บทที่ 4
การประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส

บทนำ

การนำทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ มาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จำเป็นจะต้องทราบคุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก ซึ่งการใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประเมินคุณค่าทางโภชนะและอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อีกทั้งยังสามารถนำค่าปริมาณแก๊สที่ได้จากการทดลองมาคำนวนค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่สัตว์นำไปใช้เพื่อการดำรงชีพและสร้างผลผลิต (ศรีสกุล, 2539)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์

2. เพื่อประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 1: การประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของแพะ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

สัตว์ทดลอง วัสดุ และอุปกรณ์

1. แพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุ 2.7-2.8 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 36.5±0.6 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว

2. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน ได้แก่ ถุงพลาสติกใส กระติกน้ำ ผ้าขาวบางสำหรับกรองของเหลวจากกระเพาะรูเมน บิกเกอร์ เทอร์โมมิเตอร์ stomach tube, vacuum pump และ pH electrode

3. อุปกรณ์สำหรับการทดลอง ได้แก่ ขวดวัคซีนขนาด 50 มิลลิลิตร จุกยาง ยางอลูมิเนียมฟลอยด์ กระบอกฉีดยาแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เข็มฉีดยาพลาสติกเบอร์ 18 สายยางพลาสติก เข็มฉีดยาเหล็กเบอร์ 18 และ พาราฟิล์ม (parafilm)

4. ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์

5. สารเคมีที่ใช้ในการประเมินการย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สตามวิธีการของ Menke และ Steingass (1988) ได้แก่

5.1 สารละลายแร่ธาตุหลัก (macromineral solution) ประกอบด้วย Na_2HPO_4 5.7 กรัม KH_2PO_4 6.2 กรัม และ $MgSO_4$ 0.6 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

5.2 สารละลายแร่ธาตุรอง (micromineral solution) ประกอบด้วย $CaCl_2 \times 2H_2O$ 13.2 กรัม $MnCl_2 \times 4H_2O$ 10.0 กรัม $CoCl_2 \times 6H_2O$ 1.0 กรัม และ $FeCl_2 \times 6H_2O$ 0.8 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

5.3 สารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution) ประกอบด้วย $NaHCO_3$ 35.0 กรัม และ $(NH_4)HCO_3$ 4.0 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

5.4 สารละลายรีซาซูริน (resazurin aqueous) ประกอบด้วย รีซาซูริน 100.0 มิลลิกรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5.5 สารละลายสำหรับไล่ออกซิเจน ประกอบด้วย น้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร NaOH ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร และ $Na_2S_9 \times H_2O$ 336.0 มิลลิกรัม

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันหมัก ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่ตัดออกระหว่างเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณ 5 ปี ณ สถานีวิจัยและฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการตัดส่วนก้านที่มีหนามออกนำมาสับด้วยเครื่องสับหญ้าเพื่อให้มีขนาดเล็กประมาณ 1-2 เซนติเมตร แล้วนำมาหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร อัดให้แน่นและปิดฝาให้สนิท ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 1 เดือน

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง ใช้แพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุ 2.7-2.8 ปีและมีน้ำหนักเฉลี่ย 36.5±0.6 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว มีสุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง และทำการกำจัดพยาธิภายนอกและพยาธิภายในโดยใช้ยาถ่ายพยาธิไอเวอร์เมกติน (Ivermectin) ให้แพะได้รับหญ้าเนเปียร์สดแบบเต็มที่ เสริมด้วยอาหารข้นซึ่งประกอบด้วย ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

3. การวางแผนและวิธีการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยมีทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 4 ชนิด เป็นปัจจัยในการทดลอง คือ (1) ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (2) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ 3. ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ และ 4. ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนซ้ำในแต่ละปัจจัยการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ \

4. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ วิเคราะห์วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า ใช้วิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) และการวิเคราะห์ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน ใช้วิธี Detergent method ที่ดัดแปลงจาก Goering และ Van Soest (1970)

5. การศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊สเพื่อประเมินการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักตามวิธีการดัดแปลงจาก Menke และ Steingass (1988) โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของแพะทดลอง มีวิธีการดังนี้

5.1. เตรียมตัวอย่างทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 0.3 กรัม ใส่ขวดวัคซีนขนาด 50 มิลลิลิตร และปิดด้วยจุกยางให้สนิท

5.2. เตรียมสารละลายน้ำลายเทียมปริมาตร 1,009.32 มิลลิลิตร โดยการเติมน้ำกลั่น 480 มิลลิลิตร แร่ธาตุหลัก 240 มิลลิลิตร แร่ธาตุรอง 0.12 มิลลิลิตร สารละลายบัฟเฟอร์ 240 มิลลิลิตร และสารละลายรีซาซูริน 1.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (flask) ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ที่ต่อท่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อไล่แก๊สออกซิเจนออกแล้วนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส โดยใช้

เครื่องกวนคลื่นแม่เหล็ก (magnetic stirrer) กวนตลอดเวลา จากนั้นเติมสารละลายสำหรับไล่แก๊สออกซิเจน 48 มิลลิลิตร จนสารละลายน้ำลายเทียมเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู ซึ่งแสดงว่าสารละลายดังกล่าวอยู่ในสภาวะไร้แก๊สออกซิเจน

5.3. เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแพะทดลองทั้ง 4 ตัว โดยเก็บตัวละ 250 มิลลิลิตร โดยใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทันที โดยใช้ pH electrode MP. 125 LE 413 (Mettler Toleds AG.) นำของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแพะทั้ง 4 ตัวมาผสมรวมกัน แช่ในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เพื่อให้อุณหภูมิของเหลวจากกระเพาะรูเมนคงที่ จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ชั้น แล้วนำมาผสมกับสารละลายน้ำลายเทียมในสัดส่วนของสารละลายน้ำลายเทียมต่อตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนเท่ากับ 2 : 1

5.4. ใช้กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ดูดสารละลายผสมของน้ำลายเทียมและของเหลวจากกระเพาะรูเมนปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัคซีนที่บรรจุตัวอย่างทางใบปาล์มน้ำมันหมัก แล้วนำปลายเข็มเหล็กที่ติดกับสายยางบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปักลงในขวดตัวอย่างเพื่อไล่แก๊สออกซิเจนออกจากขวดตัวอย่าง จากนั้นนำเข้าบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวัดปริมาณแก๊ส

5.5. วัดและจดบันทึกปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใน 12 ชั่วโมงแรกของการบ่มบันทึกผลทุกๆ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบันทึกผลทุกๆ 3 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นบันทึกผลทุกๆ 6 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 72 และสุดท้ายทำการบันทึกผลที่ชั่วโมงที่ 96 นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่ออธิบายจลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ตามแบบจำลองสมการของ Ørskov และ McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b\,[(1 - \mathrm{Exp}^{(-ct)}] \qquad [1]$$

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t

a = จุดตัดแกน y (บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำมีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

b = ค่าปริมาตรแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ b เป็นค่าที่บ่งบอกถึงศักยภาพในการย่อยสลายของอาหาร มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

c = อัตราการเกิดแก๊ส

Exp = exponential

จากนั้นนำค่า a และ b ที่ได้จากสมการนี้ไปประเมินค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) จากสมการ $d = |a| + b$ เมื่อนำมาใช้คำนวณ ค่า a อยู่ในรูป |a| (ทรงศักดิ์ และคณะ, 2548)

หากวัตถุดิบมีค่า b สูง แสดงว่ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบ (Menke *et al.*, 1979; Menke and Steingass, 1988)

ค่า c หมายถึงอัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง

5.6. ประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักแต่ละทรีทเมนต์ จากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ตามสมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของ Menke และคณะ (1979) ดังนี้

$$ME\ (MJ/kg\ DM) = 2.20 + (0.136 \times Gv) + (0.0057 \times \%CP) + (0.00029 \times \%EE) \quad [2]$$

โดย Gv = ปริมาณแก๊สสุทธิที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง (มิลลิลิตรต่อน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่ใช้ทดลอง) คำนวณจากสมการดังนี้

$$Gv\ (ml) = \frac{(V24 - Vo - GPo) \times 200 \times [(Fh + Fc)/2]}{W} \quad [3]$$

เมื่อ Vo = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นก่อนบ่ม

V24 = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงที่ 24

GPo = ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอด blank ที่ชั่วโมงที่ 24

Fh = 44.16/ (GPh – GPo) ; roughage correction factor

Fc = 62.6/ (GPc – GPo) ; concentrate correction factor

GPh = ค่าคงที่ของอาหารหยาบมีค่าเท่ากับ 47

GPc = ค่าคงที่ของอาหารข้นมีค่าเท่ากับ 68

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัมวัตถุแห้ง

CP = โปรตีนรวมของทางใบปาล์มน้ำมันในแต่ละทรีทเมนต์ (เปอร์เซ็นต์)

EE = ไขมันรวมของทางใบปาล์มน้ำมันในแต่ละทรีทเมนต์ (เปอร์เซ็นต์)

5.7. ประเมินเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter, DOM) ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักในแต่ละทรีทเมนต์ ตามสมการของ Menke และคณะ (1979) ดังนี้

DOM (%) = 14.88 + (0.889xGv) + (0.045x%CP) + (0.065 x %Ash) [4]

เมื่อ GV = ปริมาณแก๊สสุทธิที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง (มิลลิลิตรต่อน้ำหนักทางใบ-ปาล์มน้ำมันหมักที่ใช้ทดลอง)

CP = โปรตีนรวมของทางใบปาล์มน้ำมันในแต่ละทรีทเมนต์ (เปอร์เซ็นต์)

Ash = เถ้าของทางใบปาล์มน้ำมันในแต่ละทรีทเมนต์ (เปอร์เซ็นต์)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักแต่ละทรีทเมนต์ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

การทดลองที่ 2: การประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของโค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

สัตว์ทดลอง วัสดุ และอุปกรณ์

1. ใช้โคพื้นเมือง เพศผู้ อายุ 2.7-2.8 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 280±5 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว
2. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน เป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกับที่ระบุไว้ใน ข้อ 2 ของการทดลองที่ 1 หัวข้อสัตว์ทดลอง วัสดุ และอุปกรณ์
3. อุปกรณ์สำหรับการทดลอง เป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกับที่ระบุไว้ใน ข้อ 3 ของการทดลองที่ 1 หัวข้อสัตว์ทดลอง วัสดุ และอุปกรณ์
4. ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์
5. สารเคมีที่ใช้ในการประเมินการย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สตามวิธีการของ Menke และ Steingass (1988) ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ใน เป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกับที่ระบุไว้ใน ข้อ 5 ของการทดลองที่ 1 หัวข้อสัตว์ทดลอง วัสดุ และอุปกรณ์

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันหมัก ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่ตัดออกระหว่างเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณ 5 ปี ณ สถานีวิจัยและฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับวิธีการเตรียมและการหมักทางใบปาล์ม-น้ำมัน เป็นวิธีการเดียวกับที่ระบุไว้ในข้อ 1 ของการทดลองที่ 1 หัวข้อวิธีการทดลอง

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง ใช้โคพื้นเมืองที่ได้รับการฝังท่ออาหารถาวรที่กระเพาะรูเมน (rumen fitulated animal) เพศผู้ อายุ 2.7-2.8 ปีและมีน้ำหนักเฉลี่ย 280±5 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว มีสุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง โคทดลองทุกตัวถูกเลี้ยงในคอกขังเดี่ยว ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้าการทดลองโคทดลองทุกตัวได้รับการฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคติดต่อที่สำคัญได้แก่ วัคซีนโรคคอบวม และโรคปากเท้าเปื่อย ถ่ายพยาธิภายในโดยใช้ยาถ่ายพยาธิอัลเบนดาโซล (albendazole) อัตราการใช้ยา 1 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 10 กิโลกรัม โดยการกรอกให้กินทางปาก และฉีดวิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี อัตรา 2 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 100 กิโลกรัม ให้โคพื้นเมืองได้รับหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งแบบเต็มที่ เสริมด้วยอาหารข้นซึ่งประกอบด้วย ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

3. การวางแผนและวิธีการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยมีทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 4 แบบ เป็นปัจจัยในการทดลอง คือ (1) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักไม่เสริมกากน้ำตาล (2) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ (3) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ และ (4) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนซ้ำในแต่ละปัจจัยการทดลองจำนวน 6 ซ้ำ

4. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ วิเคราะห์วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า ใช้วิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) และการวิเคราะห์ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน ใช้วิธี Detergent method ของ Goering และ Van Soest (1970)

5. การศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊สเพื่อประเมินการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักตามวิธีการดัดแปลงจาก Menke และ Steingass (1988) โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของโคทดลอง มีวิธีการดังรายละเอียดที่ระบุไว้ใน ข้อ 5 ของการทดลองที่ 1 หัวข้อวิธีการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักแต่ละทรีทเมนต์ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1: การประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของแพะ

องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก

ตารางที่ 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ ประกอบด้วยวัตถุแห้ง 92.08-92.33 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคิดองค์ประกอบทางเคมีบนฐานวัตถุแห้ง พบว่า ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ 89.18-90.38 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 7.86-7.93 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 2.48-2.97 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 9.62-10.82 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยรวม 40.59-44.46 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 62.56-66.99 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลลูโลส 52.49-55.56 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 24.13-26.35 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 10.07-11.43 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลส 26.14-30.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ ประดิษฐ์ และคณะ (2551) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนรวม 7.25 และ 7.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไขมัน 3.85 และ 2.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เถ้า 8.18 และ 8.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผนังเซลล์ 59.23 และ 61.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ลิกโนเซลลูโลส 49.12 และ 50.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ขวัญดาว และคณะ (2549) รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 6 เปอร์เซ็นต์ มี โปรตีนรวม 5.46 และ 6.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไขมันรวม 3.03 และ 2.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เถ้า 12.29 และ 11.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผนังเซลล์ 60.65 และ 59.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลิกโนเซลลูโลส 53.71 และ 55.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ลิกนิน 44.92 และ 49.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของทางใบ-ปาล์มน้ำมันหมัก ในแต่ละการศึกษา ขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของปาล์มน้ำมัน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการจัดการใส่ปุ๋ย เป็นต้น (ธีระ และคณะ, 2545)

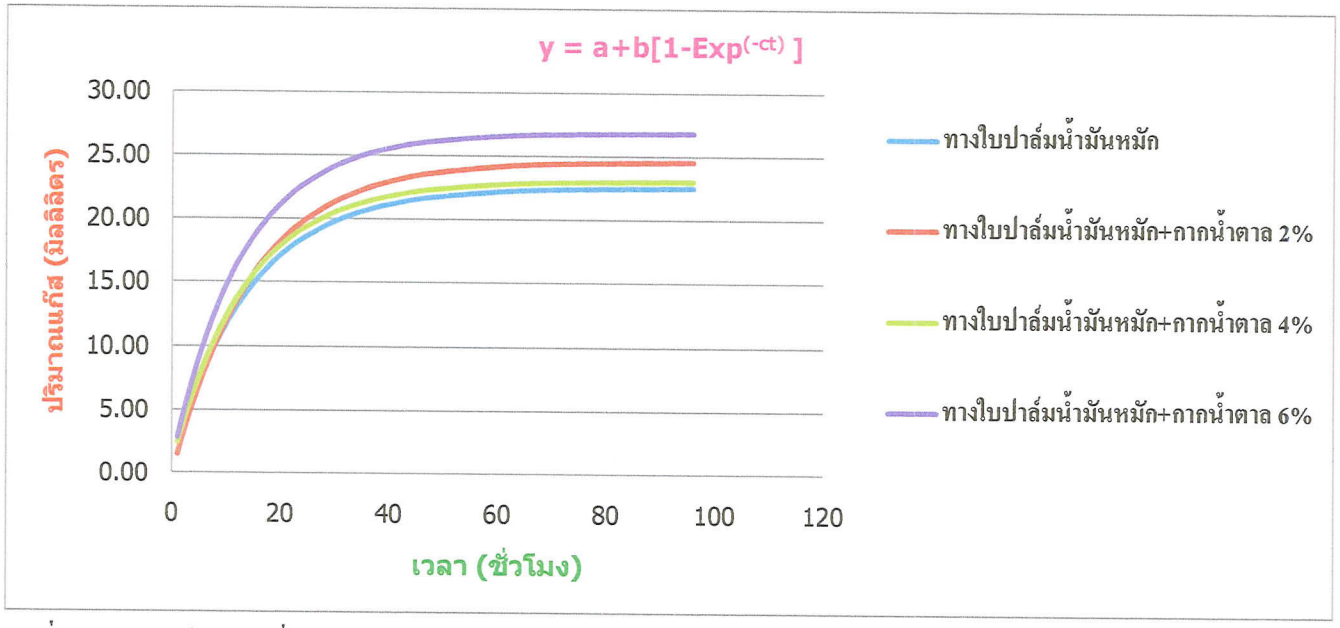
ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์บนฐานวัตถุแห้ง) ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	ระดับกากน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)			
	0	2	4	6
วัตถุแห้ง (สด)	38.58	39.40	39.57	39.36
วัตถุแห้ง	92.20	92.16	92.08	92.33
อินทรียวัตถุ	89.27	90.38	90.25	89.18
โปรตีนรวม	7.86	7.88	7.93	7.92
ไขมันรวม	2.97	2.55	2.48	2.77
เถ้า	10.73	9.62	9.75	10.82
เยื่อใยรวม	43.31	44.46	41.76	40.59
ผนังเซลล์	66.99	65.42	64.18	62.56
ลิกโนเซลลูโลส	55.56	54.71	53.74	52.49
ลิกนิน	25.51	24.13	26.35	26.35
เฮมิเซลลูโลส[1/]	11.43	10.71	10.45	10.07
เซลลูโลส[2/]	30.04	30.58	27.38	26.14

[1/]เฮมิเซลลูโลส = ผนังเซลล์-ลิกโนเซลลูโลส; [2/]เซลลูโลส = ลิกโนเซลลูโลส-ลิกนิน

จลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (y) ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ (ภาพที่ 7) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้สูงที่สุด รองลงมา คือ ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 9) โดยอาหารทั้งสี่ระดับมีค่า a เท่ากับ 1.02, -0.15, 0.87 และ 0.91 มิลลิลิตร ตามลำดับ มีค่า b เท่ากับ 21.55, 24.78, 22.23 และ 25.97 มิลลิลิตร ตามลำดับ มีค่า c เท่ากับ 0.07, 0.07, 0.07 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่า d เท่ากับ 22.57, 25.34, 23.35 และ 27.32 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งการที่จลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้งสี่ระดับ มีค่าไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้ง 4 ระดับ มีองค์ประกอบทางเคมี



ภาพที่ 7 ปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 0.3 กรัม ของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก) ที่ประเมินจากสมการ $y = a+b\,[1-Exp^{(-ct)}]$ ที่เกิดขึ้นตลอด 96 ชั่วโมง

ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของศักยภาพในการย่อยสลายและศักยภาพในการผลิตแก๊สสูงที่สุด

ตารางที่ 9 ค่าคงที่ของคุณลักษณะการผลิตแก๊ส ปริมาณผลผลิตแก๊ส (มิลลิลิตร) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์ม-น้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ ที่ใช้น้ำรูเมนของแพะศึกษา

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับกากน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)				SEM
	0	2	4	6	
ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊ส [1/]					
a	1.02	-0.15	0.87	0.91	0.578
b	21.55	24.78	22.23	25.97	1.530
c	0.07	0.07	0.07	0.08	0.005
d	22.57	25.34	23.35	27.32	1.670
ปริมาณผลผลิตแก๊ส (มิลลิลิตร) [2/]					
24 ชั่วโมง	18.42	19.76	19.19	22.66	1.449
48 ชั่วโมง	21.74	23.66	22.37	26.16	1.641
96 ชั่วโมง	22.54	24.59	23.07	26.85	1.690
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) [3/]	4.75	4.93	4.86	5.33	0.200
อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (เปอร์เซ็นต์) [4/]	32.30	33.42	32.93	36.08	1.289

1/ a= จุดตัดแกน y (มล.), b = ค่าปริมาณแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ (asymptote) (มล.), c = ค่าอัตราการผลิตแก๊ส (%/ชั่งโมง), d= |a|+b; 2/ 24 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่เวลา 24 ชั่วโมง, 48 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่ 48 ชั่วโมง, 96 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง; 3/ คำนวณจากสมการทำนายโดยอาศัยตัวแปรปริมาณแก๊สที่ที่ 24 ชั่วโมง (Gv, มล./0.3 กรัมอาหาร) ค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบ (CP,%) โดย ME (เมกะจูล/กก. วัตถุแห้ง) = 2.20 + (0.136 x Gv) + (0.0057 x %CP) + (0.00029 x %EE) (Menke et al.,1997) โดย ค่า CP ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 7.86, 7.88, 7.93 และ 7.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ; 4/ DOM (%) = 14.88 + (0.889 x Gv) + (0.045 x %CP) + (0.065 x %Ash)

เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ชั่วโมง (ตารางที่ 9) พบว่าปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ชั่วโมง ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้งสี่ระดับ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้งสี่ระดับไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตแก๊สไม่แตกต่างกันด้วย เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการย่อยสลายได้ขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ (Menke *et al.*, 1979; Menke and Steingass, 1988) โดยปริมาณแก๊ส

สะสมที่ชั่วโมงที่ 24 ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 18.42, 19.76, 19.19 และ 22.66 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 48 มีค่าเท่ากับ 21.74, 23.66, 22.37 และ 26.16 มิลลิลิตร ตามลำดับ และปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 96 มีค่าเท่ากับ 23.54, 24.59, 23.07 และ 26.85 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ จึงสามารถใช้ปริมาณแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 เพื่อทำนายค่าของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ (Menke *et al.*, 1979)

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ ที่ประเมินจากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 (ตารางที่ 9) พบว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.73, 4.94, 4.81 และ 5.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่ง Menke และคณะ (1979) รายงานว่า ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wan Zahari และ Alimon (2004) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันสดมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 4.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง

อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ (ตารางที่ 9) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 32.30, 33.42, 32.93 และ 36.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสารอินทรีย์ (เช่น โปรตีนรวม เยื่อใยรวม หรือไขมันรวม เป็นต้น) ที่ย่อยได้ในอาหาร (บุญล้อม, 2541) โดยหากมีค่าสูงแสดงว่าอาหารมีอินทรียวัตถุที่ย่อยได้สูง

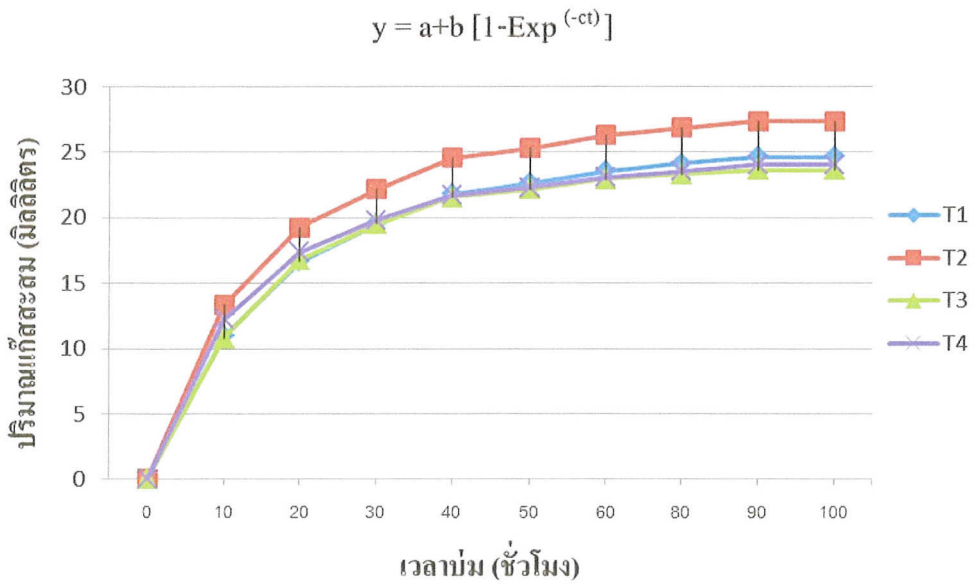
การทดลองที่ 2: การประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของโค

องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก

องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ ประกอบด้วยวัตถุแห้ง 92.08-92.33 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคำนวณองค์ประกอบทางเคมีบนฐานวัตถุแห้ง พบว่า ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ 89.18-90.38 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 7.86-7.93 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 2.48-2.97 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 9.62-10.82 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยรวม 40.59-44.46 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 62.56-66.99 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลลูโลส 52.49-55.56 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 24.13-26.35 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 10.07-11.43 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลส 26.14-30.58 เปอร์เซ็นต์

จลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (y) ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ ซึ่ง ประเมินจากสมการ $y = a+b\ [1-Exp^{(-ct)}]$ (ภาพที่ 8) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้สูงที่สุด รองลงมาคือทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 8 ปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 0.3 กรัม ของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก) ที่ประเมินจากสมการ $y = a+b\ [1-Exp^{(-ct)}]$ ที่เกิดขึ้นตลอด 96 ชั่วโมง

สำหรับจลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (ตารางที่ 10) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยทางใบปาล์มน้ำมันหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า a เท่ากับ 3.29, 4.28, 3.09 และ 3.74 มิลลิลิตร ตามลำดับ ค่า b เท่ากับ 25.31, 23.39, 22.85 และ 21.95 มิลลิลิตร ตามลำดับ ค่า c มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.05, 0.06 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และค่า d มีค่าเท่ากับ 28.61, 27.66, 26.12 และ 25.69 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่ศึกษาโดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า จลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สำหรับปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 พบว่า ปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยทางใบปาล์มน้ำมันหมักสูตรที่ 2 มีปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 24 สูงสุด รองลงมา คือ สูตรที่ 4 , 3 และ 1 ตามลำดับ นอกจากนั้นปริมาณแก๊สสะสมชั่วโมงที่ 48 และ 96 มีรูปแบบและทิศทางเช่นเดียวกับในชั่วโมงที่ 24

ตารางที่ 10 คุณลักษณะการผลิตแก๊ส ปริมาณแก๊สที่สะสม และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่าง ๆ

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับกากน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์) (%)				
	0	2	4	6	SEM
ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊ส [1/]					
a	3.29	4.28	3.09	3.74	0.587
b	25.31	23.39	22.85	21.95	2.028
c	0.05	0.05	0.06	0.05	0.005
d	28.61	27.66	26.12	25.69	2.091
ปริมาณผลผลิตแก๊ส (มิลลิลิตร/0.3 กรัม)[2/]					
24 ชั่วโมง	17.78	20.38	17.84	18.33	2.585
48 ชั่วโมง	22.6	25.3	22.18	22.29	2.973
96 ชั่วโมง	24.63	27.36	23.63	24.06	2.916
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (เมกะจูล/กก.วัตถุแห้ง) [3/]	4.67	5.02	4.67	4.74	0.057
อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (เปอร์เซ็นต์) [4/]	31.74	33.98	31.73	32.24	1.320

1/ a= จุดตัดแกน y (มล.), b = ค่าปริมาณแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ (asymptote) (มล.), c = ค่าอัตราการผลิตแก๊ส (%/ชั่งโมง), d= |a|+b; 2/ 24 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่เวลา 24 ชั่วโมง, 48 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่ 48 ชั่วโมง , 96 h = ปริมาณแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง; 3/ คำนวณจากสมการทำนายโดยอาศัยตัวแปรปริมาณแก๊สที่ที่ 24 ชั่วโมง (Gv, มล./0.3 กรัม อาหาร) ค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบ (CP,%) โดย ME (เมกะจูล/กก. วัตถุแห้ง) = 2.20 + (0.136 x Gv) + (0.0057 x %CP) + (0.00029 x %EE) (Menke et al.,1997) โดย ค่า CP ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 7.86, 7.88, 7.93 และ 7.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ; 4/ DOM (%) = 14.88 + (0.889 x Gv) + (0.045 x %CP) + (0.065 x %Ash)

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ จากผลผลิตแก๊สชั่วโมงที่ 24 พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้ง 4 ทรีทเมนต์ มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (4.67, 5.02, 4.67 และ 4.74 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) และมีค่าใกล้เคียงกับค่า พลังงานใช้ประโยชน์ได้ ที่รายงานโดย Abu Hassan และคณะ (1994) (5.65 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) Wan Zahari และ Alimon (2003) (4.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) และ Mohd Sukri (2003) (4.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) และสอดคล้องกับผลการศึกษาโดยใช้นำรูเมนของแพะในการทดลองที่ 1 ที่พบว่า

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 4.73, 4.94, 4.81 และ 5.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ

อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ (ตารางที่ 10) พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ไม่แตกต่าง กันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 31.73 ถึง 33.98 เปอร์เซ็นต์

สรุป

จากผลการประเมินการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ และของโคพื้นเมือง มีข้อสรุปว่า ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊สไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ทั้งนี้จากผลการประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของแพะลูกผสม แสดงให้เห็นว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ อยู่ในช่วง 4.75-5.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และมีค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ อยู่ในช่วง 32.30-36.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลการประเมินการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊สโดยใช้น้ำรูเมนของโคพื้นเมือง พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ อยู่ในช่วง 4.67-5.02 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และมีค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ อยู่ในช่วง 31.73 ถึง 33.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ