

การประเมินอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของ อาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส

Evaluation on digestible organic matter and metabolisable energy of total mixed ration (TMR) containing oil palm frond silage as a source of roughage using *in vitro* gas production technique

สุนทร รอดด้วง¹, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์^{1*} และ วันวิสาข์ งามพ่องไส¹

Soonthon Roddoung¹, Chaiyawan Wattanachant^{1*} and Wanwisa Ngampongsoi¹

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration, TMR) ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบด้วยเทคนิคผลผลิตแก๊ส โดยอาหาร TMR มีสัดส่วนระหว่างทางใบปาล์มน้ำมันหมักและอาหารข้นแตกต่างกันจำนวน 4 สูตร (ทรีทเมนต์) คือ สูตรที่ 1 (80:20), สูตรที่ 2 (70:30), สูตรที่ 3 (60:40) และ สูตรที่ 4 (50:50) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) และใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแพะลูกผสมแอ่งโกลนุเบียน-พื้นเมืองไทย 50 % เพศผู้ อายุ 4.0-5.0 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 43.07±3.09 กก. จำนวน 6 ตัว ผลการศึกษาพบว่า จนพลาสตร์การผลิตแก๊สของอาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีค่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ (a), ค่าศักยภาพในการย่อยสลายของอาหาร (b) และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร (d) (-7.67, -7.44; 104.46, 106.31 และ 112.13, 113.74 มล. ตามลำดับ) สูงกว่าอาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 (-2.34, -2.98; 73.29, 80.42 และ 75.88, 83.40 มล. ตามลำดับ) (P<0.01) ขณะที่อาหาร TMR สูตรที่ 3 มีค่าอัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักของอาหาร (c) สูงที่สุด (0.07 %/ชม.) รองลงมา คือ อาหาร TMR สูตรที่ 1, 2 และ 4 (0.06, 0.06 และ 0.06 %/ชม. ตามลำดับ) (P<0.05) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (36.28, 37.85, 37.02 และ 37.38 % ตามลำดับ) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolisable energy; ME) (1.17, 1.23, 1.22 และ 1.20 เมกกะแคลอรี/กก.วัตถุดิบแห้งตามลำดับ) ของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)

คำสำคัญ: เทคนิคผลผลิตแก๊ส, อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้, พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, อาหารผสมสำเร็จ

ABSTRACT: This study aimed to evaluate digestible organic matter and metabolisable energy of the total mixed ration (TMR) containing oil palm frond silage (OPFS) as a source of roughage using *in vitro* gas production technique. The TMR was formulated according to the ratio between OPFS (roughage) and concentrate as follows: T1 (80:20), T2 (70:30), T3 (60:40) and T4 (50:50). This study was arranged according to a completely randomized design. The rumen mixed microbes inoculums were taken from six Anglo-Nubian 50% crossbred male goats, 4-5 years old with average body weight of 43.07±3.09 kg. As the results, T3 and T4 were significantly higher in soluble gas fraction (a), fermentation of insoluble fraction (b) and potential of extent of gas production (d) values (-7.67, -7.44; 104.46, 106.31

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112

* Corresponding author: chaiyawan.w@psu.ac.th

and 112.13, 113.74 ml, respectively) than T1 and T2 (-2.34, -2.98; 73.29, 80.42 and 75.88, 83.40 ml, respectively) ($P < 0.01$). It was indicated that T3 had the highest gas production rate (c) (0.07 %/h) when compared with T1, T2 and T4 (0.06, 0.06 and 0.06 %/h, respectively). Furthermore, The TMR showed not significant ($P > 0.05$) digestible organic matter (36.28, 37.85, 37.02 and 37.38% respectively) and metabolisable energy (ME) (1.17, 1.23, 1.22 and 1.20 Mcal/kg DM, respectively)

Keywords: gas production technique, digestible organic matter, metabolisable energy, total mixed ration

บทนำ

ทางใบปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Frond) เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งโดยทั่วไปจะได้จากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน ทุกๆ 15 วัน โดยในแต่ละเดือนจะมีการตัดทางใบออกอย่างน้อย 2 ทางใบ/ต้น หรือคิดเป็น 44 ทางใบ/ไร่ (เมื่อใช้อัตรากาการปลูก 22 ต้น/ไร่) (จิระ และคณะ, 2548) ทางใบปาล์มน้ำมันประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) 89.27 % โปรตีนหยาบ (crude protein; CP) 7.86 % เยื่อใยรวม (crude fiber; CF) 43.33 % ผนังเซลล์ (cell wall, NDF) 66.99 % ลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses; ADF) 55.56 % ลิกนิน (lignin; ADL) 25.51 % และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolisable energy; ME) 1.14 เมกกะแคลอรี/กก. (ณัฐฐา, 2552) เนื่องจากทางใบปาล์มน้ำมันมีเยื่อใยสูงจึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (Ishida and Abu Hassan, 1997; Abu Hassan et al., 1994) เมื่อพิจารณาโภชนะรวมที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient; TDN) และความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility; IVDMD) ของทางใบปาล์มน้ำมันพบว่ามีความเท่ากับ 35.1 % (Mohd Sukri, 2003; Wan Zahari and Alimon, 2004) และ 35.6 % ตามลำดับ (Ishida and Abu Hassan, 1997) ซึ่งค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งอาหารหยาบชนิดอื่นๆ ดังนั้นการนำทางใบปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงจำเป็นต้องปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ และ/หรือ เพิ่มคุณค่าทางโภชนะ เช่น การสับให้มีขนาดเล็ก การนำทางใบปาล์มน้ำมันมาหมักร่วมกับยูเรีย หรือนำทางใบปาล์มน้ำมันมาผสม

ร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น ๆ หรือผสมกับอาหารข้น เรียกว่า อาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration; TMR) (Ishida and Abu Hassan, 1992 อ้างโดย Abu Hassan, 1996) เพื่อเพิ่มโภชนะให้ครบตามความต้องการของสัตว์ นอกจากนั้นก่อนการนำอาหารสูตรต่างๆ ที่ผสมแล้วไปใช้เลี้ยงสัตว์ก็จำเป็นต้องทดสอบคุณค่าทางโภชนะ ประเมินหาปริมาณอาหารที่ย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ก่อน สำหรับการประเมินการย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารมี 2 วิธี คือ การประเมินจากตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo* technique) และการประเมินในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* technique) ซึ่งในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าสะดวก ลดต้นทุน และให้ผลที่ใกล้เคียงกับการประเมินจากตัวสัตว์โดยตรง (เมธา, 2533; เสาวนิต, 2537) ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร TMR ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบสูตรต่างๆ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส (gas production technique)

วิธีการศึกษา

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ใช้แพะลูกผสมแดงโกลนุเบียน-พื้นเมืองไทย 50% เพศผู้ อายุ 4.0-5.0 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 43.07 ± 3.09 กก. จำนวน 6 ตัว มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ก่อนการทดลองชั่งน้ำหนักแพะทุกตัว และถ่ายพยาธิด้วยไอเวอร์มectin (ไอเดกติน, IDECTIN®) เพื่อควบคุมพยาธิตัวกลมและพยาธิภายนอก โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังในอัตราส่วน 1 มม./น้ำหนักสัตว์ 50 กก. และถ่ายพยาธิโรติโคลซาไมด์ (โยเมซาน, Yomesan®) เพื่อควบคุมพยาธิตัวตืด โดย

ใช้ในอัตราส่วน 2 เม็ด/ตัว ปรับสภาพแพะทดลองเป็นเวลา 15 วัน ก่อนทำเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน ทั้งนี้การศึกษาค้างนี้ดำเนินการในช่วงเดือนเมษายน ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553

การเตรียมอาหารทดลอง

ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่ตัดออกระหว่างเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณ 7-8 ปี ของสถานีวิจัยและฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการตัดส่วนก้าน (petiole) ที่มีหนามออก นำมาสับด้วยเครื่องสับย่อยเพื่อให้มีขนาดเล็กประมาณ 1.5-2.0 ซม. แล้วนำมาหมักในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร อัดให้แน่นและปิดฝาให้สนิท ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 วัน ก่อนนำมาใช้ได้ทำการทดสอบคุณภาพทางกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักโดยการสุ่มทางใบปาล์มน้ำมันหมักจากส่วนบน กลาง และล่างของถังหมักมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง สี และกลิ่น ตามวิธีการที่ระบุไว้ใน บุญล้อม และบุญเสริม (2525) และ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์หีวตฤแห่งอินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้าของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร ตามวิธี AOAC (1990) และวิเคราะห์หีวตฤเซลลูลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธี Detergent method ที่ดัดแปลงจาก Van Soest et al. (1991) ก่อนที่จะนำไปผสมให้เป็นอาหาร TMR

สำหรับการผสมอาหาร TMR ดำเนินการโดยนำทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากการหมักมาผสมกับอาหารชั้นในรูปแบบอาหาร TMR โดยมีสัดส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันหมักต่ออาหารชั้นแตกต่างกัน 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารชั้นในสัดส่วน 80:20 (T1) สูตรที่ 2 ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารชั้นในสัดส่วน 70:30 (T2) สูตรที่ 3 ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารชั้นในสัดส่วน 60:40 (T3) และสูตรที่ 4 ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารชั้นในสัดส่วน 50:50 (T4) โดยอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตรได้ถูกปรับให้มีระดับโปรตีนรวม (CP) 14 % และโภชนาที่ย่อยได้รวม (TDN) อยู่ในช่วง 48.81-60.76% ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Ingredients and composition of total mixed ration used in the experiment (% on DM basis).

Items	Experimental diets			
	T1	T2	T3	T4
Oil palm frond silage	80.00	70.00	60.00	50.00
Fish meal	6.00	5.20	5.00	5.00
Soy bean meal	3.80	5.00	5.70	5.00
Broken rice	3.20	7.50	14.80	14.00
Corn meal	4.50	10.00	12.50	24.00
Di-calcium phosphate	0.50	0.50	0.50	0.50
Urea	1.50	1.30	1.00	1.00
Salt	0.50	0.50	0.50	0.50
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical composition (% DM^{1/})				
Crude protein	13.99	14.02	14.07	14.09
Total digestible nutrient (TDN)	48.81	52.79	57.07	60.76

^{1/} calculated based of chemical composition of feedstuff reposted by NRC (1981)

การวางแผนการทดลองและวิธีการทดลอง

การศึกษานี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยมีอาหาร TMR ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นอาหารหยาดจำนวน 4 สูตร เป็นปัจจัยในการทดลอง แต่ละปัจจัยการทดลองมีจำนวน 18 ซ้ำ ทำการศึกษาจนพบศาสตร์การผลิตแก๊สเพื่อประเมินการย่อยได้ของอาหาร TMR เป็นส่วนประกอบตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Menke and Steingass (1988) โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของแพะทดลองตามรายละเอียดที่ระบุไว้ใน ธรรมชาติ (2552)

สำหรับการตรวจวัดปริมาณแก๊สทำโดยนำตัวอย่างเข้าป้อนในตู้บ่ม (incubate) ที่อุณหภูมิ 39 °C เพื่อทำการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใน 12 ชั่วโมงแรกของการบ่ม บันทึกผลทุกๆ 1 ชม. หลังจากนั้นบันทึกผลทุกๆ 3 ชม. จนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นบันทึกผลทุกๆ 6 ชม. จนถึงชั่วโมงที่ 72 และสุดท้ายทำการบันทึกผลที่ชั่วโมงที่ 96 นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่ออธิบายจนพบศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ตามแบบจำลองสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b [1 - \exp^{-ct}] \quad [1]$$

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t

a = จุดตัดแกน y ใช้บ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ มีหน่วยเป็น มล.

b = ค่าปริมาตรแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบเป็นค่าที่บ่งบอกถึงศักยภาพในการย่อยสลายอาหาร ถ้าค่า b สูง ศักยภาพในการย่อยสลายก็สูง มีหน่วยเป็น มล.

c = อัตราการเกิดแก๊ส มีหน่วยเป็น %/ชม.

Exp = exponential

t = เวลาการเกิดแก๊ส

จากนั้นนำค่า a และ b ที่ได้จากสมการนี้ไปประเมินค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) จากสมการ $d = |a| + b$ (Menke and Steingass, 1988) และประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร TMR แต่ละ

ทรีทเมนต์จากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ตามสมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของ Menke et al. (1979) ดังนี้

$$ME_{\text{ration}} \text{ (MJ/kg DM)} = 1.242 + (0.146 \times Gv) + (0.007 \times \%CP) + (0.0224 \times \%CF) \quad [2]$$

เมื่อ Gv = ปริมาณแก๊สสุทธิที่เกิดขึ้นใน 24 ชม. (มล./น้ำหนักอาหาร TMR) คำนวณจากสมการดังนี้

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

โดย V_o = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นก่อนบ่ม

V24 = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงที่ 24

GP_o = ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอด blank ที่ชั่วโมงที่ 24

Fh = 44.16 / (GPh - GP_o); roughage correction factor

Fc = 62.6 / (GPc - GP_o); concentrate correction factor

GPh = ค่าคงที่ของอาหารหยาดมีค่าเท่ากับ 47

GPc = ค่าคงที่ของอาหารข้นมีค่าเท่ากับ 68

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็น มก. วัตถุแห้ง

CP = โปรตีนรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

EE = ไขมันรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

การประเมินเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter, DOM) ของอาหาร TMR แต่ละทรีทเมนต์ ตามสมการของ Menke et al. (1979) ดังนี้

$$DOM_{\text{ration}} \text{ (%) } = 14.88 + (0.889 \times Gv) + (0.045 \times \%CP) + (0.065 \times \%Ash) \quad [4]$$

โดย Gv = ปริมาณแก๊สสุทธิที่เกิดขึ้นใน 24 ชม. (มล./น้ำหนักอาหาร TMR)

CP = โปรตีนรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

Ash = เถ้าของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR

วิเคราะห์วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้าของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร ตามวิธี AOAC (1990) และวิเคราะห์หมักนึ่งเซลล์

ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธี Detergent method ที่ดัดแปลงจาก Van Soest et al. (1991)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊ส เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของอาหาร TMR แต่ละสูตรมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (Steel and Torrie, 1980)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นอาหารหยาบ และร่วมกับอาหารข้นในสัดส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่าอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีค่าโปรตีนรวมเท่ากับ 14.9, 15.3, 15.0 และ 14.8 %ของวัตถุดิบ ซึ่งใกล้เคียงกับระดับโปรตีนรวมที่แนะนำโดย NRC

(1981) คือประมาณ 14 % และมีผนังเซลล์ (neutral detergent fiber: NDF) เท่ากับ 65.47, 59.48, 58.20 และ 51.36 % ของวัตถุดิบ ตามลำดับ ลิกโนเซลลูโลส (acid detergent fiber: ADF) 50.93, 44.82, 44.05 และ 42.65 % ของวัตถุดิบ ตามลำดับ และลิกนิน (acid detergent lignin: ADL) 11.05, 10.02, 9.29 และ 8.51 % ของวัตถุดิบ ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะสัดส่วนอาหารหยาบในอาหาร TMR สูตรที่ 1 สูงที่สุด คือ 80: 20 รองลงมาคือ สูตรที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก (nitrogen free extract: NFE) พบว่าอาหาร TMR สูตรที่ 4 มีค่าสูงที่สุด คือ 45.24 % ของวัตถุดิบ รองลงมาคือ สูตรที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ (40.98, 32.68 และ 27.50 % ของวัตถุดิบ ตามลำดับ) เนื่องจากอาหาร TMR สูตรที่ 4 มีสัดส่วนของอาหารข้นมากที่สุด คือ 50: 50 (ดังแสดงใน Table 2) ดังนั้นอาหาร TMR ที่ศึกษาครั้งนี้จึงมีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ลดลงตามสัดส่วนของอาหารหยาบ (ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก) ที่เพิ่มขึ้น

Table 2 Chemical composition content of total mixed ration used in the experiment.

Item	OPF-silage	Experimental diets			
		T1	T2	T3	T4
Dry matter, %	92.20	95.17	96.06	96.43	96.49
.....% of DM.....					
Organic matter	89.27	88.73	89.39	91.10	92.07
Crude protein	7.86	14.92	15.29	15.00	14.78
Crude fat	2.97	11.60	11.74	11.56	11.19
Ash	10.73	11.27	10.61	8.90	7.93
Crude fiber	43.31	34.69	29.67	23.57	20.86
NDF	66.99	65.47	59.48	58.20	51.36
ADF	55.56	50.93	44.82	44.05	42.65
Lignin	25.51	11.05	10.02	9.29	8.51
Hemicellulose ^{1/}	11.43	14.54	14.66	14.15	8.71
Cellulose ^{2/}	30.04	39.88	34.80	34.76	34.14
Nitrogen free extract ^{3/}	35.10	27.52	32.69	40.97	45.24

NDF= Neutral detergent fiber

ADF= Acid detergent fiber

^{1/} Hemicellulose = %neutral detergent fiber - %acid detergent fiber

^{2/} Cellulose = %acid detergent fiber – %lignin

^{3/} Nitrogen free extract = 100 - (%crude protein + %crude fiber + %crude fat + %ash)

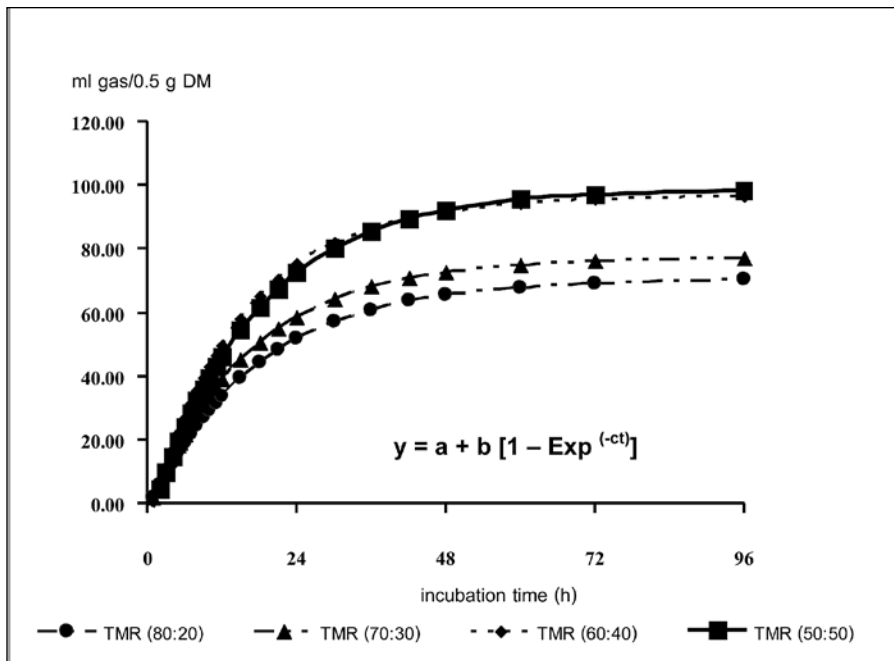


Figure 1 Accumulative gas production for TMR incubated *in vitro*.

Figure 1 แสดงปริมาณผลผลิตแก๊สของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (y) พบว่าอาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีค่า y ที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.09, 72.49; 91.77, 92.17 และ 96.39, 98.40 มล. ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากอาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (51.77, 58.62; 65.50, 72.72 และ 70.35, 77.04 มล. ตามลำดับ) การที่อาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้สูงสุดอาจเป็นเพราะอาหาร TMR ทั้งสองสูตร มีสัดส่วนของทางใบปาล์ม น้ำมันหมักเพียง 60 และ 50 % ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณผนังเซลล์น้อยกว่า (58.20 และ 51.36 % ของวัตถุดิบ) อาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 (สัดส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 80 และ 70 % ตามลำดับ)

ที่มีปริมาณผนังเซลล์เท่ากับ 65.47 และ 59.48 % ของวัตถุดิบ ตามลำดับ นอกจากนี้อาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 ยังมีปริมาณลิกนินน้อยกว่า (9.29 และ 8.51 % ของวัตถุดิบ) อาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 (11.05 และ 10.02 % ของวัตถุดิบตามลำดับ) สอดคล้องกับข้อสรุปของ Sallam et al. (2007) ที่กล่าวว่า ส่วนประกอบของผนังเซลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ตลอดระยะเวลาการบ่ม และผนังเซลล์อาจทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อการย่อยได้ลดลงจากการทดลองดังกล่าว พบว่า ปริมาณของผนังเซลล์จะลดลง ตามสัดส่วนที่ลดลงของอาหารหยาบในอาหาร TMR ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของอาหารหยาบลดลงในอาหาร TMR ขณะที่สัดส่วนของอาหารข้นเพิ่มขึ้น จึงน่าจะมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตแก๊สเพิ่มขึ้น

Table 3 Gas production characteristic, gas production volume, metabolisable energy and digestible organic matter of TMR.

Parameters	Experimental diets				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
Gas production characteristic						
a, ml	-2.34a	-2.98a	-7.67b	-7.44b	1.80	0.0001
b, ml	73.29b	80.42b	104.46a	106.31a	7.98	0.0001
c, % /h	0.06b	0.06b	0.07a	0.06b	0.004	0.0181
d, ml	75.88b	83.40b	112.13a	113.74a	8.96	0.0001
Gas production volume (ml/0.5 g DM)						
24 h	51.77c	58.62b	75.09a	72.49a	4.96	0.0001
48 h	65.50b	72.72b	91.77a	92.17a	5.99	0.0001
96 h	70.35b	77.04b	96.39a	98.40a	6.95	0.0001
ME, MJ/kgDM ^{1/}	4.90	5.16	5.03	5.09	0.18	0.7881
	(1.17) ^{2/}	(1.23)	(1.22)	(1.20)	0.04	0.7913
Digestible organic matter, DOM (%) ^{3/}	36.28	37.85	37.02	37.38	1.09	0.7870

^{abc} Means with different superscripts in row are significantly different (P<0.01).

^{1/} $ME_{\text{ration}} \text{ (MJ/kg DM)} = 1.242 + (0.146 \times Gv) + (0.007 \times \%CP) + (0.0224 \times \%CF)$

^{2/} $ME \text{ (Mcal/kg DM)} = (MJ/kg DM)/4.184$

^{3/} $DOM_{\text{ration}} \text{ (\%)} = 14.88 + (0.889 \times Gv) + (0.045 \times \%CP) + (0.065 \times \%Ash)$

สำหรับการพิจารณาค่าจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร (Table 3) โดย ค่า a ซึ่งใช้บ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ค่า b แสดงถึงศักยภาพในการย่อยสลายของอาหาร และค่า d ซึ่งหมายถึง ศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร TMR พบว่า อาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีค่า a, b และ d เท่ากับ -7.67, -7.44; 104.46, 106.31 และ 112.13, 113.74 มล. ตามลำดับ สูงกว่าอาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 (-2.34, -2.98; 73.29, 80.42 และ 75.88, 83.40 มล. ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ทั้งนี้ Ørskov (1982) อ้างโดย เมธา (2533) กล่าวว่า การที่ค่า a เป็นลบ อาจเกิดขึ้นจากส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายในอาหาร ซึ่งจากผลจากทดลองครั้งนี้แสดงว่าส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายเกิดจากปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก เมื่อสัดส่วนของอาหารชั้นเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณของไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกเพิ่มขึ้น

มีผลทำให้ศักยภาพในการย่อยสลาย และศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร TMR สูงขึ้นตามลำดับ ส่วนค่า c ซึ่งหมายถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักของอาหาร พบว่า ค่า c ของอาหาร TMR สูตรที่ 3 มีค่าสูงกว่า (0.07 %/ชม.) อาหาร TMR สูตรที่ 1, 2 และ 4 (0.06, 0.06 และ 0.06 %/ชม. ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ผลการศึกษาค้นนี้พบว่าเมื่อนำทางใบปาล์มน้ำมันหมักมาผสมกับอาหารชั้นในรูปแบบอาหาร TMR ทำให้ ค่า b และ d ของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตรสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเพียงอย่างเดียว โดย ณัฐฐา (2552) ได้ศึกษาถึงค่าจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 % โดยรายงานว่ทั้ง 4 สูตร มีค่าศักยภาพในการย่อยสลายของอาหาร (b) เท่ากับ 21.55, 24.78, 22.23 และ 25.97 มล. ตามลำดับ และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร (d) เท่ากับ 22.57, 25.34,

23.35 และ 27.32 มล. ตามลำดับ ($P>0.05$) สอดคล้องกับ สันติ และคณะ (2552) ซึ่งรายงานว่าทางใบปาล์ม น้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4, และ 6 % มีค่า b เท่ากับ 25.31, 23.39, 22.85 และ 21.95 มล. และมีค่า d เท่ากับ 28.61, 27.66, 26.12 และ 25.69 มล. ตามลำดับ การที่ค่า b และ d ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาของ ณัฐฐา (2552) และ สันติ และคณะ (2552) อาจเป็นเพราะการศึกษาครั้งนี้ใช้อาหาร TMR ซึ่งมีอาหารข้นเป็นส่วนประกอบทำให้มีอินทรีย์วัตถุที่สูงกว่า โดยอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 88.73, 89.39, 91.10 และ 92.07 ตามลำดับ มีผลทำให้ค่า b และ d สูงกว่า อย่างไรก็ตาม ค่า a ในการศึกษาครั้งนี้ต่ำกว่ารายงานของ ณัฐฐา (2552) และ สันติ และคณะ (2552) อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากวัตถุดิบอาหารข้นที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร TMR แต่มีค่าอัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักของอาหาร (c) ใกล้เคียงกัน

สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร คำนวณโดยใช้ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Menke et al., 1979) พบว่าอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 1.17, 1.23, 1.22 และ 1.20 เมกกะแคลอรี/กก. วัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ ($P>0.05$) (Table 3) โดยพบว่าอาหาร TMR สูตรที่ 2, 3 และ 4 มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (1.20 เมกกะแคลอรี/กก. วัตถุดิบแห้ง) ของแพะที่มีน้ำหนัก 20 กก. และไม่เลี้ยงลูก (NRC, 1981) ส่วนอาหาร TMR สูตรที่ 1 มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับทางใบปาล์มน้ำมันสด (1.17 เมกกะแคลอรี/กก. วัตถุดิบแห้ง) ที่รายงานโดย Wan Zahari and Alimon (2004) ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการดำรงชีพ ทั้งนี้จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับทางใบปาล์ม น้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 % ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.14-1.27 เมกกะแคลอรี/กก.

วัตถุดิบแห้ง (ณัฐฐา, 2552) ขณะที่ผลการศึกษาของ สันติ และคณะ (2552) พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์ม น้ำมันหมักกากน้ำตาลทั้ง 4 ระดับ (0, 2, 4 และ 6 %) จากการวัดผลผลิตแก๊สชั่วโมงที่ 24 มีค่าเท่ากับ 1.25, 1.30, 1.30 และ 1.30 เมกกะแคลอรี/กก. วัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแก๊สสะสม จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการย่อยสลายได้ขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น แป้ง (De Biover et al., 2005 อ้างโดย Sallam et al., 2007)

ในแง่ของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ของอาหาร TMR (Table 2) พบว่า อาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้เท่ากับ 36.28, 37.85, 37.02 และ 37.38 % ตามลำดับ ($P>0.05$) ซึ่งสูงกว่าอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์ม น้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 % (32.30, 33.42, 32.93 และ 36.08 % ตามลำดับ) ที่รายงานโดย ณัฐฐา (2552) ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีวัตถุดิบอาหารข้นเป็นส่วนประกอบ มีผลทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้สูงกว่าทางใบปาล์ม น้ำมันหมักกากน้ำตาล

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลจากการประเมินการย่อยได้โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส พบว่า อาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีค่าจนพลาสตรีกการผลิตแก๊ส ได้แก่ ค่า a, b และ d สูงกว่าอาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 แต่อาหาร TMR สูตรที่ 3 มีค่า c สูงกว่าอาหาร TMR สูตรที่ 1, 2 และ 4 ($P<0.05$) เมื่อตรวจวัดปริมาณผลผลิตแก๊สในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 พบว่าอาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีปริมาณผลผลิตแก๊สสูงกว่าอาหาร TMR สูตรที่ 1 และ 2 ($P<0.01$) โดยอาหาร TMR ทั้ง 4 สูตร มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพียงพอกับความต้องการเพื่อการดำรงชีพตาม

ความต้องการอาหารของแพะเนื้อและไม่เลี้ยงลูกที่ระบุไว้ใน NRC (1981) เท่านั้น ดังนั้นในการพัฒนาสูตรอาหาร TMR สำหรับเลี้ยงแพะจึงควรปรับค่า TDN และปรับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ให้เหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงแพะเนื้อในแต่ละช่วงอายุต่อไป รวมทั้งจำเป็นจะต้องนำอาหารทุกสูตรไปทดสอบการกินได้และการย่อยได้ในตัวสัตว์ด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย (NAT50020) ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก และภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนวัสดุดิบทางไบโอดีเซล สัตว์ทดลอง และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐธรา รัตนโกศล. 2552. การใช้ทางไบโอดีเซลน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบสำหรับแพะ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรมนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2525. การประเมินคุณภาพพืชหมัก. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- เมธา วรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. โรงพิมพ์พื้นที่บับลิซซิง, ขอนแก่น.
- สันติ หมดหมั่น, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, วันวิศาข์ งามผ่องใส และเสาวนิต คูประเสริฐ. 2552. เทคนิคผลผลิตแก๊สเพื่อประเมินการย่อยได้ของไบโอดีเซลน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล. น. 28-30. ใน : การสัมมนาวิชาการเกษตรประจำปี 26-27 มกราคม 2552. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เสาวนิต คูประเสริฐ. 2537. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- Abu Hassan, O. 1996. Oil palm as feed resource. P. 30-42. In : Proceedings of the 8th AAAP Animal Science Congress Vol III, 13-18 October 1996. Tokyo, Japan,
- Abu Hassan, O., M. Ishida, M. L. Shukri, and Z. Ahmad Tajuddin. 1994. Oil palm fronds as a roughage feed source for ruminants in Malaysia. Available: <http://www.agnet.org/library/eb/420/>. Accessed 19 May 2008.
- AOAC. 1990. Official Method of Analyses. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Ishida, M. and O. Abu Hassan. 1997. Utilization of oil palm frond as cattle feed. JARQ 13:41-47.
- Menke, K.H., L. Raab, L.A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz, and W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. J. Agric. Sci. (Camb.). 93:217-222.
- Menke, K. H. and H. Steingass. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28:7-55.
- Mohd Sukri, H. I. 2003. Fattening of beef cattle with oil palm by – products – oil palm frond based diets. P. 71-75. In: Proceeding of the 8th Meeting of the Regional Working Group on Grazing and Feed Resources for Southeast Asia 22-28 September 2003. Kuala Lumpur, Malaysia.
- NRC. 1981. Nutrient Requirement for Goats: Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press, Washington, D. C.
- Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92:499-503.
- Sallam, S. M. A., M. E. A. Nasser, A. M. El-Waziry, I. C. S. Bueno, and A. L. Abdalla. 2007. Use of and *in vitro* rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs. J. Applied Sci. Research 3:34-41.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd edition. McGraw-Hill, NY.

- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Wan Zahari, M. and A. R. Alimon. 2004. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. P. 5-9. In: *Oil Palm Developments 40*. Malaysia Palm Oil Board, Malaysia.