยู่กลับมีจำนวนจำกัดและลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ที่เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตได้โดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดประเภทหนึ่งที่เกิดจากสารอินทรีย์ต่างๆ ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ทำให้เกิดแก๊สต่างๆขึ้น ได้แก่ มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แต่ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยมีเทนเป็นหลัก ซึ่งเป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ (Tchobanoglous *et al.*, 2003) สำหรับกระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นแก๊สชีวภาพ ประกอบด้วย ขั้นตอนการย่อยสลายสารชีวมวล ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก และขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทน (Yadvika *et al*., 2004) ในการผลิตแก๊สชีวภาพให้มีปริมาณสูง ต้องอาศัยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแก๊สชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อาหารของจุลินทรีย์ ชนิดของจุลินทรีย์ และชนิดของวัตถุดิบเริ่มต้น (Gungor-Demirci and Demirer, 2004) ปัจจุบันสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้แก๊สชีวภาพ เกิดขึ้น คือ มันสำปะหลัง เนื่องจากส่วนประกอบหลักของมันสำปะหลังคือแป้ง ซึ่งมีอยู่ในปริมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (Sriroth and Piyachomkwan, 2003) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและจุลินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพได้ด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลัง และการหาความเข้มข้นของมูลโคที่เหมาะสมต่อการหมัก รวมถึงการหาความเข้มข้นของยูเรียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

วิธีการวิจัย

การคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลัง

นำหัวมันสำปะหลัง 4 สายพันธุ์ที่ได้มาจากจังหวัดนครราชสีมา ได้แก่ สายพันธุ์ห้วยบง สายพันธุ์เกษตรศาสตร์-60 สายพันธุ์ซัดดัม และสายพันธุ์เขียวปลดหนี้ โดยมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปอบแห้งให้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 20-30 เปอร์เซ็นต์และนำมาบดให้เล็กลง (มีขนาดเล็กกว่า 0.4 มิลลิเมตร) โดยใช้เครื่องบด ทำการวัดค่าซีโอดีโดยใช้วิธีรีฟลักซ์ แบบปิด (Lapara *et al*., 2000) และหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Dinitrosalicylic colorimetric method (DNS method) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Miller (1959) และหาค่าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้วิธี Phenol-sulfuric acid (Masuko *et al*., 2002) ในสารละลายมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์

การศึกษาปริมาณมูลโคที่เหมาะสม

มูลโคที่ใช้ได้จากโคเนื้อที่เลี้ยงตามธรรมชาติเป็นตัวอย่างที่เก็บสดภายใน 24 ชั่วโมงลักษณะเป็นของเหลวกึ่งของแข็ง (slurry) มีกากเศษอาหารจากหญ้าหรือเซลลูโลสผสมอยู่ เก็บรักษาตัวอย่างโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียล จนกว่าจะนำมาใช้ มูลโคสดจะนำมาตรวจสอบคุณลักษณะเบื้องต้น ในเรื่องปริมาณความชื้น โลหะหนักบางชนิดที่มีผลยับยั้งการหมักคือทองแดง (Cu) และวิเคราะห์สารอาหารเสริมสร้าง คือ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ตรวจสอบตัวแปรที่มีผลต่อสภาพแวดล้อม คือบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และ ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด อ้างอิงจากมาตรฐานAPHA (2005) ศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำมูลโคที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 0 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ โดยความเข้มข้นที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เป็นชุดควบคุม เก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าคาร์โบไฮเดรตละลายได้ทั้งหมด โดยใช้วิธี Phenol-sulfuric acid

การศึกษาความเข้มข้นยูเรียที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้ทำการปรับสภาพของระบบให้มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนของมันสำปะหลังให้เหมาะสม เนื่องจากมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่าปริมาณไนโตรเจนมาก (Thai Tapioca Development Institute, 2000) โดยการเติมยูเรียเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ความเข้มข้นของยูเรียที่ใช้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์ เก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคาร์โบไฮเดรตละลายได้ทั้งหมด ด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลการคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลัง

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่าสายพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 4 สายพันธุ์ในลักษณะหัวมันสดมีค่าซีโอดีที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อนำมาอบแห้ง มันสำปะหลังมีปริมาณความชื้น 17.14 เปอร์เซ็นต์ ทำการลดขนาดตัวอย่างโดยการบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.4 มิลลิเมตร ตามการรายงานของ Sharma และคณะ ในปี ค.ศ. 1988 พบว่า ขนาดของวัตถุดิบ 0.088 และ 0.40 มิลลิเมตร สามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด (Sharma et al.,1988) ดังนั้นแสดงว่าขนาดของมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 0.4มิลลิเมตร จะทำให้ค่าซีโอดีสูงขึ้น โดยสายพันธุ์ห้วยบงเป็นสายพันธุ์ที่ให้ค่าซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 1.67 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง เมื่อเทียบกับสายพันธุ์มันสำปะหลังอีก 3 สายพันธุ์

ตารางที่ 1ค่าซีโอดีหัวมันสำปะหลัง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ เกษตรศาสตร์-60 เขียวปลดหนี้ ซัดดัม และ ห้วยบง

Cassava Stain		COD (mg/l)
KU -60	Fresh	453.75
	Dried	686.25
	Grind	1362.25
Keawplodnee	Fresh	394.50
	Dried	674.25
	Grind	1350.25
Saddam	Fresh	384.00
	Dried	536.25
	Grind	1264.75
Huaybong	Fresh	422.25
	Dried	701.75
	Grind	1675.00

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์และค่าคาร์โบไฮเดรตละลายได้ทั้งหมดในมันสำปะหลังอบแห้ง (ตารางที่ 2) พบว่าในสายพันธุ์ห้วยบงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ได้จากการย่อยสลายสูงสุดเท่ากับ 0.706 กรัมต่อลิตร คาร์โบไฮเดรตละลายได้ทั้งหมดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.39 กรัมต่อลิตร และปริมาณแป้งเฉลี่ยในหัวมันสดประมาณ 25.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่น เช่น สายพันธุ์ระยองและสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณแป้งเฉลี่ยในหัวมันสด ประมาณ 17.0 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Thai Tapioca Development Institute, 2000) ซึ่งจะเห็นว่าสายพันธุ์ห้วยบงเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูง ดังนั้นจึงเลือกสายพันธุ์ห้วยบงเป็นวัตถุดิบในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 2ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าคาร์โบไฮเดรต ที่ละลายได้ทั้งหมด หัวมันสำปะหลัง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ เกษตรศาสตร์-60 เขียวปลดหนี้ ชัดดัม และ ห้วยบง

Cassava Stain	Total carbohydrate(g/l)	Reducing sugar(g/l)
KU -60	0.92	0.38
Keawplodnee	0.71	0.36
Saddam	1.13	0.36
Huaybong	1.39	0.71

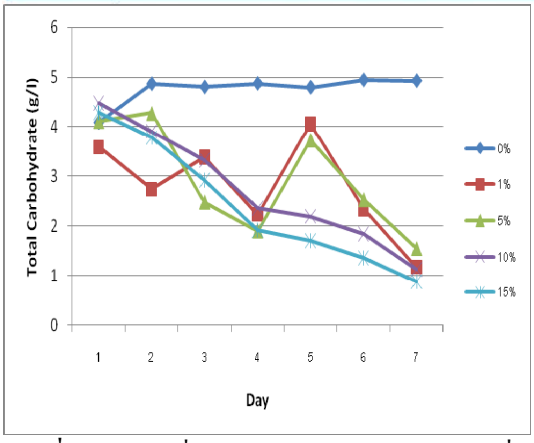
ผลการศึกษาปริมาณมูลโคที่เหมาะสม

ในการทดลองได้เก็บมูลโคสดมาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ สี ความชื้น บีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะทองแดง โดยนำตัวอย่างมูลโคมาผสมน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ ดังแสดงผลในตารางที่ 3

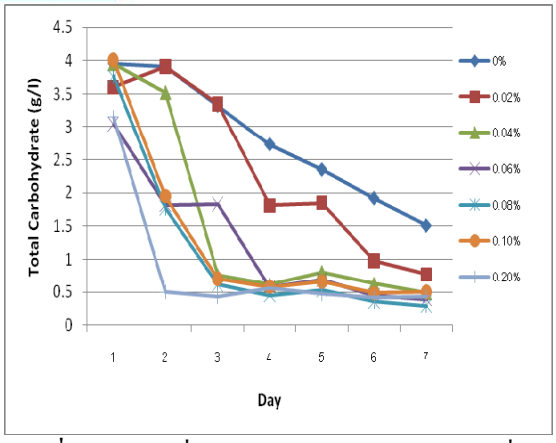
ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลโคสด

Item	Cow dung characteristics
BOD, mg/g	15.00
COD. mg/g	126.00
TS, mg/g	196.00
TVS, mg/g	99.90
Carbon, %	15.27
Nitrogen, %	0.52
Phosphorous, %	0.04
Copper, %	3.00×10^{-4}
Moisture, %	81.00

ในการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิดที่อาจมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณโลหะทองแดง พบว่าในมูลโคสดมีทองแดงอยู่ 3×10^{-4} เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณทองแดงระดับนี้ไม่มีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากปริมาณโลหะทองแดงจะมีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ก็ต่อเมื่อความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.30-2.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่สมบูรณ์เมื่อปริมาณอยู่ระหว่าง 0.83-4.70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (Bruce et al.,1986) เมื่อศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตละลายได้ทั้งหมดในความเข้มข้นมูลโค 0 %, 1%, 5%, 10% และ 15 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 1) พบว่า ที่ความเข้มข้น 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของมูลโค การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลงไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ความเข้มข้นมูลโค 0 เปอร์เซ็นต์) จะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในชุดควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองที่แปรผันความเข้มข้นของมูลโคจุลินทรีย์ได้ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตไปบางส่วน ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะเกิด การสร้างกรดขึ้นโดยกระบวนการแอซิดิฟิเคชั่น (acidification process) สารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนจากน้ำและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ ทำให้เกิดกรดขึ้น (Miron1, 2000) ขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตในความเข้มข้นมูลโคที่ 1% และ 5% นั้นมีค่าไม่คงที่ ในวันที่ 5 ของการทดลองปริมาณคาร์โบไฮเดรตของทั้งสองความเข้มข้นมีค่าสูงสุดและลดต่ำลงในวันถัดมาแสดงถึงสภาวะของระบบที่ผิดปกติและไม่เหมาะสมในการเจริญของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายแป้งมีจำนวนไม่มากและจุลินทรีย์บางส่วนอาจตายขึ้นจึงส่งผลต่อการเกิดค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เหมาะสมขึ้น



ภาพที่ 1 ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ความเข้มข้นมูลโคต่างๆ



ภาพที่ 2 ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ความเข้มข้นยูเรียต่างๆ

ผลการศึกษาความเข้มข้นยูเรียที่เหมาะสม

การเติมยูเรียลงไปในระบบเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน เนื่องจากปัจจัยในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสำคัญ เพราะคาร์บอนจะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะใช้ประโยชน์ในด้านการรักษาสภาพของเซลล์ โดยปกติจะใช้ปริมาณคาร์บอนมากเป็น 30 เท่าของปริมาณไนโตรเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีประสิทธิภาพ ถ้าปริมาณคาร์บอนมากเกินไปประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์จะลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์จะตายไปบางส่วน สัดส่วนที่เหมาะสม คือ คาร์บอน : ไนโตรเจน ควรอยู่ระหว่าง 20:1 ถึง 30:1 (Bardiya and Guar, 1997) ศึกษาความเข้มข้นของยูเรียที่ 0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดในวันแรก หลังจากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลา ทั้งนี้แสดงถึงปริมาณคาร์โบไฮเดรต ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายไป ปริมาณการลดลงของคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน โดยพบที่ความเข้มข้น 0.08 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการลดลงมากที่สุด ดังรูปที่ 2 เนื่องจากเกิดได้มากที่สุด การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นความเข้มข้นยูเรียที่เหมาะสมที่จะเติมเข้าไปในระบบ คือ ที่ความเข้มข้น 0.08 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิจัย

ผลการคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังพบว่าสายพันธุ์ห้วยบงเป็นสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับความเข้มข้นของมูลโคที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของยูเรียที่เหมาะสมในการเติมลงในระบบ คือที่ความเข้มข้น 0.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถช่วยในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อกลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

APHA. (2005). Standard Methods for the examination of Water and Waste Water, 16th ed. APHA, AWWA, WPCF. American Public Health Association, Washington, DC.

Bardiya, N. and Gaur, A.C. (1997). Effects of carbon and nitrogen ratio on rice straw biomethanation. J. Rural Energy, 4 (1-4); 1-16.

Bruce, A.M., Kouzeli-Katsiri, A., and Newman, P.J. (1986). Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Wastes, Elsevier Applied Science Publisher, London, England.

Güngör-Demirci, G. and Demirer, G.N. (2004). Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. Bioresource Technology, 93: 109-117.

Lapara, T.M., Alleman, J.E., and Pope, P.G. (2000) Miniaturized closed reflux, colorimetric method for the determination of chemical oxygen demand. Waste Management, 20: 295- 298.

Masuko, T., Hariyama, Y., Takahashi, Y., Cao, L.M., Goto, M., and Ohshima, M. (2002). Effect of addition of fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria prepared from timothy [*Phleum pratense*] and orchardgrass [*Dactylis glomerata*] on fermentation quality of silages. Grassland Science 48(2): 120-125.

Miller, G.L.(1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, 31(3): 426-428.

Miron1, Y., Zeeman G., Jules B., Lier, V.M., Lettinga, G.M. (2000). The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. Water Research 34(5): 1705-1713

Sharma, S.K., Mishra, I.M., Sharma, M.P., Saini, J.S. (1988). Effect of particle size on biogas generation from biomass residues.Biomass 17, 251–263.

Sriroth, K., and Piyachomkwan, K. (2003). Technology of starch. Kasetsart University Press. Bangkok.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003).Wastewater engineering: treatment and reuse, International Edition. McGraw-Hill Book Company Limited.

Thai Topioca Development Institute. (2000). Welcome to tapioca [Online]. Available from: http://www.tapiocathai.org. [June 29, 2009].

Yadvika., S., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. Bioresource Technology, 95: 1-10.