

การประเมินอินทรีวัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร ผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส

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

ภูวดล เหมชะรา¹, ปิ่น จันจุฬา^{1*} และ อนุสรณ์ เชิดทอง²

Puwadon Hamchara¹, Pin Chanjula^{1*} and Anusorn Cherdthong²

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณอินทรีวัตถุที่ย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จ (TMR) ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา (*Lentinus sajor-caju*, LSc) ทดแทนทางใบปาล์มน้ำมัน 4 ระดับ คือ 0, 33, 67 และ 100% โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมนของโคนมลูกผสมไฮสโตร์ฟรีย์เซียน 50% เพศผู้ จำนวน 2 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 450 ± 0.6 kg วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส จากการศึกษา พบว่า จลศาสตร์การผลิตแก๊สของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันที่ระดับ 100% มีค่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ (a) (-2.92 ml) สูงกว่าอาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันที่ระดับ 0% (0.54 ml) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่า อาหารผสมเสร็จทุกกลุ่มมีค่าศักยภาพในการย่อยสลายของอาหาร (b) ค่าอัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักของอาหาร (c) และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร (d) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณอินทรีวัตถุที่ย่อยได้ (66.75, 64.72, 67.11 และ 68.71% ตามลำดับ) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolisable energy ; ME) (2.22, 2.16, 2.23 และ 2.28 เมกกะแคลอรี/กก. วัตถุแห้งตามลำดับ) ของอาหารผสมเสร็จทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ดังนั้นสามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันได้ถึง 100% ในอาหารผสมเสร็จ

คำสำคัญ : ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา, ทางใบปาล์มน้ำมัน, เทคนิคผลผลิตแก๊ส

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University, Songkhla 90110

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน, ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40002

Tropical Feed Resource Research and Development Center (TROFREC), Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: pin.c@psu.ac.th

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the digestible organic matter and metabolisable energy of total mixed ration (TMR) containing different levels of fungal (*Lentinus sajor-caju*, LSc) treated oil palm frond (0, 33, 67 and 100% FTOPF) substitution for oil palm frond. *In vitro* gas production technique employed, using rumen mixed microbes inoculums from two male Holstein Friesian crossbred (50%) with an average body weight of 450 ± 0.6 kg. This study was arranged according to a Completely Randomized Design. As the results, FTOPF 100% were significantly higher in soluble gas fraction (a, -2.92 ml), than FTOPF 0% (0.54 ml) ($P < 0.05$). However, fermentation of insoluble fraction (b) gas production rate (c) and potential of extent of gas production (d) values were similar among treatments ($P > 0.05$). Likewise, the digestible organic matter were 66.75, 64.72, 67.11 and 68.71%, respectively, the metabolisable energy (ME) were 2.22, 2.16, 2.23 and 2.28 Mcal/kg DM, respectively. Both digestible organic matter and metabolisable energy were not different among treatments ($P > 0.05$). In conclusion, FTOPF could be used beneficially up to 100% in TMR. **Keywords:** Fungal treated oil palm frond, oil palm frond, *in vitro* gas production technique

บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และประเทศเขตร้อนทั่วโลก และในอนาคตมีแนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สัมพันธ์กับปริมาณทางใบปาล์มน้ำมัน (oil palm frond, OPF) ซึ่งเป็นเศษเหลือจากการจัดการต้นปาล์มน้ำมัน โดยในการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มทุกๆ 15 วัน และต้องตัดทางใบปาล์มน้ำมันทุกครั้งที่มีการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม (ธีระและคณะ, 2548) ซึ่งทางใบปาล์มน้ำมัน สามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบในช่วงที่มีการขาดแคลนอาหารหยาบได้ดี อย่างไรก็ตาม การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันมาเป็นแหล่งอาหารหยาบ ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากมีส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) และลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) สูง แต่มีปริมาณโปรตีนรวมต่ำ และมีการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่ำ (Ishida and Abu Hassan, 1997) โดยจากการศึกษาของ จารุณี และคณะ (2551) พบว่า การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 25.34% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารหยาบชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตาม มีวิธีการทั้งทางกายภาพและเคมีเพื่อลดหรือสลายพันธะ lignocellulosis เพื่อเพิ่มคุณค่า และการย่อยได้ของ

โภชนะเพิ่มขึ้น และได้มีการนำมาใช้ปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย เช่น ฟางข้าว และฟางข้าวสาลี เป็นต้น (Hamed and Eliman, 2010) นอกจากนี้ การปรับปรุงคุณภาพทางชีวภาพโดยวิธีหมักเชื้อรา เช่น เชื้อราผู้สีขาว white rot fungi (WRF) เนื่องจากเชื้อรา WRF สามารถย่อยสลายลิกนิน และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) ได้สูง (Okano et al., 2009) รวมทั้งสามารถเปลี่ยนลิกโนเซลลูโลสเป็นโปรตีนที่ใช้เป็นอาหารของสัตว์ (Adamovic et al., 1998) จากการศึกษาของ Chanjula et al. (2015) พบว่า เชื้อรา *Lentinus sajor-caju* (LSc) สามารถย่อยลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน และเพิ่มปริมาณโปรตีนรวมบนทางใบปาล์มน้ำมันได้ รา LSc จึงเป็นเชื้อราที่สำคัญในการนำมาปรับปรุงคุณภาพทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จากรายงานของ Shrivastava et al. (2012) ได้ทำการประเมินการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique) พบว่า ฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา *Ganoderma* sp. rckk02 มีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ 24 ชั่วโมง และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีแนวโน้มสูงกว่า ฟางข้าวสาลีที่ไม่หมักเชื้อรา แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งนี้การประเมิน

อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารที่ประกอบขึ้น โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สก่อนที่จะนำอาหารเหล่านั้นมาใช้เลี้ยงสัตว์จริงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในปัจจุบันเทคนิคผลผลิตแก๊สได้รับการยอมรับว่าสะดวก ลดต้นทุน และให้ผลที่ใกล้เคียงกับการประเมินจากตัวสัตว์โดยตรง (Supapong et al., 2017) ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันที่ระดับต่างๆ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique)

วิธีการศึกษา

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ใช้โคนมลูกผสมไฮสโตร์ฟรี่เชียน 50 เปอร์เซนต์เพศผู้ อายุ 30-34 เดือน น้ำหนัก 450 ± 0.6 kg จำนวน 2 ตัว มีสุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง และทำการกำจัดพยาธิภายนอกและพยาธิภายในโดยใช้ยาถ่ายพยาธิไอเวอร์เมกติน (Ivermectin) ให้โคได้รับหญ้าสดแบบเต็มทีเสริมด้วยอาหารข้นที่มีโปรตีนรวม 16% ซึ่งในสูตรอาหารประกอบด้วย ข้าวโพดบด มันเส้น กากถั่วเหลือง เป็นองค์ประกอบพื้นฐานก่อนทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน

การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา และอาหารทดลอง

การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมัน (OPF): ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรพี มอ. 1 ที่ตัดออกระหว่าง

เก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณ 7-8 ปี ของสถานีวิจัยและฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการตัดส่วนก้าน (petiole) ที่มีหนามออกจากนั้นสับด้วยเครื่องสับหญ้าให้มีขนาดประมาณ 1-1.5 cm แล้วนำมาบรรจุถุงพลาสติกขนาด 30X45 cm นำทางใบปาล์มน้ำมันที่บรรจุถุงไปนึ่งใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น นำหัวเชื้อรา (*Lentinus sajor-caju*, LSc) (Chanjula et al., 2015) ที่ถูกเพาะไว้ในข้าวฟ่างย่ำลงในถุงเพาะเห็ดที่บรรจุทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งประมาณ 3-5% w/w (น้ำหนักสด) (Fazaeli et al., 2002) นำถุงเห็ดที่ย้ายเชื้อไปบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง 28-32 °C เป็นเวลา 21 วัน หรือจนเส้นใยเชื้อราเดินเต็มถุง หลังจากนั้นนำทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราตากแดดจนแห้ง 3-5 วัน แล้วนำมาบรรจุในถุงพลาสติกขนาด 45X90 cm เก็บในอุณหภูมิห้อง

อาหารผสมเสร็จ (total mixed rations, TMR): โดยใช้อัตราส่วนของอาหารข้น:อาหารหยาบ 70:30 ซึ่งอาหารหยาบประกอบด้วยทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา (fungal treated oil palm frond, FTOPF) ทดแทนทางใบปาล์มน้ำมัน ที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100% ในสูตรอาหารที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น กระถินป่น กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน กากน้ำตาล DCP เกลือ และแร่ธาตุรวมทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโปรตีนรวม 15% โภชนะย่อยได้รวม 76% (ได้จากการคำนวณ) ดังแสดงใน Table 1

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

Items	Diets (%FTOPF)			
	FTOPF=0	FTOPF=33	FTOPF=67	FTOPF=100
OPF ¹	30.0	20.0	10.0	0.0
FTOPF ²	0.0	10.0	20.0	30.0
Corn meal	45.0	45.0	45.0	45.0
Soy bean meal	7.3	7.3	7.3	7.3
Fish meal	0.4	0.4	0.4	0.4
Leucaena leaf meal	7.0	7.0	7.0	7.0
Palm kernel meal	7.0	7.0	7.0	7.0
Molasses	2.03	2.05	2.09	2.10
Di-calcium phosphate	0.4	0.4	0.4	0.4
Salt	0.2	0.2	0.2	0.2
Urea	0.07	0.05	0.01	0.00
Premix	0.7	0.7	0.7	0.7
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
Chemical composition (% DM ³)				
Crude protein	15.0	15.0	15.0	15.0
Total digestible nutrient (TDN)	76.0	76.0	76.0	76.0

¹ OPF = oil palm frond² FTOPF = fungal treated oil palm frond³ calculated based on chemical composition of feedstuff reported by NRC (1981)

การศึกษานี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยมีอาหาร TMR ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารหยาบจำนวน 4 สูตร เป็นปัจจัยในการทดลอง แต่ละปัจจัยการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ ทำการศึกษาจนผลผลิตการเกิดแก๊สเพื่อประเมินการย่อยได้ของอาหาร TMR ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Menke and Steingass (1988) โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของโคนม สำหรับการตรวจวัดปริมาณแก๊สทำโดยนำตัวอย่างเข้าบ่มในตูบ่ม (incubate) ที่อุณหภูมิ 39 °C เพื่อทำการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใน 12 ชั่วโมงแรกของการบ่ม บันทึกผลทุกๆ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบันทึกผลทุกๆ 3 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นบันทึกผลทุกๆ 6 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 72 และสุดท้ายทำการบันทึกผลที่ชั่วโมงที่ 96 นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

fit curve เพื่ออธิบายจนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สตามแบบจำลองสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

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

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t

a = จุดตัดแกน y ใช้บ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายของคัพระกอบที่ละลายน้ำได้ มีหน่วยเป็น ml

b = ค่าปริมาตรแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบเป็นค่าที่บ่งบอกถึงศักยภาพในการย่อยสลายอาหารถ้าค่า b สูง ศักยภาพในการย่อยสลายก็สูง มีหน่วยเป็น ml

c = อัตราการเกิดแก๊ส มีหน่วยเป็น %ต่อชั่วโมง

Exp = exponential

t = เวลาการเกิดแก๊ส

จากนั้นนำค่า a และ b ที่ได้จากสมการนี้ไปประเมินค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) จากสมการ $d = |a| + b$

(Menke and Steingass, 1988) และประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร TMR แต่ละทรีทเมนต์จากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ตามสมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของ Menke et al. (1979) ดังนี้

$$\text{ME ration (MJ/kg DM)} = 1.242 + (0.146 \times \text{GP}) + (0.007 \times \% \text{CP} + 0.0224 \times \% \text{EE})$$

เมื่อ GP = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง (มล./น้ำหนักอาหาร TMR) คำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{GP (ml)} = \frac{(\text{V24} - \text{Vo} - \text{GPO}) \times 200 \times [(\text{Fh} + \text{Fc})/2]}{\text{W}}$$

โดย Vo = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นก่อนบ่ม

V24 = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงที่ 24

GPO = ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอด blank ที่ชั่วโมงที่ 24

Fh = $44.16 / (\text{GPh} - \text{GPO})$; roughage correction factor

Fc = $62.6 / (\text{GPc} - \text{GPO})$; concentrate correction factor

GPh = ค่าคงที่ของอาหารหยาบมีค่าเท่ากับ 47

GPc = ค่าคงที่ของอาหารข้นมีค่าเท่ากับ 68

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็น มก. วัตถุแห้ง

CP = โปรตีนรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

EE = ไขมันรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

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

$$\text{DOM ration (\%)} = 14.88 + (0.889 \times \text{GP}) + (0.045 \times \% \text{CP}) + (0.0651 \times \% \text{Ash})$$

โดย GP = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง (มล./น้ำหนักอาหาร TMR)

CP = โปรตีนรวมของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

Ash = เถ้าของอาหาร TMR แต่ละสูตร (%)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มตัวอย่างอาหารที่ใช้ทดลองอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 mm เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (DM, ash, CP และ Crude fat) ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์ค่า detergent fiber (NDF, ADF และ Lignin) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊ส เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร TMR แต่ละสูตรมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (Steel and Torrie, 1980)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมเสร็จที่ใช้ FTOPE ทดแทน OPF ที่ระดับ 0, 33, 64 และ 100% พบว่าทั้ง 4 สูตร มีค่าที่ใกล้เคียงกัน (Table 2) โดยมีโปรตีนรวม เท่ากับ 16.1, 16.4, 16.4 และ 16.5% มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate: NSC) เท่ากับ 17.90, 19.20, 21.17, และ 23.32% ตามลำดับ และมีผนังเซลล์ (neutral detergent fiber: NDF) เท่ากับ 56.70, 54.84, 53.09 และ 50.40% ตามลำดับ ลิกโนเซลลูโลส (acid detergent fiber: ADF) 28.04, 27.99, 27.74 และ 27.72% ตามลำดับ และลิกนิน (acid detergent lignin: ADL) 7.83, 7.73, 7.63 และ 7.24% ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของโปรตีนรวม พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของ FTOPF ปริมาณของโปรตีนรวม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่องค์ประกอบของ ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับของ FTOPF เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเชื้อราสามารถย่อยองค์ประกอบของผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน นอกจากนี้เชื้อราสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของ OPF ทำให้ปริมาณของโปรตีนรวมสูงขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจากการได้รับอาหาร ส่งผลต่อการผลิตจุลินทรีย์โปรตีน (Rahman et al.,

2011; Tuyen et al., 2013; Chanjula et al., 2015) สอดคล้องกับการศึกษาของ Fazaeli and Masoodi (2006) ซึ่งใช้ฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา *Agaricus bisporus* ทดแทนฟางข้าวสาลีที่ระดับ 0-30% ในแง่จากการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อราสูงขึ้นทำให้ปริมาณของผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสลดลงตามการเพิ่มระดับของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา เนื่องจากเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ที่ใช้ย่อยและทำลายพันธะของลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน (Kirk and Hammol, 1992)

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

Item	Diets (%FTOPF) ^{1/}					
	OPF	FTOPF	FTOPF=0	FTOPF=33	FTOPF=67	FTOPF=100
Dry matter, %	41.83	39.47	89.89	89.41	89.31	89.06
Ash	7.37	8.29	6.45	6.77	6.69	6.74
Organic matter	92.63	87.06	93.55	93.23	93.31	93.26
Crude protein	5.45	6.81	16.10	16.43	16.44	16.54
Crude fat	1.85	1.82	2.85	2.76	2.61	3.00
NSC ^{2/}	11.03	11.79	17.90	19.20	21.17	23.32
NDF	74.21	71.92	56.70	54.84	53.09	50.40
ADF	63.41	60.92	28.04	27.99	27.74	27.72
Hemicellulose ^{3/}	10.80	11.00	28.30	26.85	25.35	22.68
Cellulose ^{4/}	44.77	43.89	20.21	20.26	20.11	20.48
Lignin	18.68	17.03	7.83	7.73	7.63	7.24
Gross energy (Mcal/kg DM)	4.69	4.33	4.35	4.36	4.40	4.27

NDF = neutral detergent fiber

ADF = acid detergent fiber

^{1/} Level of fugal treated oil palm frond in diets = 0%, 33%, 64% and 100% of FTOPF.

^{2/} NSC = non-structural carbohydrate Estimated: NSC = 100 – (%NDF + %Ash + %CP + %EE) (Merten, 1997).

^{3/} Estimated: Hemicellulose = (NDF - ADF).

^{4/} Estimate: Cellulose = (ADF-ADL).

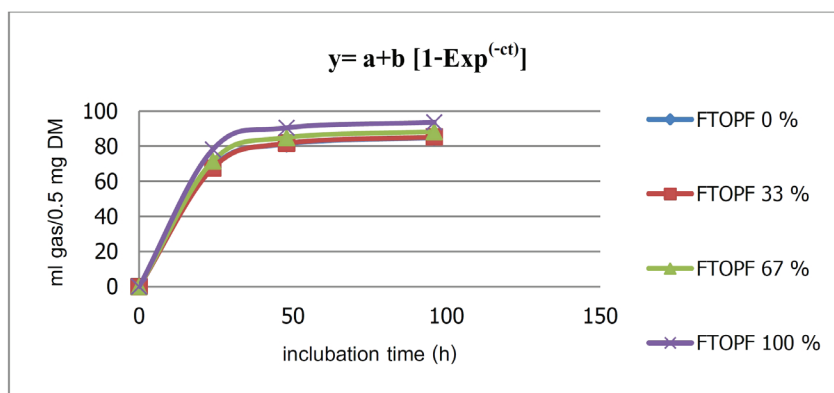


Figure 1 Accumulative gas production for FTOPF incubated *in vitro*.

Figure 1 แสดงปริมาณผลผลิตแก๊สของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100% ทั้ง 4 สูตร เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ (y) โดยประเมินจากสมการ $y = a + b [1 - \text{Exp}(-ct)]$ ที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.21, 67.60, 71.51 และ 78.15 ml ตามลำดับ และ 81.19, 81.67, 84.83 และ 90.48 ml ตามลำดับ และ 84.91, 85.31, 88.24 และ 93.61 ml ตามลำดับ พบว่าอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 100% มีปริมาณแก๊สสะสมสูงสุด รองลงมาคือระดับ 67, 33 และ 0% ตามลำดับ สอดคล้องกับข้อสรุปของ Sallam et al. (2007) ที่รายงานว่า ผนังเซลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ตลอดระยะเวลาของการบ่ม และผนังเซลล์อาจจะลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อการย่อยของอาหาร ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้พบว่า ปริมาณของผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และ ลิกนินลดลงตามระดับของ FTOPF ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตแก๊สเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Rahman et al. (2011) ได้ทำการศึกษาคัดเลือกเชื้อรา 10 ชนิด และระยะเวลาในการบ่มทางใบปาล์มน้ำมันต่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน โดยใช้วิธีการวัดผลผลิตแก๊สจากการศึกษา พบว่าการใช้เชื้อรา *Ceriporiopsis*

subvermispora, *Phlebia brevispora* หมักทางใบปาล์มน้ำมันที่ระยะเวลาบ่ม 3 สัปดาห์ และเชื้อรา *Trametes versicolor*, *Bjerkandera adusta* และ *Schizophyllum commune* หมักทางใบปาล์มน้ำมันที่ระยะเวลาบ่ม 9 สัปดาห์ มีปริมาณผลผลิตแก๊สสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้หมักเชื้อรา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากเชื้อรามีความสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเยื่อใยให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายจึงทำให้ผลผลิตแก๊สของทางใบปาล์มหมักเชื้อราสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้หมักเชื้อรา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Akinfemi and Ogunwole (2012) ได้ทำการศึกษากการใช้เชื้อรา *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus pulmonarius* และ *Pleurotus tuber-regium* หมักฟางข้าว เปรียบเทียบกับฟางข้าวไม่หมักเชื้อรา ต่อการย่อยได้โดยใช้วิธีการวัดผลผลิตแก๊ส จากการศึกษาพบว่า การใช้ฟางข้าวหมักเชื้อรา *Pleurotus ostreatus* มีผลผลิตแก๊สที่ 24 ชั่วโมง สูงกว่าการใช้เชื้อรา *Pleurotus pulmonarius* และ *Pleurotus tuber-regium* ($P < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มของฟางข้าวหมักเชื้อราทั้ง 3 ชนิด กับฟางข้าวที่ไม่ได้หมักเชื้อรา พบว่าผลผลิตแก๊สที่ 24 ชั่วโมง ของฟางข้าวที่ไม่ได้หมักเชื้อรา มีปริมาณต่ำกว่ากลุ่มที่หมักเชื้อรา ($P < 0.05$)

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

Parameters	Diets (%FTOPF) ^{1/}				SEM ^{1/}	Contrast P-value ^{1/}	
	FTOPF =0	FTOPF=33	FTOPF=67	FTOPF=100		L	Q
Gas production characteristic							
a ml	0.54 ^a	-1.57 ^{ab}	-1.22 ^{ab}	-2.92 ^b	0.636	0.01	0.75
b ml	91.56	91.47	93.75	96.38	5.53	0.51	0.81
c % /h	0.0298	0.0300	0.0308	0.0328	0.001	0.10	0.47
d ml	92.10	93.04	94.97	99.31	5.48	0.364	0.76
Gas production volume (ml/0.5 g DM)							
24 h	68.12	67.60	71.51	78.15	5.27	0.19	0.52
48 h	81.19	81.67	84.83	90.48	5.59	0.25	0.65
96 h	84.91	85.31	88.24	93.61	5.78	0.29	0.67
ME, MJ/kg DM ^{2/}	9.30	9.02	9.33	9.55	0.35	0.51	0.50
ME, Mcal/kg DM	2.22	2.16	2.23	2.28	0.08	0.52	0.52
Digestible organic matter, DOM (%) ^{3/}	66.75	64.72	67.11	68.71	2.31	0.44	0.45

^{a b} Means with different superscripts in row are significantly different ($P < 0.05$).

^{1/} L = linear, Q = quadratic

^{2/} ME ration (MJ/kg DM) = $1.242 + (0.146 \times \text{GP}) + (0.007 \times \% \text{CP}) + (0.0224 \times \% \text{EE})$

^{3/} Digestible organic matter, DOM ration (%) = $14.88 + (0.889 \times \text{GP}) + (0.045 \times \% \text{CP}) + (0.0651 \times \% \text{Ash})$

SEM = Standard error of the mean ($n=3$).

สำหรับการพิจารณาค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊สของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100% (Table 3) พบว่าอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 0% มีค่าความสามารถในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (a) เท่ากับ 0.54 ml ต่ำกว่าอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 100% เท่ากับ -2.92 ml อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และยังมีแนวโน้มเพิ่มในรูปแบบเส้นตรง (L, $P=0.01$) เมื่อพิจารณาถึงค่าศักยภาพในการย่อยสลาย (b) อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก (c) และศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทนทาง OPF ที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยค่า b อยู่ในช่วง 91.47 – 96.38 ml ค่า c อยู่ในช่วง 0.0298 – 0.0328%ต่อชั่วโมง และค่า d อยู่ในช่วง 92.10 – 99.31 ml ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม

การที่ค่าความสามารถในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (a) ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 100% สูงกว่าระดับ 0% อาจเนื่องมาจากเมื่อระดับของ FTOPF สูงขึ้น ทำให้ปริมาณของผนังเซลล์และลิกนินลดลงขณะที่คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้ศักยภาพในการย่อยสลาย และศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหารสูงขึ้น (Ørskov and McDonald, 1979) จากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Rodrigues et al. (2008) ได้ทำการศึกษากการผลิตเอนไซม์ของเชื้อราหมักฟางข้าวสาลี และการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา โดยใช้จุลศาสตร์การผลิตแก๊สได้ใช้เชื้อรา 4 ชนิด ได้แก่ *Trametes versicolor* 1, *Trametes versicolor* 2, *Bjerkandera adusta* และ *Fomes fomentarius* จากการศึกษาพบว่า เชื้อรา *Trametes versicolor* 1 และ *Trametes versicolor* 2

มีการผลิตเ็นไซม์ laccase และ เ็นไซม์ MnP สูงกว่า เชื้อราในกลุ่ม *Bjerkandera adusta* และ *Fomes fomentarius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (a) พบว่า การใช้เชื้อรา *Trametes versicolor* 2 หมักฟางข้าวสาลี มีความสามารถในการย่อยสลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (a) สูงกว่าเชื้อราชนิดอื่น และกลุ่มฟางข้าวที่ไม่หมักเชื้อรา (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าศักยภาพในการย่อยสลาย (b) อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก (c) ของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อราทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบกับฟางข้าวสาลีที่ไม่ได้หมักเชื้อรา พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ระดับต่างๆ ที่ประเมินจากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 พบว่า พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางไบโพลีเมอร์น้ำมันที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.02-9.55 เมกกะจูล/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง หรือ 2.19-2.28 เมกกะแคลอรี/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ของทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหมักทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่ง Menke et al. (1979) รายงานว่า ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การใช้เชื้อราในการปรับปรุงคุณค่าผลพลอยได้ทางการเกษตรมีส่งผลให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงโดยเชื้อรา (Mahesh and Mohini, 2015; Naselhi et al., 2016)

ในแง่ของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับต่างๆ (Table 3) พบว่า มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ เท่ากับ 66.75, 64.72, 67.11 และ 68.71% ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ของอาหารทดลองในครั้งนี้อย่างสูง อาหารผสมเสร็จที่มีสัดส่วนของทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหมักต่ออาหารชั้น 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 (36.28, 37.85, 37.02 และ 37.38% ตามลำดับ) ที่รายงานโดย สุนทรและคณะ (2554) ทั้งนี้อาจเนื่องในสูตรอาหารมีสัดส่วนของอาหารชั้น ถึง 70% มีผลทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้สูงกว่า

สรุป

การประเมินอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จที่มีสัดส่วนของทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางไบโพลีเมอร์น้ำมันที่ระดับต่างๆ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส พบว่า ค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊สของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางไบโพลีเมอร์หมักเชื้อราทดแทนทางไบโพลีเมอร์น้ำมันที่ระดับ 100% มีค่า a สูงกว่า อาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ที่ระดับ 0% อย่างไรก็ตามค่า b, c และ d ของอาหารผสมเสร็จที่มีระดับ FTOPF ทดแทน OPF ทั้ง 4 ระดับไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีค่าอยู่ในช่วง 9.02-9.55 เมกกะจูล/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง หรือ 2.19-2.28 เมกกะแคลอรี/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง ดังนั้นการใช้อาหารผสมเสร็จที่มีทางไบโพลีเมอร์น้ำมันหมักเชื้อราทดแทนทางไบโพลีเมอร์น้ำมันสามารถใช้ได้ถึงระดับ 100% โดยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมัก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และสมดุลไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจริงภายในตัวสัตว์ เพื่อหาระดับที่ของ FTOPF เหมาะสมในการใช้เป็นอาหารสัตว์ เคี้ยวเอื้องต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 2 (CoE-ANRB: phase 2) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน (TROFREC) ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนเงินทุน และอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จารุณี อิมเอบ อังคณา หาญบรรจง องอาจ อินสังข์ และอรุณี อิงคกุล. 2551. องค์ประกอบทางเคมีและค่าการสลายตัวในกระเพาะรูเมนของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุของทางใบปาล์มน้ำมัน. น. 235-244. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2551. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรมนิม ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน. น. 51-62. ใน: เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- เมธาวรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. หจก. พันธุ์ปาลิซซิ่ง, กรุงเทพฯ.
- สุนทร รอดด้วง, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ และวันวิศาข์ งามผ่องใส. 2554. การประเมินอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส. ว. แก่นเกษตร. 39:251-260.
- Adamovic, M., G. Grubic, I. Milenkovic, R. Jovanovic, R. Protic, L. Sretenovic, and L. J. Stoicevic. 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. Anim. Feed Sci. Technol. 71:357-362.
- Akinfemi, A., and O. A. Ogunwole. 2012. Chemical composition and in vitro digestibility of rice straw treated with *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus pulmonarius* and *Pleurotus tuber-regium*. Slovak J. Anim. Sci. 45:14-20.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Chanjula, P., V. Petcharat, and C. Promkot. 2015. Nutritive value of oil palm frond treated with white rot fungi. P. 135-138. In: Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Animal Agricultural for Developing Countries (5th SAADC 2015), 27-30 October 2015. Chonburi, Thailand.
- Fazaeli, H., and A. R. Talebian Masoodi. 2006. Spent wheat straw compost of *Agaricus bisporus* mushroom as ruminant feed. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 6:845-851.
- Fazaeli, H., Z. A. Jelani, H. Mahmoodzadeh, J. B. Liang, A. Azizi, and A. Osman. 2002. Effect of fungal treated wheat straw on the diet of lactating cows. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 11:1573-1578.
- Hamed, A. H. M., and M. E. Elimam. 2010. Performance and digestibility in Nubian goats fed steam treated sorghum stover. Pak. J. Nutr. 9:298-301.
- Ishida, M., and O. Abu Hassan. 1997. Utilization of oil palm frond as cattle feed. Japan Agric. Res. Quart. 13:41-47.

- Kirk, T. K., and K. E. Hammol. 1992. What is the primary agent of lignin degradation in white rot fungi. P.535-540. In: Kuwahara, M. and M. Shimada. Biotechnology in pulp and paper industry, Tokyo.
- Mahesh M. S., and M. Mohini. 2013. Evaluation of *Crinipellis* sp. treated wheat straw based diet for ruminants under in vitro system. Indian. J. Anim. Nutr. 32: 25-29.
- Menke, K. H., and H. Steingass, 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28: 7-55.
- 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.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cow. J. Dairy Sci. 80: 1463-1481.
- Nasehi, M., N. M. Torbatinejad, S. Zerehdaran, and A. R. Safaie. 2016. Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on nutritive value of some agro by-products. J. Appl. Anim. Res. 1: 1-6.
- NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. Washington, D.C. : National Academy Press.
- Okano, K., N. Ohkoshi, A. Nishiyama, T. Usagawa, and M. Kitagawa. 2009. Improving the nutritive value of madake bamboo, *Phyllostachys bambusoides*, for ruminants by culturing the white rot fungus *Ceriporiopsis subvermispora*. Anim. Feed Sci. Technol. 152: 278-285.
- 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. (Camb.) 92: 499-503.
- Rahmana, M. M., M. Lourenco, H. A. Hassim, J. J. P. Baars, A. S. M. Sonnenberg, J. W. Cone, J. De Boever, and V. Fievez. 2011. Improving ruminal degradability of oil palm fronds using white rot fungi. Anim. Feed Sci. Technol. 169: 157-166.
- Rodrigues, M. A. M., P. Pinto, R. M. F. Bezerra, A. A. Dias, C. V. M. Guedes, V. M. G. Cardoso, J. W. Conec, L. M. M. Ferreira, J. Cola and C. A. Sequeira. 2008. Effect of enzyme extracts isolated from white-rot fungi on chemical composition and *in vitro* digestibility of wheat straw. Anim. Feed Sci. Technol. 14: 326-338.
- 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. Res. 3: 34-41.
- Shrivastava, B., P. Nandal, A. Sharma, K. K. Jain, Y. P. Khasa, T. K. Das, V. Mani, N. J. Kewalramani, S. S. Kundu, and R. C. Kuhad. 2012. Solid state bioconversion of wheat straw into digestible and nutritive ruminant feed by *Ganaderma* sp. rockk02. Biores. Technol. 107: 347-357.
- Supapong, C., A. Cherdthong, A. Seankamsorn, B. Khonkhaeng, M. Wanapat, S. Uriyapongson, N. Gunun, P. Gunun, P. Chanjula, and S. Polyorach. 2017. *In vitro* fermentation, digestibility and methane production as influenced by *Delonix regia* seed meal containing tannins and saponins. J. Anim. Feed Sci. 26: 123-130.

- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A Biometrial Approach. (The 2nd ed.). McGraw-Hill Book Co, New York.
- Tuyen, D. V., H. N. Phuong, J. W. Cone, J. J. P. Baars, A. S. M. Sonnenberg, and W. H. Hendriks. 2013. Effect of fungal treatments of fibrous agricultural by-products on chemical composition and *in vitro* rumen fermentation and methane production. *Biores. Technol.* 129: 256–263.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.