รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ:

วิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างตารางมาตรฐานค่าความต้องการโภชนะโปรตีนและพลังงานในโคเนื้อสายเลือดไทย

(Thai Native Beef Cattle Energy and protein Nutrient Requirement Research and Development Project)

รหัส 543301

โดย:

รศ. ดร. กฤตพล สมมาตย์ (หัวหน้าโครงการ)

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

โทรศัพท์ 043-202360 โทรสาร 043-202361

Email: kritapon@kku.ac.th Web Site: http://home.kku.ac.th/kritapon

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย ประเภทอุดหนุนทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้ดำเนินการวิจัย เรื่อง “วิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างตารางมาตรฐานค่าความต้องการโภชนะโปรตีนและพลังงานในโคเนื้อสายเลือดไทย ” รหัส 543301 เป็นโครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ “เทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อ โคนม โคพื้นเมืองไทยอย่างยั่งยืน” ขอขอบคุณ Japan International Research Center for Agricultural Science (JIRCAS) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดพลังงานในตัวสัตว์ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ขอนแก่น กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนสถานที่การวิจัย และ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนด้านสัตว์ทดลอง เครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการศึกษาครั้งนี้ การศึกษาครั้งนี้ได้รับงบประมาณ ภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัย ประเภทอุดหนุนทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่น จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

คณะผู้วิจัย

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ได้รับ

Kongphitee, K., S. Udchachon, M. Otsuka and K. Sommart*. 2010. Energetic efficiency of Thai native beef cattle fed rice straw or Ruzi straw base diet. KHON KAEN AGR. J. 38 SUPPLMENT : 176-179.

Kongphitee, K. and K. Sommart*. 2011. Methane production in Thai native beef cattle fed low quality roughage based diets. Khon Kaen Agr. J. 39: 379-388.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์พลังงานในโคพื้นเมืองไทยที่ได้รับฟางข้าวหรือฟางหญ้ารูซี่เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก โดยใช้โคเพศผู้ทดลองจำนวน 12 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 342.25 ± 30.46 กิโลกรัม) อายุประมาณ 3 ปี ทดลองเลี้ยงสัตว์เป็นระยะเวลา 130 วัน วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์จำนวน 4 บล็อก (ซ้ำ) โดยสัตว์ทดลองได้รับอาหารหยาบหลัก 3 แบบ คือ T1) ใช้ฟางหญ้ารูซี่เป็นอาหารหยาบในสูตรอาหารให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*), T2) ใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบในสูตรอาหารให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*) และ T3) ใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบให้กินอาหารแบบขั้นบันได สูตรอาหารครบส่วนมีสัดส่วนอาหารหยาบ (30%) และอาหารข้น (70%) ผลการทดลองพบว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ ที่มีแหล่งอาหารหยาบหลักแตกต่างกัน คือ ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าว มีปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ เมแทบอลิซึมของพลังงาน พลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกาย พลังงานที่เก็บกักได้ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ส่วนโคที่ได้รับฟางข้าวในสูตรอาหารโดยมีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ (เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ พลังงานรวมที่กินได้ พลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีค่าสูงกว่า (P<0.01) โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวแบบเต็มที่ ส่วนค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปมูลและแก๊สมีเทนของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่พลังงานที่สูญเสียในรูปปัสสาวะ (เมื่อคิดเป็นสัดส่วนพลังงานต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กิน) พบว่า โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหารฟางข้าว ค่าการผลิตความร้อน (เมื่อคิดเป็นเมกะจูลต่อวัน และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวแบบเต็มที่ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน (P<0.05) สามารถวิเคราะห์ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทยได้เท่ากับ 541.31 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพมีค่าเท่ากับ 345.30 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 0.60 และ 0.35 ตามลำดับ สรุปได้ว่า โคพื้นเมืองไทยที่ได้รับแหล่งอาหารหยาบคุณภาพต่ำระหว่างฟางหญ้ารูซี่กับฟางข้าว มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอาหารไม่ต่างแตกกัน

ABSTRACT

The objective of this study was to determine energy utilization of Thai native beef cattle fed rice straw or Ruzi straw based diet. Twelve Thai native bulls with body weight of 318.42 ± 28.87 kg and average age of 3 years were feeding trails for 130 days. Dietary treatments were applied in a randomized complete block design (RCBD) with 4 replications. The treatments consisted of Ruzi straw based diet fed *ad libitum* (T1), rice straw based diet fed *ad libitum* (T2) and rice straw based diet fed stair step feeding (T3). All dietary treatments were formulated and mixed as a total mixed rations containing concentrate (70%) with roughage (30%). Nutrient intake, digestibility, energy metabolism, energy excretion, energy retention and efficiency of energy utilization were not significant different ($P>0.05$) between animals fed Ruzi straw and rice straw based diets. Dry matter and organic matter intake (on the basis of % BW and g/kg $BW^{0.75}$/d) in animals offered stair step feeding higher ($P<0.05$) than in animals fed *ad libitum* of rice straw based diet. Gross energy intake, digestible energy intake and metabolizable energy intake of animal fed stair step feeding were significantly higher ($P<0.01$) than in animals fed *ad libitum* of Ruzi straw and rice straw based diets. Feces and methane energy excretion were not significant different ($P>0.05$) between animals fed dietary treatments, but urine energy excretion (on the basis of urine energy/gross energy intake) in animals fed *ad libitum* of Ruzi straw was higher ($P<0.05$) than in animals fed rice straw. Heat production (on the basis of MJ/d and g/kg $BW^{0.75}$/d) of animals fed stair step feeding was higher ($P<0.05$) than in animals fed *ad libitum* of Ruzi straw and rice straw. However, energy utilization was not significant different ($P>0.05$) between animals fed dietary treatments. A significant linear relationship between metabolizable energy intake (MEI) and energy retention (ER) were obtained i.e. $ER = (0.637_{(SE = 16.46)} \times MEI) - 345.50_{(SE = 0.03)}$, ($R^2 = 0.96$; $P<0.001$; RSD = 7.81; n = 20). Thus, metabolizable energy requirement for maintenance (ME_m) of Thai native beef cattle was determined to be 541.31 kJ/kg $BW^{0.75}$/d. Net energy requirement for maintenance (NE_m) was determined to be 345.30 kJ/kg $BW^{0.75}$/d. Efficiency of utilization of metabolizable energy for maintenance (k_m) and for growth (k_g) were determined to be 0.60 and 0.35, respectively. The results indicated that efficiency of feed utilization in thai native beef cattle was not differ among animal fed rice straw or Ruzi straw as a low quality roughage based diets.

Keywaord: Thai Native cattle, Energy requirement, Feed intake

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT) 2

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ได้รับ 3

บทคัดย่อ 4

สารบัญ 6

1. บทนำ 7

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7

3. ระเบียบและวิธีดำเนินการวิจัย 12

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 20

5. สรุปและข้อเสนอแนะ 41

6. เอกสารอ้างอิง 42

1. บทนำ

การพัฒนาการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามการผลิตเนื้อโคที่ยังไม่ได้คุณภาพตามความต้องการของตลาดบางระดับ ทำให้ต้องมีการนำเข้าเนื้อคุณภาพสูงและโคมีชีวิตและผลิตภัณฑ์ ในปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่า 8,635 ล้านบาท (กรมปศุสัตว์, 2550) เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิประเทศตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงทำให้มีข้อจำกัดทางด้านชนิดแหล่งและปริมาณอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องวัตถุดิบขาดแคลนและ/หรือมีคุณภาพต่ำมีความผันแปรตามฤดูกาล เป็นสาเหตุหลักอีกด้านหนึ่งที่ทำให้การผลิตโคเนื้อมีประสิทธิภาพต่ำ ปัจจุบันได้มีปริมาณและการนำใช้ประโยชน์วัตถุดิบอาหารสัตว์จากผลพลอยได้ทางอุตสาหกรรมการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ กากปาล์ม กากมะพร้าว กากเบียร์ เป็นต้น ซึ่งใช้เป็นแหล่งโปรตีนและเยื่อใยอีกทั้งยังมีค่าความสามารถในการย่อยได้และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้อยู่ในเกณฑ์ดี (พีรพจน์ และ กฤตพล, 2550) แต่เนื่องจากโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโคอินเดีย ซึ่งมีความสามารถในการใช้ประโยชน์พลังงานหรือโภชนะได้แตกต่างจากโคยุโรป (นัทธมน และ กฤตพล, 2550) สอดคล้องกับ Chaokaur *et al.* (2007) ได้รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่า 458 KJ/kgBW$^{0.75}$/d แตกต่างจากในยุโรปหรือคำแนะนำ 468 KJ/kgBW$^{0.75}$/d (NRC, 1996) และ 465 KJ/kgBW$^{0.75}$/d (ARC, 1980)

ปัจจุบันการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกรในประเทศไทยประสบกับปัญหาวัตถุดิบ และแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์มีราคาแพง อีกทั้งการจัดการให้อาหารที่ไม่คำนึงถึงค่าความสมดุล และค่าความต้องการโภชนะของสัตว์ โดย เฉพาะในกรณีที่ได้รับอาหาร ที่มีโปรตีนสูงเกินความต้องการ หรือได้รับอาหารที่ไม่สมดุลของโปรตีนและพลังงาน ซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โปรตีน (ไนโตรเจน) ต่ำ และเกิดการสูญเสียไนโตรเจนด้วยการขับถ่ายออกทางมูลและปัสสาวะ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (Tamminga, 1992; Yan *et al*., 2007) ดังนั้นจึงได้ศึกษาวิจัย เพื่อหาแนวทางในการลดการขับถ่ายไนโตรเจนของโคเนื้อ

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อ และเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์แหล่งอาหารในท้องถิ่นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องทราบข้อมูล 2 ส่วน คือ 1) คุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ และ 2) ค่าความต้องการโภชนะของสัตว์ในแต่ละช่วงอายุ/ระยะการเจริญเติบโต (Pond *et al*., 2005)

งานวิจัยด้านเมทาบอลิซึมพลังงานของโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศเขตร้อน โดยเฉพาะการประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และการวัดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานด้วยวิธีการวัดสมดุลพลังงานในตัวสัตว์ (Animal calorimetric) (ARC, 1980) มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ในครั้งนี้เพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง สังเกตเห็นได้จากมีเกษตรกรสนใจหันกลับมาเริ่มเลี้ยงโคเนื้อเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการผลิตเนื้อโคที่ยังไม่ได้คุณภาพเนื้อตามความต้องการของตลาดบางระดับ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้องมีการนำเข้าเนื้อคุณภาพสูงและโคมีชีวิต ซึ่งยังไม่นับรวมการลักลอบนำเข้าตามแนวชายแดนอีกจำนวนมาก ทำให้ประเทศไทยขาดดุลการค้าในรายการโคเนื้อและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แล้ว ยังมีปัญหาด้านประสิทธิภาพการผลิตต่ำ เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิประเทศตั้งอยู่ในเขตร้อน (tropical condition zone) จึงทำให้มีข้อจำกัดทางด้านแหล่งและปริมาณ

อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องขาดแคลนและ/หรือมีคุณภาพต่ำมีความผันแปรตามฤดูกาล ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อต่ำ โคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโคตระกูล *Bos indicus* (โคเขตร้อน) ซึ่งมีความสามารถในการใช้ประโยชน์พลังงานหรือโภชนะได้แตกต่างจากโคตระกูล *Bos taurus* (โคเขตหนาว) NRC (1996) รายงานว่า โค *Bos indicus* มีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโค *Bos taurus* ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อ และเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์แหล่งอาหารในท้องถิ่นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องทราบข้อมูล 2 ส่วน (กฤตพล, 2548) คือ 1) คุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ และ 2) ค่าความต้องการโภชนะของสัตว์ในแต่ละช่วงอายุหรือระยะการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ของโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศเขตร้อน โดยเฉพาะโค *Bos indicus* ยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นการรวบรวมตรวจเอกสารงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโค *Bos indicus* กับ *Bos taurus*

วิธีการประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ

ระบบการประเมินค่าความต้องการพลังงานสุทธิ (Concept of Net energy system) ที่สัตว์ต้องการเพื่อการดำรงชีพและการสร้างผลผลิต มีหลากหลายวิธีการ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธี (NRC, 1996) คือ

1) การวัดสมดุลพลังงานในตัวสัตว์ หรือ Calorimetric method (ARC, 1980)
2) การทดสอบการกินอาหารแล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว หรือ long-term feeding trials (Taylor et al., 1986, 1981)
3) การชำแหละเพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่สะสมในซาก หรือ Comparative slaughter technique (Lofgreen and Garrett, 1968; Lofgreen, 1965)

โดยหลักการของการวัดความสมดุลพลังงาน วิธีการศึกษาหาค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ โดยอาศัยหลักการ Net energy system (ดูในรูปที่ 2 ประกอบ) ณ จุดที่ค่าพลังงานที่กินได้ (ME intake) ที่ทำให้ energy retention, ER = 0 (ไม่มีการกักเก็บพลังงานที่กินเข้าไปและไม่สูญเสียพลังงานที่เก็บกักไว้ และ/หรือไม่มีการเพิ่มหรือสูญเสียน้ำหนักตัว) ให้ถือว่าเป็นระดับของค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เพื่อการดำรงชีพ (ME requirement for maintenance, ME_m) (ARC, 1980; Johnson et al.,2003)

วิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และการเก็บกักพลังงาน

การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Efficiency of utilization of ME; *k*; ARC, 1980) เป็นการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารที่ให้กินในรูปของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ว่าถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (Efficiency of utilization of ME for maintenance; $k_{m,}$) และการเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency of utilization of ME for growth; k_g) โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$k_m = HeE / ME_m$$

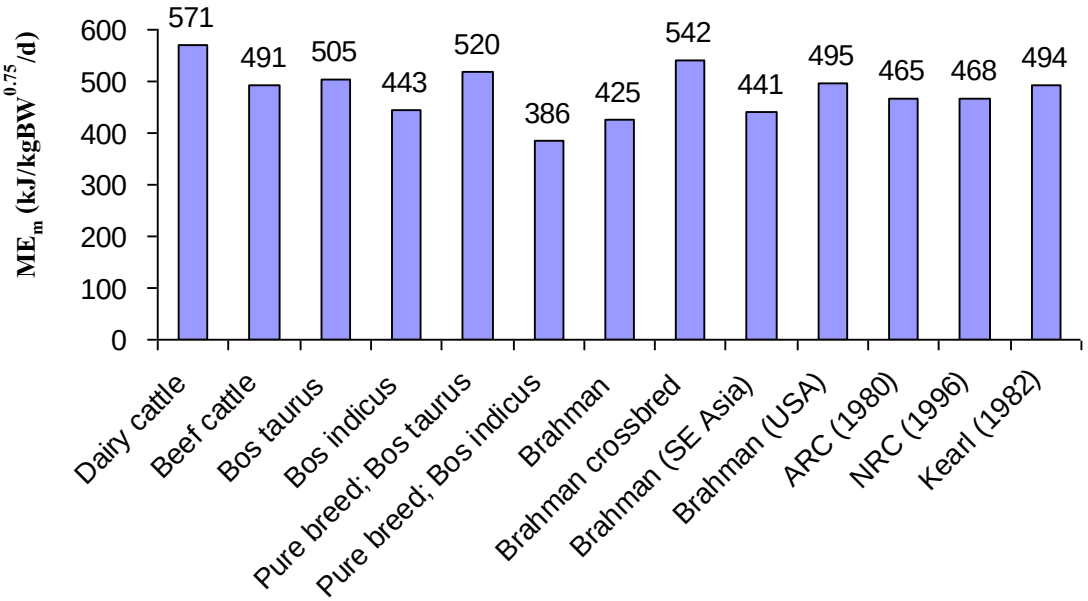
$$k_g = \Delta Energy\ retention / \Delta ME\ Intake$$

โดย k_m = ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ; HeE = พลังงานต่ำสุดขั้นพื้นฐานเพื่อการเมแทบอลิซึมของร่างกาย (basal metabolic rate, BMR) หรือพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ต่ำสุด ณ สภาวะที่สัตว์อดอาหาร (fasting heat production, FHP); ME_m = ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ โดยความผันแปรของค่า *k* มีผลมาจากปัจจัยสองด้านคือ 1) ธรรมชาติของอาหาร (องค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการย่อยได้) และ 2) การใช้ประโยชน์จากสารอาหารของตัวสัตว์ (McDonald et al., 2002)

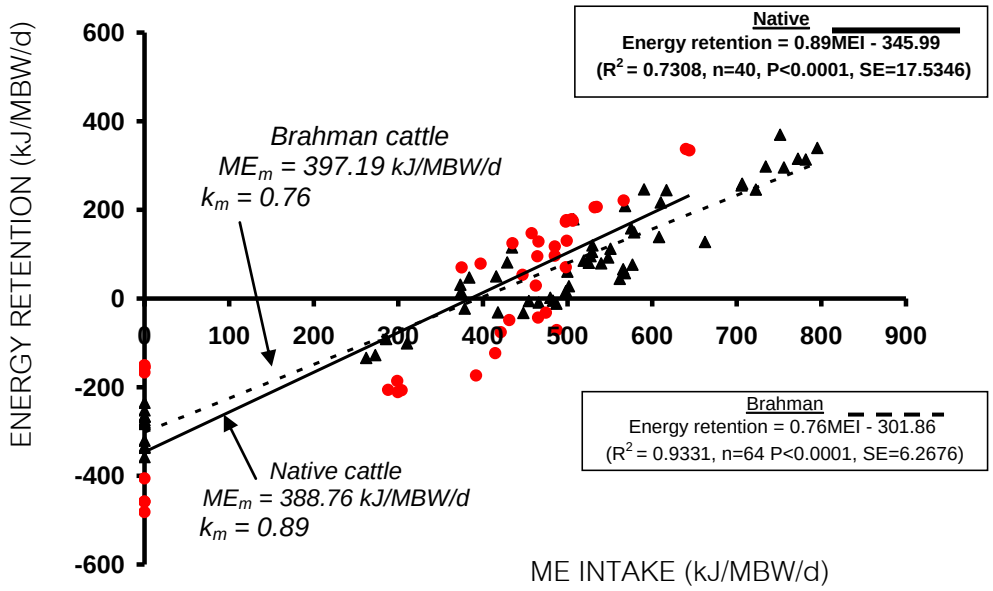
เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในโคเนื้อเขตร้อนและเขตหนาว

ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m)

จากการการรวบรวมและตรวจเอกสารงานวิจัยด้านความต้องการพลังงานในโคเนื้อคลอบคุมทั้งเขตร้อนและเขตหนาว จำนวน 22 เรื่อง ค่า ME_m ของโคเนื้อทั่วไป (Beef cattle) ที่มีถิ่นกำเนิดและทำการเลี้ยงทั้งในเขตร้อนและเขตหนาว พบว่า ค่า ME_m ของโคเนื้อทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 491 kJ/kgBW$^{0.75}$/d (MBW, kgBW$^{0.75}$) ต่ำกว่าในโคนม (571 kJ/MBW/d) และจะพบว่า โคเนื้อ *Bos indicus* มีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ต่ำกว่าโคเนื้อ *Bos taurus* ประมาณ 12.3 % (443 และ 505 kJ/MBW/d ตามลำดับ) ชี้ให้เห็นได้ว่าโคเนื้อ *Bos indicus* มีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพเฉลี่ยต่ำกว่าค่าที่แนะนำในอเมริกาโดย NRC (1996) อ้างโดย Johnson et al. (2003) ค่าที่แนะนำในยุโรปโดย ARC (1980) และค่าที่แนะนำในเขตร้อนโดย Kearl (1982) (ต่ำกว่า 4.7, 5.3 และ 10.3 % ตามลำดับ) (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) ซึ่งสอดคล้องกันกับ นัทธมน (2550) ที่ได้รายงานผลการประเมินค่า ME_m ของโคเนื้อที่เลี้ยงในสภาพการเลี้ยงดูของประเทศไทย โดยทำการศึกษาจากข้อมูลที่ทำการทดลองด้วยวิธีการวัดสมดุลพลังงานในตัวสัตว์ หรือ Calorimetric method (ARC, 1980) พบว่าโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย และพันธุ์บราห์มันมีค่า ME_m เท่ากับ 388.76 และ 397.19 kJ/MBW/d ตามลำดับ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)



รูปที่ 2. เปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ในโคนม โคเนื้อ และค่ามาตรฐานที่แนะนำในยุโรปและอเมริกา



รูปที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (Metabolizable energy intake) กับปริมาณพลังงานที่สามารถกักเก็บได้ (Energy retention) ในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย (▲) และโคเนื้อพันธุ์ บาร์หมัน (●) (MBW, kg of BW$^{0.75}$)

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก นัทธมน และ กฤตพล (2550)

นอกจากนี้แล้ว โคเนื้อ *Bos indicus* มีค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NE_m) หรือพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้น ณ สภาวะที่สัตว์อดอาหาร (fasting

heat production, FHP) สูงกว่าโคเนื้อ *Bos taurus* ประมาณ 6.3 % (338 และ 318 kJ/MBW/d ตามลำดับ) (ดูในตารางที่ 1) ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัย ที่มีผลต่อความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ ได้แก่ พันธุ์ เพศ อายุ ระยะ (stage) ระดับการให้ผลผลิต การทำกิจกรรมพื้นฐาน ความเครียด ฤดูกาล อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและการจัดการการให้อาหาร เป็นต้น (ARC,1980; NRC, 1996; Johnson et al.,2003)

Table 1. Means for Fasting heat production (FHP), Energy requirement for maintenance (ME_m), Efficiency of metabolizable energy use for maintenance (k_m)[1]

Item	FHP	ME_m	k_m	Reference
Breed				
Bos taurus	318	505	0.70	จากการตรวจเอกสารข้อมูลครั้งนี้
Bos indicus	338	443	0.73	จากการตรวจเอกสารข้อมูลครั้งนี้
Brahman	302	397	0.76	นัทธมน และกฤตพล (2550)
Thai native	346	389	0.89	นัทธมน และกฤตพล(2550)
Beef cattle	322	468	0.69	NRC (1996) อ้างโดย Johnson et al. (2003)
Beef cattle	319	465	0.71	ARC (1980)

[1]FHP, ME_m, expressed in kJ/metabolic body weight (MBW, kg of $BW^{0.75}$/d); k_m = (FHP/ME_m)

ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (k_m)

จากการเปรียบเทียบระหว่าง โคเนื้อ *Bos indicus* กับ *Bos taurus* พบว่า มีความผันแปรของค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.70 ถึง 0.89 (ดูตารางที่ 1 และ 2 ปะกอบ) ซึ่ง นัทธมน (2549) ได้ตรวจเอกสารงานวิจัยและรายงานว่า โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย และพันธุ์บราห์มันมีค่า k_m เท่ากับ 0.89 และ 0.76 ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4 ประกอบ) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า k_m ที่แนะนำในยุโรปโดย ARC (1980) (0.71) หรือออเมริกา NRC, 1996) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความสามารถสูงกว่าโคเนื้อพันธุ์ยุโร ในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารเขตร้อนได้ดีกว่า จึงอาจเป็นเหตุผลอันหนึ่งที่ทำให้โคเนื้อพันธุ์ยุโรปมีการสูญเสียน้ำหนัก และมีลักษณะซูบผอมกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย เมื่อเลี้ยงในสภาพพื้นที่ที่แหล่งของอาหารขาดแคลนและมีคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งซึ่งเกษตรกรนิยมนำสัตว์ออกไปปล่อยแทะเล็มหรือให้โคเนื้อกินฟางข้าวหรือหญ้าธรรมชาติซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอและมีคุณภาพต่ำ อาจกล่าวได้ว่าโคเนื้อ *Bos indicus* มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอาหารเพื่อการดำรงชีพได้ดีกว่าโค *Bos taurus*

โดยสรุปและข้อเสนอแนะจากการศึกษาและตรวจเอกสารในครั้งนี้ชี้ให้เห็นได้ว่า ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) หรือพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้น ณ สภาวะที่สัตว์อดอาหาร (FHP) และค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อ *Bos indicus* กับ *Bos taurus* มีความแตกต่างกัน โดยรวมแล้วโคเนื้อ *Bos indicus* มีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเนื้อ *Bos taurus* และโคเนื้อ *Bos indicus* พันธุ์บราห์มันที่เลี้ยงในประเทศเขตร้อนมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศเขตหนาว ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโคเนื้อที่เลี้ยงในสภาพอากาศเขตร้อนชื้น มีค่าที่แตกต่างจากค่าที่แนะนำโดย NRC (1996), ARC (1980) และ Kearl (1982)

ดังนั้นประเทศไทยจึงควรพิจารณาและคำนึงถึง มาตรฐานคำแนะนำค่าความต้องการพลังงานในโคเนื้อเขตร้อนของไทย เนื่องจากมีความสำคัญและจำเป็นเร่งด่วนเพื่อการจัดการการให้อาหารได้ถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อของประเทศไทยให้สูงขึ้นได้ รวมทั้งยังเป็นแนวทางในการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของแหล่งอาหารในท้องถิ่นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างยั่งยืนต่อไปได้

3. ระเบียบและวิธีดำเนินการวิจัย

ออกแบบการทดลองเพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเจริญเติบโตของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย ด้วยวิธีการวัดความสมดุลของพลังงานในตัวสัตว์ร่วมกับการวัดสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยใช้วัตถุดิบจากฐานข้อมูลที่ศึกษาร่วมกับกรมปศุสัตว์และ JIRCAS มาแล้วในปี 2549/ 2550/2551

3.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ดำเนินการ ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยขอนแก่น กรมปศุสัตว์ และ Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) ในระหว่างวันที่ 2 มีนาคม ถึง 9 กรกฎาคม 2552 ใช้โคเนื้อพื้นเมืองไทยสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพศผู้ จำนวน 12 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 342.25 ± 30.46 กิโลกรัม อายุเฉลี่ยประมาณ 3 ปี ก่อนเข้าสู่ระยะทดลองจะทำการปรับสัตว์นาน 14 วัน โดยการนำสัตว์ทดลองเข้าเลี้ยงในคอกขังเดี่ยวเพื่อให้เกิดความเคยชินกับคอก คนเลี้ยงและอาหารทดลอง พร้อมได้รับน้ำสะอาดตลอดระยะเวลาการทดลอง สัตว์แต่ละตัวจะได้รับการฉีดยาถ่ายพยาธิ (IVOMEC – F; Ivermectin 1.5% w/v, Closulon 15% w/v) เข้าใต้ผิวหนัง 1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักสัตว์ 50 กิโลกรัม และฉีดวิตามิน เอ ดี อี (AD_3E) (Phoenix Belgium; Vit. A 300,000 IU, Vit. D_3 100,000 IU, Vit. E acetate 50 mg) เข้ากล้ามเนื้อ 4 มิลลิลิตรต่อตัว ก่อนเข้างานทดลอง

3.2 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) โดยใช้สัตว์ทดลอง คือ โคเนื้อพื้นเมืองไทยสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพศผู้ จำนวน 12 ตัว (observation) จัดแบ่งกลุ่มสัตว์โดยใช้น้ำหนักที่ใกล้เคียงกันออกเป็น 4 กลุ่ม (block) กลุ่มละ 3 ตัว ใช้สูตรอาหารเป็นปัจจัยในการทดลอง 3 ทรีทเมนต์ (treatment) สัตว์ทดลองภายในกลุ่มเดียวกันจะถูกสุ่มให้ได้ปัจจัยการทดลองแตกต่างกัน โดยมีแผนผังการทดลอง (layout) ดังตารางที่ 3.1 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

3.2.1 ระยะปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลอง (preliminary period) ทำการนำสัตว์เข้าคอกขังเดี่ยวเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับคอก คนเลี้ยง และอาหารทดลอง พร้อมกับมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดการทดลองเป็นระยะเวลานาน 14 วัน

3.2.2 ระยะทดลอง (experimental period) ในระยะนี้สัตว์แต่ละตัวจะได้รับปัจจัยการทดลองที่แตกต่างกัน 3 แบบ ตามแผนการทดลองเป็นระยะเวลานาน 6 วัน

ตารางที่ 3.1 แผนผังการทดลอง[1/]

Block	Lay out		
Block 1	A1 B1 T1	A2 B1 T3	A3 B1 T2
Block 2	A4 B2 T1	A5 B2 T2	A6 B2 T3
Block 3	A7 B3 T3	A8 B3 T2	A9 B3 T1
Block 4	A10 B4 T2	A11 B4 T1	A12 B4 T3

[1/] A = Animal, B = Blocks, T = Treatments

3.3 ปัจจัยการทดลอง

ใช้ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยมีสัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบเท่ากับ 70 ต่อ 30 โดยสูตรอาหารทดลองแสดงในตารางที่ 3.2 ประกอบด้วยปัจจัยการทดลองจำนวน 3 ทรีทเมนต์ ดังนี้

T1 คือ ใช้ฟางหญ้ารูซี่เป็นอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น ให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

T2 คือ ใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น ให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

T3 คือ ใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น ให้กินอาหารแบบขั้นบันได

การให้กินอาหารแบบขั้นบันไดมีวิธีการจัดการ คือ โคในกลุ่มนี้จะได้รับการอดอาหารเป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นให้กินอาหารทดลองในระดับ 1.1 เท่าของความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ นาน 50 วัน หลังจากนั้น ให้กินอาหารทดลองแบบเต็มที่ (*ad libitum*) นาน 30 วัน โดยระดับความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (metabolizable energy requirement for maintenance; ME_m) ของโคพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 484 kJ/kgBW$^{0.75}$/d (WTSR, 2008)

3.4 อาหารและการให้อาหารทดลอง

3.4.1 วัตถุดิบอาหารสัตว์และการคำนวณสูตรอาหาร

ใช้ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าว ที่ผ่านการสับให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 5 - 7 เซนติเมตร เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก โดยมีส่วนประกอบของสูตรอาหารแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ที่ได้จากการคำนวณปริมาณวัตถุดิบอาหารที่จะให้สัตว์กินในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะครบตามความต้องการในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ตามคำแนะนำของ WTSR (2008) ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานและมีขั้นตอนในการคำนวณหาส่วนประกอบสูตรอาหารรายละเอียดในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรอาหารทดลองและองค์ประกอบทางเคมี

Items	Treatment	
	T1	T2 and T3
Ingredients (% of DM)		
Ruzi straw	30.00	-
Rice straw	-	30.00
Coconut meal	10.00	10.00
Palm meal	6.00	6.00
Cassava chip	28.00	28.00
Rice bran	24.50	24.50
Urea	0.50	0.50
Mixes mineral[1/]	0.50	0.50
Premix (vitamins)[2/]	0.50	0.50
Total	100.00	100.00
Analyzed chemical composition[3/], %		
DM	90.82	91.15
		---------- % of DM ----------
OM	93.24	93.18
CP	9.44	9.73
EE	4.85	4.97
NDF	32.41	33.72
ADF	21.41	22.82
GE, MJ/kgDM	18.10	17.67

[1/]Chemical composition were calcium = 164.00 g, cobalt = 0.04 g, copper = 1.00 g, iodine = 0.04 g, iron = 2.00 g, magnesium = 2.89 g, manganese = 11.00 g, phosphorus = 80.00 g, selenium = 0.03 g, sodium = 136.60 g, sulfur = 19.20 g, zinc = 3.58 g and carrier = 1,000.00 g

[2/]Chemical composition were vitamins (A = $2x10^6$ I.U., D_3 = $4x10^6$ I.U. and E = $3x10^3$ I.U.), minerals (cobalt = 0.02 g, copper = 1.60, iodine = 0.10, iron = 10.00 g, magnesium = 10.00 g, manganese = 8.00 g, selenium = 0.06 g and zinc = 6.00 g), anti-rancidity = 2.50 g and carrier = 1,000.00 g

[3/]DM = dry matter, OM = organic matter, CP = crude protein, EE = ether extract, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acids detergent fiber, GE = gross energy.

3.4.1.1 ค่าความต้องการโภชนะของสัตว์ที่จะประกอบสูตรอาหาร เพื่อให้ถูกต้อง และตรงตามความต้องการเพื่อการดำรงชีพ และเพิ่มระดับของการให้ผลผลิตของสัตว์ โดยหาได้จากตารางมาตรฐานการให้อาหารของ ARC (1980), NRC (1996, 2000) หรือ WTSR (2008, 2010) โดยสิ่งที่ควรทราบ ได้แก่ ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง, ความต้องการพลังงาน เช่น พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิ ความต้องการโปรตีนหยาบ ความต้องการแร่ธาตุและวิตามิน แล้วคำนวณหาความต้องการต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของอาหาร ยกตัวอย่างเช่น WTSR (2008) แนะนำว่า โคพื้นเมือง

ไทยที่มีน้ำหนักตัว 300 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 1000 กรัมต่อวัน จะต้องกินอาหารโดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 8.08 กิโลกรัมต่อวัน ต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 66.23 เมกะจูลต่อวัน และโปรตีนหยาบ 743 กรัมต่อวัน ดังนั้นในสูตรอาหาร ต้องมีพลังงานเท่ากับ 8.20 เมกะจูลต่อวัตถุแห้ง 1 กิโลกรัม และโปรตีนหยาบ 91.96 กรัมต่อวัตถุแห้ง 1 กิโลกรัม หรือ 9.196 เปอร์เซ็นต์

3.4.1.2 รายการวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหาร โดยควรเลือกวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และต้องทราบองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนะ รวมทั้งราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบ แล้วคำนวณราคาของโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด เพื่อช่วยในการเลือกวัตถุดิบมาประกอบสูตรอาหารให้มีราคาต่ำสุด

3.4.1.3 คำนวณหาสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้งของอาหาร

3.4.1.4 ทำการตรวจสอบปริมาณโภชนะในสูตรอาหารที่คำนวณได้ว่าเพียงพอหรือไม่อีกครั้ง

3.4.1.5 เมื่อได้ส่วนประกอบของสูตรอาหารแล้ว ควรเปลี่ยนจากน้ำหนักแห้ง (dry matter basis) ให้เป็นน้ำหนักสด (as fed basis) เพื่อความสะดวกในการผสม หรือให้อาหารเลี้ยงสัตว์

3.4.2 วิธีการให้อาหาร

ทำการชั่งอาหารข้นและอาหารหยาบในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 โดยชั่งแยกอาหารข้นและอาหารหยาบตามปริมาณที่โคจะได้รับในแต่ละมื้อ ลงในถุงพลาสติกก่อนที่จะนำไปให้โคกินในแต่ละมื้อ (ปริมาณอาหารที่ให้โคกินจะมีการปรับทุก ๆ 7 วัน เพื่อให้โคได้รับอาหารตามน้ำหนักตัวของโคแต่ละตัว) โดยมีวิธีการจัดการให้อาหาร คือ เทอาหารข้นและอาหารหยาบลงในรางอาหาร จากนั้นใช้มือผสมคลุกเคล้าอาหารให้เข้ากันดี เพื่อลดพฤติกรรมการเลือกกินอาหาร โดยมีการให้อาหารวันละ 2 มื้อ คือ มื้อเช้าเวลา 09.30 น. และมื้อเย็นเวลา 17.30 น.

3.5 การเก็บข้อมูลและสุ่มเก็บตัวอย่าง

3.5.1 การเก็บข้อมูลปริมาณการกินได้และการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร

ในช่วงสุดท้ายของการทดลองจะทำการย้ายโคขึ้นไปอยู่บนกรงเมแทบอลิซึมนาน 6 วัน เพื่อทำการจดบันทึกปริมาณอาหารหยาบ อาหารข้นที่ให้ และปริมาณอาหารที่สัตว์กินเหลือ โดยการนำอาหารออกจากรางอาหารทุกครั้งก่อนการให้อาหารใหม่ในช่วงเช้าของแต่ละวัน ตลอดระยะการสุมเก็บตัวอย่าง เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการกินได้ต่อวัน โดยหาได้จาก

ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมต่อวัน) = (ปริมาณอาหารที่ให้ในมื้อเช้า + มื้อเย็น) – ปริมาณอาหารที่เหลือ

พร้อมทั้งทำการเก็บรวบรวมอาหารที่ให้สัตว์กินและอาหารที่สัตว์กินเหลือในแต่ละวัน เพื่อทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร สำหรับนำไปบดผ่านตะแกรง เพื่อเตรียมวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.5.2 การเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

ย้ายโคขึ้นไปอยู่บนกรงเมแทบอลิซึมเพื่อการสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ ซึ่งได้ออกแบบกรงเลี้ยงให้โคสามารถยืนหรือนอน และเก็บข้อมูลได้อย่างสะดวก โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะเป็นระยะเวลา 6 วัน ทำการชั่งน้ำหนักและสุ่มเก็บมูลและปัสสาวะ ตามวิธีการทดลองโดยวิธีการเก็บข้อมูลทั้งหมด (total collection) ได้แก่ อาหารที่ให้กิน อาหารที่เหลือ มูลที่ขับออก และปัสสาวะที่

สัตว์ขับออกในแต่ละวัน เมื่อสิ้นสุดแต่ละระยะการทดลอง นำมูลของสัตว์เป็นรายตัวมาทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วทำการสุ่มเก็บอีกครั้งประมาณ 1 กิโลกรัม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อรอนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

ส่วนปัสสาวะจะทำการเก็บปัสสาวะที่สัตว์ขับออกในแต่ละวัน โดยใช้ภาชนะที่รองรับปัสสาวะ โดยภาชนะจะบรรจุกรดซัลฟูริค (H_2SO_4) ที่มีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณครั้งละ 100 - 150 มิลลิลิตร เพื่อรักษาปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะ และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะทำการสุ่มปัสสาวะของสัตว์เป็นรายตัวประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส) เพื่อรอนำไปวิเคราะห์หาพลังงานรวมทั้งหมด และไนโตรเจนที่สูญเสียออกมาในปัสสาวะ

3.5.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารและมูล

นำตัวอย่างอาหารหรือมูลไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยการอบร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตรและนำไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (dry matter; DM) เถ้า (ash) โปรตีนหยาบ (crude protein; CP) ไขมัน (ether extract; EE) และค่าพลังงานรวมทั้งหมดในอาหาร (gross energy; GE) ตามวิธีของ AOAC (1990) และทำการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในอาหาร ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991)

3.5.4 การวัดการหายใจเพื่อประเมินเมทธาบอลิซึมพลังงาน

โดยใช้เครื่อง respiration calorimetry with head hood แสดงดังภาพที่ 3.1 ในช่วงระยะการการเก็บตัวอย่างแก๊ส จะทำการย้ายโคขึ้นไปอยู่บนกรงเมแทบอลิซึมร่วมกับห้องวัดการหายใจ (respiration chamber) ซึ่งออกแบบให้โคสามารถยืนหรือนอน และวัดปริมาตรแก๊สได้อย่างสะดวก รวมทั้งมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาตรและความเข้มข้นของแก๊สในอากาศ ก่อนและหลังจากการผ่านเข้าไปในห้องวัดการหายใจ (อนันท์ และคณะ, 2551) ที่ประกอบด้วย ตู้สำหรับวัดการหายใจ มาตรวัดอัตราเร็วในการไหลผ่านของอากาศออกจากตู้ เครื่องวัดปริมาตรแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนและเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ (Suzuki et al., 2008) โดยทำการปรับปริมาตรแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนด้วยแก๊สมาตรฐานก่อนทำการวัดแก๊สทุกครั้งในช่วงเช้าเวลา 09.00 สำหรับสัตว์แต่ละตัว (Tangjitwatthanachai, 2010) จากนั้นทำการวัดและบันทึกปริมาตรแก๊สด้วยโปรแกรม testpoint ที่ทำการวัดอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล (ทุกๆ 4 นาที 32 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมง) เพื่อวัดการหายใจเป็นระยะเวลานาน 3 วัน และนำข้อมูลที่ได้มาประเมินค่าพลังงานความร้อนที่ผลิต (total heat production) จากการวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ร่วมกับปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายทางปัสสาวะ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการของ Brouwer (1965) ดังสมการ

$$\text{Total heat production (THP; kJ)} = 16.18\times O_2 + 5.02\times CO_2 - 2.17\times CH_4 - 5.99\times N$$

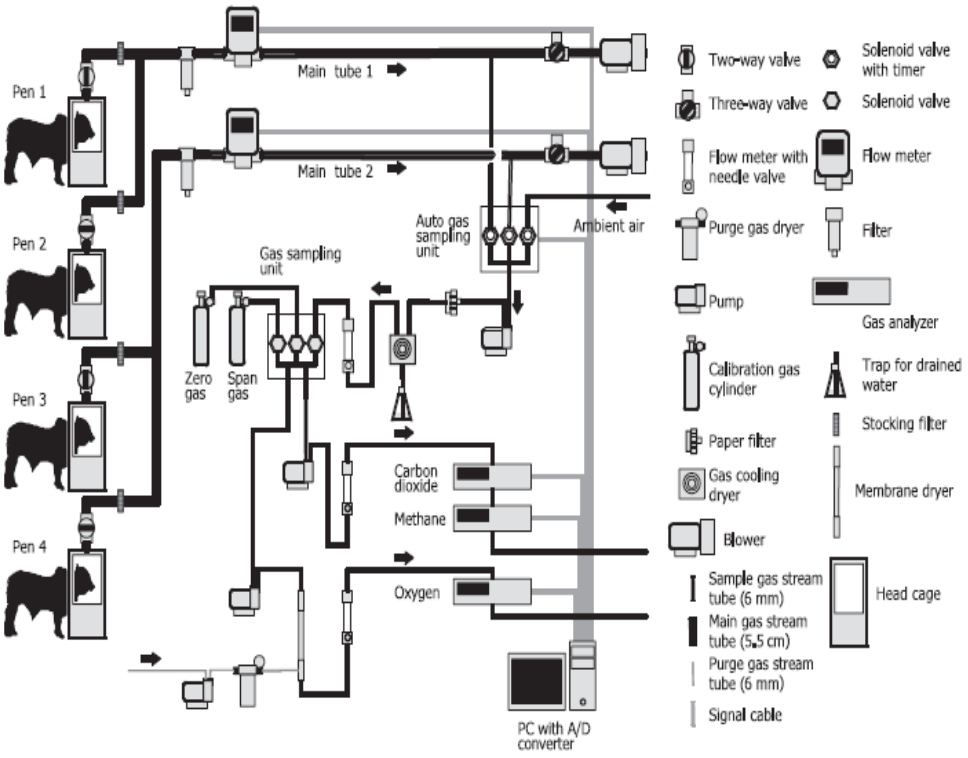
โดย

O_2 = ปริมาตรของแก๊สออกซิเจนที่ใช้ (ลิตร)

CO_2 = ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิต (ลิตร)

CH_4 = ปริมาตรของแก๊สมีเทนที่ผลิต (ลิตร)

N = ปริมาณของไนโตรเจนที่ขับออกมาทางปัสสาวะ (กรัม)



ภาพที่ 3.1 แผนผังระบบการวัดค่าพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ทางอ้อมด้วยการวัดการหายใจแบบ Head hood

ที่มา: Suzuki et al., 2008

3.5.5 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักสัตว์ทดลองก่อนเข้าการทดลอง และในช่วงการทดลองทุกๆ สัปดาห์ ตลอดงานทดลอง เพื่อใช้ในการปรับปริมาณอาหารที่ให้ตามน้ำหนักของร่างกาย บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและการคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเป็นรายตัว

3.6 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้

โดยนำโภชนะในมูลมาหักออกจากโภชนะในอาหารที่กินจะทราบปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ (digestible nutrient) คือ อาหารหรือโภชนะที่กินเข้าไป ส่วนที่ย่อยได้จะถูกดูดซึม ส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกในมูลและคิดเป็นร้อยละของโภชนะในอาหารนั้น จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (digestible coefficient) หรือความสามารถในการย่อยได้ (digestibility) ตามวิธีการของ Schnider and Flatt (1975) มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{Digestibility (\%)} = \frac{(\text{nutrient consumed} - \text{nutrient in feces}) \times 100}{\text{nutrient consumed}}$$

โดย

nutrient consumed = ปริมาณโภชนะที่กิน

nutrient in feces = ปริมาณโภชนะที่ขับออกในมูล

3.7 การประเมินค่าเมแทบอลิซึมของพลังงาน ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ และค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโต

3.7.1 การคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake; MEI)

โดยนำค่าพลังงานรวมทั้งหมดในอาหารที่กินได้ (GEI) หักลบด้วยค่าพลังงานที่ขับถ่ายออกทางมูล (FE) ค่าพลังงานที่ขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (UE) และค่าพลังงานที่สูญเสียออกมาทางรูปแก๊สมีเทน (CH_4) จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้

$$MEI = GEI - FE - UE - CH_4$$

โดย

MEI = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake, kJ/kgBW$^{0.75}$/d)
GEI = พลังงานรวมทั้งหมดในอาหารที่กินได้ (gross energy intake, kJ/kgBW$^{0.75}$/d)
FE = พลังงานที่ขับถ่ายออกทางมูล (fecal energy, kJ/kgBW$^{0.75}$/d)
UE = พลังงานที่ขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (urine energy, kJ/kgBW$^{0.75}$/d)
CH_4 = พลังงานที่สูญเสียออกมาทางรูปแก๊สมีเทน (methane energy loss, kJ/kgBW$^{0.75}$/d)

เมื่อนำค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) หักลบด้วยค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ร่างกายผลิตขึ้น (total heat production; THP, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) จะได้เป็นค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (energy retention; ER, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยการคำนวณจาก

$$ER = MEI - THP$$

3.7.2 การประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (metabolizable energy for maintenance; ME_m)

สามารถคำนวณได้จากสมการเส้นตรงตามวิธีการของ ARC (1980) โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake; MEI, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (energy retention; ER, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ มีค่าเท่ากับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ ณ จุดที่ค่าพลังงานที่เก็บกักได้มีค่าเท่ากับศูนย์ (กฤตพล, 2550ก)

3.7.3 การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (efficiency of metabolizable energy for maintenance; k_m)

ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคพื้นเมืองไทยจากการประมวลผลข้อมูลทางสถิติ สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) กับค่าพลังงานที่ร่างกายเก็บกักได้ (ER, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยค่าสมการที่ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการกินได้ของพลังงานต่ำกว่า 1.1 เท่าของการดำรงชีพ ($1.1 \times M$) เมื่อ M = 484 kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยการคำนวณจาก

$$k_m = FHP / MEI_{ER=0}$$

3.7.4 การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (efficiency of metabolizable energy for growth; k_g)

ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยจากการประมวลผลข้อมูลทางสถิติ สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) กับค่าพลังงานที่ร่างกายเก็บกักได้ (ER, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยค่าสมการที่ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการกินได้ของพลังงานสูงกว่า 1.1 เท่าของการดำรงชีพ (1.1×M) เมื่อ M = 484 kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยการคำนวณจาก

$$k_g = ER / MEI_{ER>0}$$

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบ Analysis of variance (ANOVA) สำหรับแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปัจจัยการทดลองโดย least significant difference (LSD) รวมถึงทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มปัจจัยทดลองด้วยวิธี orthogonal contrast ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยการใช้โปรแกรม SAS 6.12 (1996)

โดยมีโมเดลของการทดลองดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} = ค่าสังเกตจากบล็อกที่ i ทรีทเมนต์ที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด (overall mean)

β_i = อิทธิพลเนื่องจากบล็อก (block) ที่ i เมื่อ i = 1, ..., 4

τ_j = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ (treatment) ที่ j เมื่อ j = 1, ..., 3

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (error) เมื่อ i = 1, ..., 4 และ j = 1, ..., 3

3.9 สถานที่ทำการวิจัย

3.9.1 สถานีทดลองอาหารสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น โดยความร่วมมือทางวิชาการของ Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) ต. ท่าพระ อ. เมือง จ. ขอนแก่น

3.9.2 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ต. ท่าพระ อ. เมือง จ. ขอนแก่น

3.9.3 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.9.4 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.9.5 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ชุดโครงการวิจัยเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อ โคนม โคพื้นเมืองไทยอย่างยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลอง

ส่วนประกอบของสูตรอาหาร ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ได้จากการคำนวณปริมาณวัตถุดิบอาหารที่จะให้สัตว์กินในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะครบตามความต้องการในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ตามคำแนะนำของ WTSR (2008) โคพื้นเมืองไทยที่มีน้ำหนักตัว 300 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 1000 กรัมต่อวัน จะต้องกินอาหารโดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 8.08 กิโลกรัมต่อวัน ต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 66.23 เมกะจูลต่อวัน และโปรตีนหยาบ 743 กรัมต่อวัน ดังนั้นในสูตรอาหาร ต้องมีพลังงานเท่ากับ 8.20 เมกะจูลต่อวัตถุแห้ง 1 กิโลกรัม และโปรตีนหยาบ 91.96 กรัมต่อวัตถุแห้ง 1 กิโลกรัม หรือ 9.196 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูตรอาหารที่ใช้ในงานทดลองนี้ประกอบด้วยฟางข้าวหรือฟางหญ้ารูซี่ร่วมกับอาหารข้น โดยมีอัตราส่วนอาหารหยาบ 30 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้น 70 เปอร์เซ็นต์

ผลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานของสูตรอาหารทดลองที่แสดงดังตารางที่ 3.2 และ 4.1 พบว่า สูตรอาหารมีค่าองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน โดยมีวัตถุแห้ง (dry matter; DM) มีค่าระหว่าง 90.82 - 91.15 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ (organic matter; OM) มีค่าระหว่าง 93.18 - 93.24 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ (crude protein; CP) มีค่าระหว่าง 9.44 - 9.73 เปอร์เซ็นต์ เถ้ารวม (total ash) มีค่าระหว่าง 6.76 – 7.55 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน (ether extract; EE) มีค่าระหว่าง 4.85 - 4.97 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) มีค่าระหว่าง 32.41 - 33.72 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) มีค่าระหว่าง 21.41 - 22.82 เปอร์เซ็นต์ และพลังรวมทั้งหมดในอาหารพบว่ามีค่าระหว่าง 17.67 - 18.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคพื้นเมืองไทยของงานทดลองนี้ พบว่า มีค่าโปรตีนในสูตรอาหารใกล้เคียงกับ ที่แนะนำโดย NRC (2000) คือ ระดับโปรตีนหยาบในสูตรอาหารควรมีค่าประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าใกล้เคียงกับที่แนะนำโดย WTSR (2008) ดังนั้นสูตรอาหารจึงมีความเหมาะสมในการนำไปเลี้ยงโคเนื้อพื้นเมืองไทย

4.2 ปริมาณการกินได้ของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

4.2.1 ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ผลการศึกษา ปริมาณการกินได้โภชนะดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 พบว่า โคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งโดยคิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน (kg/d) มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.03-4.82 กิโลกรัมต่อวัน สอดคล้องกับงานทดลองของ Seephueak et al. (2010) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 361.8 กิโลกรัม ที่ได้กินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.86 – 4.20 กิโลกรัมต่อวัน และมีค่าสูงกว่าที่รายงานโดย นันทนา (2552) ที่พบว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 203.94 – 213.75 กิโลกรัม ที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งร่วมกับอาหารข้นสูตรพื้นฐานในปริมาณที่จำกัด (1.2 เท่าของความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ) พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.82 – 3.17 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้โคได้กินอาหารแบบเต็มที่และแบบขั้นบันได จึงทำให้

ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าที่สูงกว่าที่รายงานโดย นันทนา (2552) ที่มีการให้อาหารแบบจำกัดปริมาณ (1.2 เท่าของความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ) และมีค่าสูงกว่างานทดลองของ เฉลิมชัย (2551) ที่พบว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 227 กิโลกรัม ที่ได้รับฟางข้าวร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 3.27 กิโลกรัมต่อวัน ตลอดจนงานทดลองของ Cheva-Isarakul et al. (2009) ที่ศึกษาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของโคเนื้อพันธุ์ขาวลำพูนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 157.72 กิโลกรัม พบว่า โคที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งและฟางข้าว มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 2.76 และ 2.84 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและน้ำหนักตัวโคพบว่ามีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ WTSR (2008) ที่สร้างสมการทำนายปริมาณการกินได้ในโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศไทย พบว่าน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง แสดงว่าโคที่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากโคที่มีขนาดใหญ่กว่าย่อมมีการกินได้สูงกว่าโคที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลอง[1/]

Items	Roughage (30 %)		Concentrate (70 %)
	Ruzi straw	Rice straw	
Analyzed chemical composition, %			
DM	90.95	92.05	90.76
	---------- % of DM ----------		
OM	93.21	93.01	93.25
CP	3.01	3.95	12.20
Ash	6.79	6.99	6.75
EE	0.66	1.04	6.65
NDF	60.87	65.24	20.21
ADF	41.98	46.69	12.59
Energy content, MJ/kgDM			
GE	17.34	16.10	18.42

[1/] DM = dry matter, OM = organic matter, CP = crude protein, EE = ether extract, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, GE = gross energy

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการกินได้ของโภชนะของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับสูตรอาหาร

Items	Dietary treatment			SEM	Orthogonal contrast	
	T1	T2	T3		T3 vs. T1 and T2	T1 vs. T2
Number animal, head	4	4	4	-	-	-
Average body weight, kg	349.50	347.50	338.08	-	-	-
DM intake						
kg/day	4.03	4.07	4.82	0.40	0.06	0.92
% of BW	1.16^{b}	1.17^{b}	1.39^{a}	0.08	<0.01	0.81
g/kg BW $^{0.75}$/d	49.91^{b}	50.61^{b}	60.06^{a}	3.74	<0.01	0.84
OM intake						
kg/day	3.73	3.76	4.41	0.38	0.06	0.92
% of BW	1.08^{b}	1.07^{b}	1.27^{a}	0.07	0.01	0.95
g/kg BW $^{0.75}$/d	46.56^{b}	46.32^{b}	54.87^{a}	3.54	0.01	0.94
CP intake						
kg/day	0.35	0.36	0.44	0.04	0.10	0.78
% of BW	0.10	0.10	0.13	0.01	0.06	0.70
g/kg BW $^{0.75}$/d	4.28	4.48	5.48	0.38	0.06	0.72
NDF intake						
kg/day	1.27	1.45	1.58	0.11	0.06	0.17
% of BW	0.37^{b}	0.42^{ab}	0.46^{a}	0.02	0.03	0.12
g/kg BW $^{0.75}$/d	15.76^{b}	18.06^{ab}	19.76^{a}	1.09	0.03	0.10
ADF intake						
kg/day	0.77^{b}	0.99^{a}	1.07^{a}	0.07	0.02	0.02
% of BW	0.22^{b}	0.29^{a}	0.31^{a}	0.02	0.01	0.01
g/kg BW $^{0.75}$/d	9.51^{b}	12.36^{a}	13.41^{a}	0.75	0.01	0.01

$^{a, b}$ Means within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (% of BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน (g/kg BW$^{0.75}$/d) จากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยพบว่าโคที่ได้รับอาหาร T3 มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (1.39 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 60.06 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) ซึ่งสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 (1.16 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 49.91 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) และ T2 (1.17 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 50.61 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) แต่โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) อาจเป็นเพราะว่าโภชนะที่มีอยู่ในสูตรอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน อีกทั้งโคทั้ง 2 กลุ่มนี้มีวิธีการจัดการให้อาหารแบบเต็มที่เช่นเดียวกัน จึงไม่มีผลทำให้ปริมาณ

การกินได้ของวัตถุแห้งแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาโคกลุ่มที่ได้รับอาหาร T3 ที่มีวิธีจัดการให้อาหารแบบขั้นบันได พบว่ามีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายตามหลักการที่เรียกว่า การเจริญเติบโตทดแทน (compensatory growth) (Hornick et al., 1998) ที่เกิดขึ้นกับสัตว์เมื่อได้รับอาหารแบบเต็มที่ภายหลังจากที่อดอาหารและได้รับอาหารแบบจำกัดปริมาณเป็นระยะเวลาหนึ่ง ส่งผลให้สัตว์ต้องการสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย เพื่อที่จะทำให้สัตว์สามารถแสดงศักยภาพในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ผลการทดลองปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งจากงานทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ นันทนา (2552) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งร่วมกับอาหารข้นสูตรพื้นฐาน พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.36 – 1.49 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 51.65 – 56.62 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ทำนองเดียวกับ เฉลิมชัย (2551) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับฟางข้าวร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 55.85 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ตลอดจนงานทดลองของ Kawashima et al. (2000) ที่ทำการศึกษาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งร่วมกับกากถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 100:0, 91.5:8.5, 82.9:17.1 และ 74.3: 25.7 พบว่ามีค่า 53.9, 57.0, 57.6 และ 58.1 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ตามลำดับ

4.2.2 ปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ พบว่า โคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีปริมาณการกินได้อินทรียวัตถุโดยคิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน (kg/d) มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.73-4.41 กิโลกรัมต่อวัน แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (% of BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน (g/kg $BW^{0.75}$/d) จากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยโคที่ได้รับอาหาร T3 มีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ (1.27 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 54.87 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) ซึ่งสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 (1.08 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 46.56 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) และ T2 (1.07 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 46.32 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหาร T3 มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า จึงส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุมีค่าสูงขึ้นด้วย ผลการทดลองให้ผลสอดคล้องกับงานทดลองของ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 2.44 – 4.11 กิโลกรัมต่อวัน, 1.04 – 1.62 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 40.66 – 64.28 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และ เฉลิมชัย (2551) ที่พบว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 47.06 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน

4.2.3 ปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร โดยคิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน (kg/d) เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (% of BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอ ลิกต่อวัน (g/kg $BW^{0.75}$/d) จากการทดลองพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.35 – 0.44 กิโลกรัมต่อวัน, 0.10 – 0.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 4.28 – 5.48 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน สอดคล้องกับงานทดลองของ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบอยู่ระหว่าง 0.30 – 0.50 กิโลกรัมต่อวัน, 0.13 – 0.20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 5.00 – 7.84 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และ นันทนา (2553) ที่รายงานว่า โคเนื้อ

พื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 – 0.15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 4.23 – 5.71 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนหยาบที่มีอยู่ในสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกัน จึงไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบ

4.2.4 ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF ของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF โคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งโดยคิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน (kg/d) มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.27 – 1.58 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Nitipot (2010) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF อยู่ระหว่าง 0.83 – 1.75 กิโลกรัมต่อวัน แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (% of BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน (g/kg $BW^{0.75}$/d) จากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยโคที่ได้รับอาหาร T3 มีปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF (0.46 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 19.76 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) ซึ่งสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 (0.37 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 15.76 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) แต่มีค่าไม่แตกต่างกับ T2 (0.42 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือ 18.06 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) เมื่อพิจารณาปริมาณเยื่อใย NDF ที่มีอยู่ในสูตรอาหาร T3 รวมถึงมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งที่มีค่าสูงกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF มีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 ซึ่งให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของเยื่อใย NDF อยู่ระหว่าง 0.46 – 0.71 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และ 18.20 – 28.21 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน

4.2.5 ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย ADF ของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย ADF จากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่าโคที่ได้รับอาหาร T3 มีปริมาณการกินได้ของเยื่อใย ADF มีค่าเท่ากับ 1.07 กิโลกรัมต่อวัน, 0.31 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และ 13.41 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนัก เมแทบอลิกต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 (0.77 กิโลกรัมต่อวัน, 0.22 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และ 9.51 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) แต่มีค่าไม่แตกต่างกับ T2 (0.99 กิโลกรัมต่อวัน, 0.29 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และ 12.36 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน)) เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารพบว่า T2 และ T3 มีปริมาณเยื่อใย ADF ที่สูงกว่าสูตร T1 จึงส่งผลให้ปริมาณการกินได้ของเยื่อใย ADF สูง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าปริมาณการกินได้ของเยื่อใย ADF อยู่ระหว่าง 0.62 – 1.04 กิโลกรัมต่อวัน, 0.26 – 0.40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และ 10.37 – 16.02 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลปริมาณการกินได้ของโภชนะของโคเนื้อพื้นเมืองไทย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โคเนื้อที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งอาหารหยาบแตกต่างกัน (T1 และ T2) คือ ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบหลักมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอาหาร (ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน และเยื่อใย NDF) ไม่ต่างแตกกัน (P>0.05) อาจเป็นเพราะว่าโภชนะที่มีอยู่ในสูตรอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน ประกอบกับให้อาหารแบบเต็มที่เช่นเดียวกัน จึงไม่มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของโภชนะมีค่าแตกต่างกัน ส่วนโคที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกัน แต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน (T2 และ T3) พบว่า โคที่ได้รับอาหาร T3 (ให้อาหารแบบขั้นบันได) มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหาร T2 โดยมีค่าการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น 15.83 และ 15.73 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการกินได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 15.75 และ 15.58 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการเจริญเติบโตทดแทน (compensatory growth) ที่เป็นผลการตอบสนองของเซลล์ต่อระบบต่อมไร้ท่อ ที่เกิดขึ้นกับสัตว์เมื่อได้รับอาหารแบบเต็มที่ภายหลังจากที่อดอาหารและได้รับอาหารแบบจำกัดปริมาณเป็นระยะเวลาหนึ่ง ส่งผลให้สัตว์ต้องการสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย เพื่อที่จะทำให้สัตว์สามารถแสดงศักยภาพในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ การทดลองครั้งนี้ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานทดลองของ Sainz et al. (1995) ที่รายงานว่า โคเนื้อเพศผู้พันธุ์ British 1) กลุ่มที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดงานทดลอง (153 วัน) และ 2) กลุ่มที่ได้รับอาหารแบบจำกัด (restricted) นาน 57 วัน จากนั้นได้ได้รับอาหารแบบเต็มที่นาน 96 วัน พบว่า โคกลุ่มที่ 2) มีค่าการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น 17.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่ 1) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบ เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

4.3 ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร จากการทดลองพบว่า ค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.3) โดยค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าระหว่าง 63.81 – 64.86 เปอร์เซ็นต์ และค่าความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุมีค่าระหว่าง 66.63 – 68.53 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานโดย นันทนา (2552) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าระหว่าง 62.83 – 66.17 เปอร์เซ็นต์ และค่าความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุมีค่าระหว่าง 63.73 – 67.56 เปอร์เซ็นต์

ค่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนหยาบมีค่าระหว่าง 53.15 – 57.82 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าใกล้เคียงกับ Nitipot et al. (2008) ว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนหยาบอยู่ระหว่าง 41.47 – 63.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความสามารถในการย่อยได้ของไขมันมีค่าระหว่าง 85.63 – 87.43 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าความสามารถในการย่อยได้ของไขมันอยู่ระหว่าง 80.69 – 85.64 เปอร์เซ็นต์

ค่าความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย NDF มีค่าระหว่าง 39.40 – 44.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานโดย อนันท์ และคณะ (2551) ที่รายงานค่าความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย NDF ในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าอยู่ระหว่าง 36.08 – 45.25 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าระหว่าง 34.91 – 40.83 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารหญ้ารูซี่ในสูตรอาหาร และได้กินอาหารแบบเต็มที่ พบว่ามีค่าความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย ADF เท่ากับ 39.76 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองทำให้ทราบได้ว่าการใช้แหล่งอาหารหยาบต่างชนิด (ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าว) ตลอดจนวิธีการให้อาหารที่แตกต่างกัน พบว่าไม่มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

Items	Dietary treatment			SEM	Orthogonal contrast	
	T1	T2	T3		T3 vs. T1 and T2	T1 vs. T2
Number animal, head	4	4	4	-	-	-
Nutrients digestibility, %						
DM	64.86	64.60	63.81	2.43	0.75	0.94
OM	66.63	68.53	67.65	2.43	0.98	0.59
CP	53.15	57.82	55.84	3.86	0.94	0.43
EE	87.19	85.63	87.43	1.69	0.63	0.53
NDF	39.40	44.91	42.14	2.95	0.99	0.36
ADF	34.91	40.09	40.83	6.51	0.25	0.63

[a, b] Means within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

4.4 ปริมาณการกินได้ของพลังงาน เมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

4.4.1 ปริมาณการกินได้ของพลังงานของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ปริมาณการกินได้ของพลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทย (ตารางที่ 4.4) จากการทดลองพบว่า โคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้มีค่าเท่ากับ 99.84 เมกะจูลต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่า (P<0.01) โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 โดยมีค่าเท่ากับ 72.79 และ 72.72 เมกะจูลต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ (กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ตารางที่ 4.6) ที่พบว่าโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าสูงกว่า (P<0.01) โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 ซึ่งโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ เท่ากับ 1197.79, 805.71 และ 701.37 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ส่วนโคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 มีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้เท่ากับ 900.63 และ 904.48 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้เท่ากับ 576.14 และ 611.12 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ เท่ากับ 487.11 และ 527.70 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ตามลำดับ

งานทดลองนี้ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับ Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งในสูตรอาหาร มีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ อยู่ระหว่าง 1063.91 – 1279.63 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้อยู่ระหว่าง 675.41 – 829.61 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้อยู่ระหว่าง 590.83 – 775.16 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ทำนองเดียวกับ นันทนา (2552) ที่รายงานว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งร่วมกับอาหารข้นสูตรพื้นฐาน มีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้อยู่ระหว่าง 945 - 1020 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้อยู่

ระหว่าง 599 - 661 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้อยู่ระหว่าง 500 - 547 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และ El-Kadi et al. (2008) รายงานว่าโคเนื้อเพศผู้พันธุ์ Angus ที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 328 กิโลกรัม มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้อยู่ระหว่าง 489.70 – 811.99 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการกินได้ของพลังงาน เมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับสูตรอาหาร

Items	Dietary treatment			SEM	Orthogonal contrast	
	T1	T2	T3		T3 vs. T1 and T2	T1 vs. T2
Number animal, head	4	4	4	-	-	-
Gross energy intake, MJ/d	72.79[b]	72.72[b]	99.84[a]	4.80	<0.01	0.99
Feces excretion						
Feces, kg DM/d	1.42	1.46	1.96	0.17	0.06	0.85
Feces energy, MJ/d	26.08	23.89	32.49	3.08	0.06	0.60
Feces energy/GEI, %	35.79	32.43	32.89	3.36	0.75	0.45
Urine excretion						
Urine volume, L/d	9.49	4.95	9.14	1.66	0.45	0.14
Urine energy, MJ/d	1.22	0.94	1.19	0.14	0.49	0.15
Urine energy/GEI, %	1.69[a]	1.27[b]	1.19[b]	0.10	0.06	0.03
Methane production (CH_4)						
CH_4 production, L/d	151.41	144.82	190.31	13.14	0.06	0.75
CH_4 energy, MJ/d	5.98	5.72	7.52	0.52	0.06	0.75
CH_4 energy/GEI, %	8.26	7.95	7.49	0.55	0.43	0.72
CH_4 production, L /kg DMI	37.97	35.94	34.11	1.59	0.45	0.63
CH_4 production, L /kg OMI	40.66	39.28	37.18	1.68	0.48	0.76
CH_4 production, L /kg NDFI	120.01	100.62	108.01	5.30	0.84	0.16
Heat production						
Heat energy, MJ/d	41.94[b]	41.77[b]	51.63[a]	2.18	0.01	0.96
Heat energy/GEI, %	58.23	57.37	51.60	2.00	0.06	0.78

[a, b] Means within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

จากงานทดลองแสดงให้เห็นว่า โคเนื้อที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งอาหารหยาบแตกต่างกัน (T1 และ T2) มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอาหารได้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งการกินได้ของพลังงานขึ้นอยู่กับโภชนะพลังงานที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อพิจารณาโภชนะพลังงานของโคที่ได้รับสูตรอาหารทั้ง 2 สูตร พบว่ามีค่าพลังงานใกล้เคียงกัน รวมถึงปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน จึงไม่มีผลทำให้โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 มีค่าการกินได้ของพลังงานต่างกัน แต่โคกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบชนิดเดียวกัน แต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน (T2 และ T3) พบว่าโคที่ได้รับอาหาร T3 (ให้อาหารแบบขั้นบันได) จะมีค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ มีค่าเพิ่มขึ้น 24.49, 24.15 และ 24.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ได้รับอาหาร T2 ถึงแม้ว่าโคทั้ง 2

กลุ่มนี้จะได้รับอาหารสูตรเดียวกัน มีโภชนะพลังงานเท่ากัน แต่เนื่องจากการจัดการให้อาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้โคที่ได้รับอาหาร T3 ตอบสนองต่อหลักการเจริญเติบโตทดแทน (compensatory growth) โดยมีค่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า T2 จึงมีผลทำให้การกินได้ของพลังงานมีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Chizzotti et al. (2007) ที่รายงานว่าโคเนื้อเพศผู้ลูกผสมพันธุ์ F1 Nellore x Red Angus ที่ได้รับอาหารข้นที่ระดับ 0.75 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และได้รับอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) พบว่ามีค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้เท่ากับ 86.22 และ 115.10 เมกะจูลต่อวัน และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เท่ากับ 70.73 และ 94.17 เมกะจูลต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 25.09 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 24.89 เปอร์เซ็นต์ และงานทดลองของ Sainz et al. (1995) ที่รายงานว่าโคเนื้อเพศผู้พันธุ์ British 1) กลุ่มที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดงานทดลอง (153 วัน) และ 2) กลุ่มที่ได้รับอาหารแบบจำกัด (restricted) นาน 57 วัน จากนั้นได้ได้รับอาหารแบบเต็มที่นาน 96 วัน พบว่า โคกลุ่มที่ 2) มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เพิ่มขึ้น 14.13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่ 1)

4.4.2 เมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

4.4.2.1 พลังงานที่สูญเสียออกทางมูล

เมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของโคเนื้อพื้นเมืองไทยจากการทดลองพบว่า ปริมาณมูลที่ขับออกนอกร่างกายมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยมีค่าระหว่าง 1.42 – 1.96 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อวัน (kg DM/d) พลังงานที่สูญเสียในมูลมีค่าระหว่าง 23.89 – 32.49 เมกะจูลต่อวัน (MJ/d) และสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในมูลต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ มีค่าระหว่าง 32.43 – 35.79 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับ งานทดลองของ นันทนา (2552) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในมูลต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ มีค่าระหว่าง 33.23 – 36.70 เปอร์เซ็นต์ ทำนองเดียวกับ เฉลิมชัย (2551) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 1.52 กิโลกรัมต่อวัน สอดคล้องกับการรายงานของ กฤตพล (2550ก) ที่รายงานว่าปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกทางมูลจะเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าส่วนพลังงานที่สูญเสียในรูปอื่น แต่อย่างไรก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ชนิดอาหาร โดยสัดส่วนพลังงานที่สูญเสียออกทางมูลอาจมีมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์

4.4.2.2 พลังงานที่สูญเสียออกทางปัสสาวะ

ปริมาณปัสสาวะที่ขับออกนอกร่างกายเมื่อคิดเป็นหน่วยลิตรต่อวัน (L/d) และเมกะจูลต่อวัน (MJ/d) จากการทดลองพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยมีค่าระหว่าง 4.95 – 9.49 ลิตรต่อวัน และพลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะมีค่าระหว่าง 0.94 – 1.22 เมกะจูลต่อวัน แต่เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ พบว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 (1.69 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) โคที่ได้รับอาหาร T2 และ T3 ซึ่งมีค่า 1.27 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ให้ผลใกล้เคียงกับงานทดลองของ นันทนา (2552) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าพลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะระหว่าง 0.85 – 1.29 เมกะจูลต่อวัน และสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ มีค่าระหว่าง 1.65 – 2.29 เปอร์เซ็นต์ ทำนองเดียวกับ อนันท์ และ กฤตพล (2552) ที่รายงานปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกทางปัสสาวะของโคมีค่าระหว่าง 0.80 – 2.33 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการรายงานของ กฤตพล (2550ก) ที่รายงานว่าปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกทางปัสสาวะของสัตว์แต่ละชนิดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อย่างไรก็ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์กินด้วย

4.4.2.3 พลังงานที่สูญเสียออกทางแก๊สมีเทน

การปลดปล่อยแก๊สมีเทนที่คิดเป็นลิตรต่อวัน (L/d) พลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทน (MJ/d) และสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ (ตารางที่ 4.4) พบว่าโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 144.82 - 190.31 ลิตรต่อวัน พลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทน 5.72 - 7.52 เมกะจูลต่อวัน และสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ 7.49 – 8.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย อนันท์ และคณะ (2551) ซึ่งทดลองในโคพันธุ์ บราห์มันมีค่าเฉลี่ย 166 - 228 ลิตรต่อวัน และที่รายงานโดย Kawashima et al. (2000) ทดลองในโคพันธุ์บราห์มันมีค่า 136 - 159 ลิตรต่อวัน และที่รายงานโดย Johnson and Johnson (1995) ที่รายงานสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2 - 12 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Pond et al. (1995) ที่รายงานว่าสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้มีค่าประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การให้อาหารเลี้ยงโคโดยมีอาหารหยาบคุณภาพต่ำเป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก มีผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนและค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยแก๊สมีเทนและค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทน ของโคที่ได้รับอาหาร T3 มีแนวโน้มสูงกว่า (P<0.10) โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการกินได้วัตถุแห้งสูงกว่าและมีผลโดยตรงต่อการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ทั้งนี้ Yan et al. (2006) ได้สร้างสมการทำนายการปลดปล่อยแก๊สมีเทน พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับการปลดปล่อยแก๊สมีเทน หากโคเนื้อมีปริมาณการกินได้วัตถุแห้งเพิ่มสูงขึ้นการปลดปล่อยแก๊สมีเทนก็เพิ่มขึ้นด้วย ทำนองเดียวกับ นันทนา และคณะ (2552) พบว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีการกินได้วัตถุแห้ง 2.92, 2.93, 3.01 และ 3.23 กิโลกรัมต่อวัน มีการผลิตแก๊สมีเทน 119.46, 132.52, 132.82 และ 139.84 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ตลอดจน Estermann et al. (2002) รายงานว่าการปลดปล่อยแก๊สมีเทนมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้เยื่อใย NDF หากโคมีปริมาณการกินได้เยื่อใย NDF เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้การปลดปล่อยแก๊สมีเทนเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ Nitipot et al. (2008) ได้รายงานว่า การลดระดับเยื่อใย NDF ในสูตรอาหารสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนได้

สัดส่วนของการปลดปล่อยแก๊สมีเทนต่อปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและเยื่อใย NDF ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีสัดส่วนแก๊สมีเทน (ลิตรต่อวัน) ต่อปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (กิโลกรัมต่อวัน) มีค่าอยู่ระหว่าง 34.11 - 37.97 สัดส่วนแก๊สมีเทนต่อปริมาณการกินได้อินทรียวัตถุ มีค่าอยู่ระหว่าง 37.18 - 40.66 และสัดส่วนแก๊สมีเทนต่อปริมาณการกินได้เยื่อใย NDF มีค่าอยู่ระหว่าง 100.62 - 120.01 ซึ่งสอดคล้องกับ Nitipot et al. (2008) รายงานสัดส่วนแก๊สมีเทนต่อปริมาณการกินได้อินทรียวัตถุและปริมาณการกินได้เยื่อใย NDF มีค่าอยู่ระหว่าง 38.32 - 52.16 และ 52.21 - 128.84 ตามลำดับ แก๊สมีเทนนับว่าเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักในรูเมนของแบคทีเรียในกลุ่ม *Methanogenic bacteria* ที่ทำหน้าที่นี้ คือ *Methanobacterium ruminantium* และ *Methanobacterium mobilis* แก๊สมีเทนจะถูกขับออกจากร่างกายสู่บรรยากาศ (Machmuller and Clark, 2006) ซึ่งนอกจากจะมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน (global warming) อีกด้วย

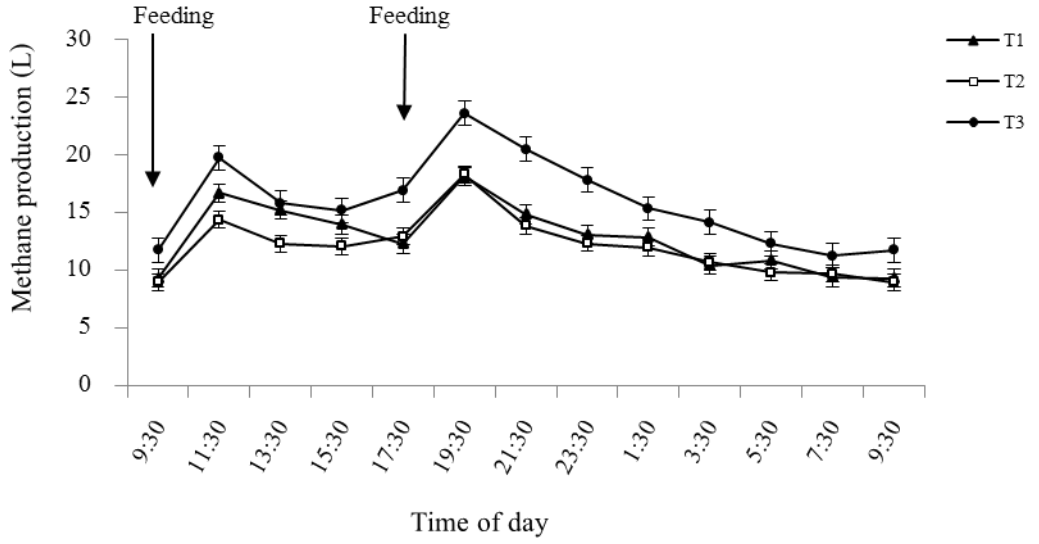
เมื่อพิจารณารูปแบบการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ของวันและผลผลิตแก๊สมีเทนสะสมตลอดทั้งวัน ดังตารางที่ 4.5 พบว่า โคที่ได้รับอาหาร T3 มีการปลดปล่อยแก๊สมีเทนในช่วงหลังการให้อาหาร ณ เวลา 19:30, 21:30 และ 23:30 มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2

แต่ช่วงหลังการให้อาหาร ณ เวลา 11:30 พบว่า โคที่ได้รับอาหาร T3 มีการปลดปล่อยแก๊สมีเทนไม่แตกต่างจากโคที่ได้รับอาหาร T1 แต่มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหาร T2 (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) รูปแบบการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ของวัน จากการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับ นันทนา และคณะ (2552) ได้รายงานการปลดปล่อยแก๊สมีเทนในช่วงหลังการให้อาหาร ณ เวลา 11:30, 13:30, 15:30 และ 19:30 พบความแตกต่างของการปลดปล่อยแก๊สมีเทนในโคพื้นเมืองไทยได้ชัดเจน ทำนองเดียวกับ Mao et al. (2010) ที่รายงานว่า ผลผลิตแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นเร็วมากภายหลังจากได้รับอาหาร 2 ชั่วโมง และจะค่อยๆ ลดลงจนกว่าจะได้รับอาหารมื้อถัดไป อีกทั้งรูปแบบการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ของวัน ยังมีรูปแบบเป็นไปในทิศทางเดียวกันถึงแม้จะได้รับอาหารหยาบแตกต่างกัน อีกทั้งปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนภายหลังการให้อาหารในตอนบ่ายมีปริมาณสูงกว่าในตอนเช้า เนื่องจากอาหารที่โคได้รับในตอนเช้า โดยเฉพาะอาหารประเภทเยื่อใย จะใช้เวลาในการหมักย่อยนาน ทำให้อาหารยังคงอยู่ในกระเพาะ ประกอบกับการได้รับอาหารเข้าไปในตอนบ่าย มีผลทำให้เกิดกระบวนการหมักย่อยเพิ่มขึ้น การผลิตแก๊สมีเทนจึงสูงกว่าในตอนเช้า

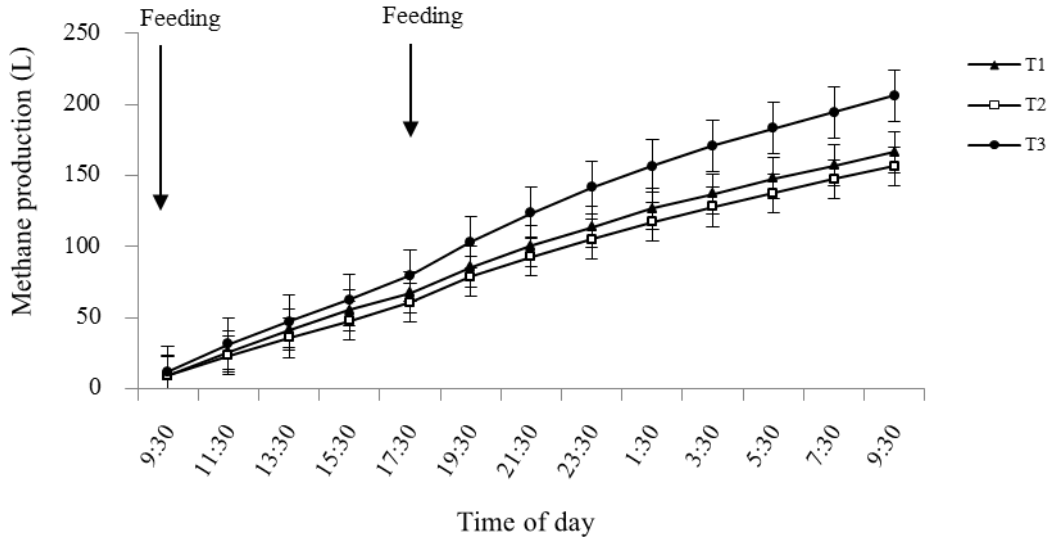
ตารางที่ 4.5 รูปแบบการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ของวัน

Methane production (L)	Dietary treatment			SEM	Orthogonal contrast	
	T1	T2	T3		T3 vs.T1 and T2	T1 vs. T2
Time						
09:30 (feeding)	9.32	8.97	11.76	1.36	0.24	0.89
11:30	16.70[a b]	14.38[b]	19.79[a]	1.41	0.03	0.26
13:30	15.23	12.32	15.82	1.67	0.27	0.18
15:30	13.98	12.09	15.21	1.46	0.31	0.44
17:30 (feeding)	12.29	12.93	16.94	1.29	0.06	0.77
19:30	18.15[b]	18.34[b]	23.62[a]	1.17	<0.01	0.92
21:30	14.87[b]	13.87[b]	20.51[a]	1.40	<0.01	0.56
23:30	13.12[b]	12.35[b]	17.81[a]	1.37	0.02	0.70
01:30	12.89	11.97	15.36	1.46	0.11	0.65
03:30	10.45	10.71	14.15	1.16	0.08	0.90
05:30	10.87	9.82	12.31	1.18	0.20	0.54
07:30	9.40	9.72	11.28	1.70	0.26	0.85

[a, b] Means within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).



ภาพที่ 4.1 รูปแบบการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ของวัน



ภาพที่ 4.2 ผลผลิตแก๊สมีเทนสะสมตลอดทั้งวัน

4.4.2.4 การผลิตความร้อน (heat production)

การผลิตความร้อนเมื่อคิดเป็นเมกะจูลต่อวัน (MJ/d) (ตารางที่ 4.4) จากการทดลอง พบว่าโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าผลผลิตความร้อนเท่ากับ 51.63 เมกะจูลต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) โคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 โดยมีค่าเท่ากับ 41.94 และ 41.77 เมกะจูลต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ของโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าสูงกว่า T1 และ T2 จึงมีผลทำให้ค่าผลผลิตความร้อนของโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคิดเป็นสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปผลผลิตความร้อนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ พบว่าโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 51.60 – 58.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลการทดลองใกล้เคียง

กับ นันทนา (2552) ที่พบว่าสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียในรูปผลผลิตความร้อนต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กินได้ มีค่าระหว่าง 51.81 – 53.80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย อนันท์ และคณะ (2551) ซึ่งทดลองในโคพันธุ์บราห์มัน พบว่ามีค่าผลผลิตความร้อนอยู่ระหว่าง 33.77 – 54.70 เมกะจูลต่อวัน ค่าผลผลิตความร้อนเป็นส่วนของพลังงานที่สูญเสียออกจากร่างกายสัตว์สู่สิ่งแวดล้อม การสูญเสียพลังงานส่วนนี้มีสัดส่วนปริมาณมากรองจากพลังงานที่สูญเสียไปในมูล (Pond et al., 2005)

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลการเมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารหยาบต่างชนิดกัน อีกทั้งโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดเดียวกันแต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยแก๊สมีเทนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน พบว่าโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีการปลดปล่อยแก๊สมีเทนไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการจัดการให้อาหารโค โดยเฉพาะในช่วงฤดูที่ขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบที่มีคุณภาพสูง ประกอบกับข้อมูลด้านเมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของโคเนื้อพื้นเมืองไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการให้อาหารโคได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ประโยชน์จากอาหาร รวมถึงการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปลดปล่อยแก๊สมีเทนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้น การศึกษาเมแทบอลิซึมของพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกายของโคเนื้อพื้นเมืองไทยจึงมีความสำคัญและควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการจัดการให้อาหารและสภาพการเลี้ยงดูของเกษตรกรไทย

4.5 การใช้ประโยชน์ของพลังงาน และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

4.5.1 การใช้ประโยชน์ของพลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับสูตรอาหาร

การใช้ประโยชน์ของพลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร จากการทดลองพบว่า โคที่มีวิธีการจัดการให้อาหารเหมือนกัน แต่ได้รับอาหารหยาบต่างชนิดกัน (T1 และ T2) พบว่า ปริมาณการกินได้ของพลังงานมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากโภชนะพลังงานในสูตรอาหารและค่าพลังงานทั้งหมดที่กินได้ของโคทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกัน ประกอบกับค่าพลังงานที่ขับออกทางมูล พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ และพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทน มีค่าไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดเดียวกัน แต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน (T2 และ T3) พบว่าปริมาณการกินได้ของพลังงานมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) (ตารางที่ 4.6) ถึงแม้โคทั้ง 2 กลุ่มนี้จะได้รับอาหารสูตรเดียวกัน และมีโภชนะพลังงานในสูตรอาหารเท่ากัน แต่อิทธิพลของการเจริญเติบโตทดแทน (compensatory growth) ที่ส่งผลทำให้โคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าพลังงานทั้งหมดที่กินได้สูงกว่า T2 ในขณะที่ค่าพลังงานที่ขับออกทางมูล พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ และพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนมีค่าไม่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้ค่าพลังงานที่ย่อยได้ที่กินได้และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ของโคที่ได้รับอาหาร T3 มีค่าสูงกว่า T2 ส่วนค่าพลังงานที่ขับออกทางมูล พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ และพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทน ของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าพลังงานที่ขับออกทางมูลอยู่ในช่วง 293.36 – 392.08 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าพลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะอยู่ในช่วง 11.58 – 15.21 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และมีค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนอยู่ในช่วง 71.84 – 90.05 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

น้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ผลผลิตความร้อนของโคที่ได้รับอาหาร T3 (618.69 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) มีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหาร T1 และ T2 โดยมีค่าเท่ากับ 519.89 และ 518.13 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวันตามลำดับ ส่วนพลังงานที่เก็บกักได้ของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -32.79 – 82.68 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน งานทดลองนี้มีค่าที่ใกล้เคียงกับ Nitipot et al. (2008) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าพลังงานที่ขับออกทางมูลอยู่ในช่วง 206 – 405 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ค่าพลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะอยู่ในช่วง 12 – 18 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และมีค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนอยู่ในช่วง 65 – 93 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ทำนองเดียวกับ Nkrumah et al. (2006) ที่รายงานว่าโคเนื้อมีค่าพลังงานที่ขับออกทางมูลอยู่ในช่วง 369.24 – 437.01 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน และผลผลิตความร้อนอยู่ในช่วง 541.27 – 686.30 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน

ตารางที่ 4.6 การใช้ประโยชน์ของพลังงานและประสิทธิภาพพลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทย

Items	Dietary treatment			SEM	Orthogonal contrast	
	T1	T2	T3		T3 vs. T1 and T2	T1 vs. T2
Number animal, head	4	4	4	-	-	-
Energy partition, kJ/kgBW$^{0.75}$/d						
GE intake	900.63^{b}	904.48^{b}	1197.79^{a}	45.78	<0.01	0.94
DE intake	576.14^{b}	611.12^{b}	805.71^{a}	44.97	<0.01	0.54
ME intake	487.11^{b}	527.70^{b}	701.37^{a}	40.65	<0.01	0.44
Feces excretion	324.49	293.36	392.08	36.62	0.07	0.53
Urine excretion	15.21	11.58	14.29	1.51	0.55	0.08
Methane production	73.82	71.84	90.05	6.45	0.06	0.83
Heat production	519.89^{b}	518.13^{b}	618.69^{a}	18.34	<0.01	0.95
Energy retention	-32.79	9.58	82.68	35.37	0.06	0.41
Energy content, MJ/kg DM						
Gross energy	18.10	17.88	17.57	0.24	0.15	0.47
Digestible energy	11.63	12.09	11.66	0.70	0.77	0.56
Metabolizable energy	9.82	10.45	10.05	0.65	0.89	0.41
Energetic efficiency						
DE/GE	0.64	0.68	0.66	0.03	0.91	0.41
ME/GE	0.54	0.59	0.57	0.03	0.79	0.28
ME/DE	0.85	0.86	0.86	0.01	0.41	0.17

$^{a, b}$ Means within the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

4.5.2 ค่าพลังงานรวมทั้งหมด ค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ค่าพลังงานรวมทั้งหมด ค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหาร พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยค่าพลังงานรวมทั้งหมดมีค่าระหว่าง 17.57 – 18.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าพลังงานที่ย่อยได้ของสูตรอาหารมีค่าระหว่าง 11.63 – 12.09 เมกะจูลต่อ

กิโลกรัม และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารมีค่าระหว่าง 9.82 – 10.45 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าพลังงานในอาหารของงานทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับ Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานพลังงานรวมทั้งหมดในอาหาร ค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารมีค่าเท่ากับ18.02, 11.54 และ 10.43 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ทำนองเดียวกับ Chizzotti et al. (2007) ที่รายงานค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารมีค่าอยู่ระหว่าง 9.92 – 12.64 และ 8.12 – 10.38 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสูตรอาหาร จากงานทดลองพบว่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ย่อยได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมด (DE/GE) สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมด (ME/GE) และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานที่ย่อยได้ของสูตรอาหาร (ME/DE) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ย่อยได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมดมีค่าระหว่าง 0.64 - 0.68 ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ในการย่อย (digestibility) (อนันท์ และคณะ, 2550) มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีค่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ย่อยได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.63 – 0.65 และงานทดลองของ และ นันทนา (2552) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับหญ้ารูซี่แห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีค่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ย่อยได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.64 – 0.67

สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมด เป็นค่าบ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร (metabolizability) จากการทดลองพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 0.54 – 0.59 มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ ฉัตรชัย (2553) ที่รายงานว่าโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมด มีค่าระหว่าง 0.59 – 0.61 และงานทดลองของ Nitipot (2010) ที่พบว่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานรวมทั้งหมดมีค่าระหว่าง 0.38 – 0.62 และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานที่ย่อยได้จากการทดลองพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 0.85 – 0.86 มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Chaokaur (2009) ที่พบว่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานที่ย่อยได้ในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าระหว่าง 0.78 – 0.85 ซึ่งสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานที่ย่อยได้มีค่าประมาณ 0.82 (Chizzotti et al., 2007; NRC, 1996)

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลการใช้ประโยชน์พลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารหยาบในสูตรอาหารต่างชนิดกันคือ ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าว ที่มีวิธีการให้อาหารแบบเต็มที่เหมือนกัน พบว่ามีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานไม่แตกต่างกัน อีกทั้งโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดเดียวกันคือ ฟางข้าว แต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน พบว่ามีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามโคที่กินอาหารแบบขั้นบันไดมีปริมาณการกินได้ของพลังงานสูงกว่าโคที่ได้กินอาหารแบบเต็มที่ ประกอบกับการสูญเสียพลังงานในมูล ปัสสาวะ และแก๊สมีเทนมีค่าไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าพลังงานที่เก็บกักได้มีแนวโน้ม ($P<0.10$) สูงกว่าโคที่ได้กินอาหารแบบเต็มที่ แสดงว่าโคได้กินอาหารแบบขั้นบันไดสามารถนำโภชนะไปสะสม เพื่อที่จะสร้างผลผลิตได้มากกว่านั่นเอง ซึ่งถือเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการจัดการให้อาหารโค โดยเฉพาะในช่วงฤดูที่ขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบที่มีคุณภาพสูง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการให้อาหารโคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้องตามความต้องการ

ของสัตว์ในแต่ละระยะการให้ผลผลิต อีกทั้งเพิ่มความแม่นยำในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารที่จะนำไปเลี้ยงโคให้ได้รับโภชนะที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ในแต่ระยะการให้ผลผลิตอีกด้วย

4.6 ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ตามวิธีการของ ARC (1980) สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์สมการเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake; MEI, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (energy retention; ER, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) โดยค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพมีค่าเท่ากับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ ณ จุดที่ค่าพลังงานที่เก็บกักได้มีค่าเท่ากับศูนย์ (กฤตพล, 2550ก) ผลจากการวิเคราะห์ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในครั้งนี้ สามารถสร้างสมการโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ผลการทดลองดังสมการที่ 4.1

$$ER = (0.6379_{(SE = 16.46)} \times MEI) - 345.30_{(SE = 0.03)}$$
$$(R^2 = 0.955;\ P<0.001;\ RSD = 7.81;\ n = 20)$$

---------- (สมการที่ 4.1)

เมื่อ ER = ค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (kJ/kg BW$^{0.75}$/d)
MEI = ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (kJ/kg BW$^{0.75}$/d)

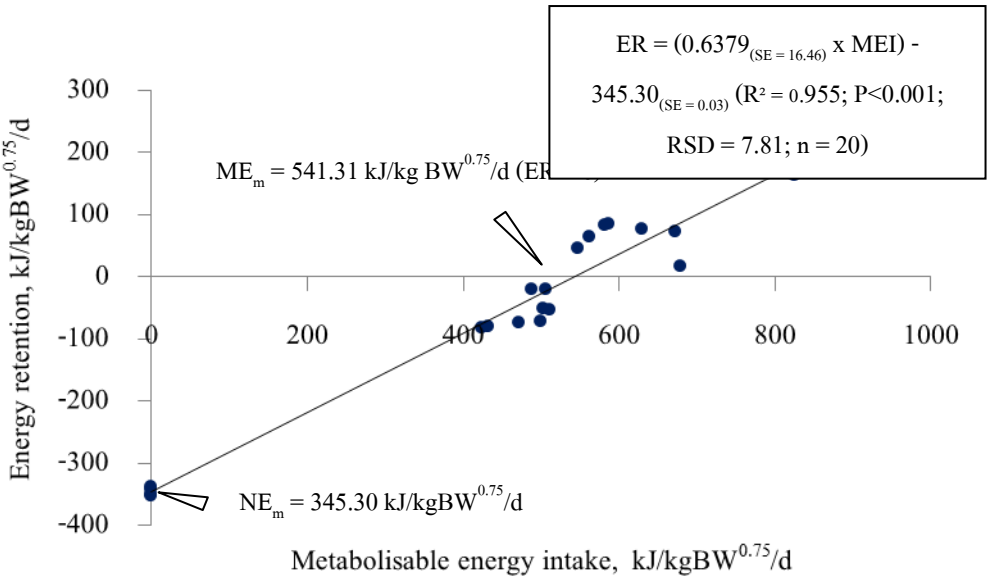
จากสมการที่ 4.1 สามารถคำนวณค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อพื้นเมืองไทย ซึ่งคำนวณได้โดยแทนค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (kJ/kg BW$^{0.75}$/d) เท่ากับ 0 ลงในสมการที่ 4.1 จากนั้นคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (kJ/kg BW$^{0.75}$/d) ซึ่งค่าที่คำนวณได้เมื่อโคไม่มีการเก็บกักพลังงาน คือค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพนั่นเอง

จากสมการที่ 4.1 ER = (0.6379 x MEI) - 345.30
แทนค่า ER = 0 ลงในสมการ
จะได้ MEI = 345.30/0.6379
ดังนั้น MEI = 541.31 kJ/kg BW$^{0.75}$/d

การศึกษาในครั้งนี้ได้ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยเท่ากับ 541.31 kJ/kg BW$^{0.75}$/d (ภาพที่ 4.3) พบว่ามีค่าสูงกว่าค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษาทดลองในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย (นันทนา, 2552; Kawashima et al., 2000; Nitipot et al., 2008; Tangjitwattanachai, 2010; WTSR, 2008) พบว่ามีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพเท่ากับ 526, 245, 509, 532 และ 484 kJ/kg BW$^{0.75}$/d ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาช่วงน้ำหนักของโคพื้นเมืองไทยที่ทำการทดลองในครั้งนี้พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ย 342 กิโลกรัม ซึ่งจัดเป็นโคที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ส่วน

โคพื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษาทดลองจากงานของ นันทนา (2552); Kawashima et al. (2000); Nitipot et al. (2008) และ Tangjitwattanachai (2010) ซึ่งจัดเป็นโคที่อยู่ในระยะเจริญเติบโต จึงมีผลทำให้ค่า ME_m ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ อีกทั้งความแปรปรวนทางด้านสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการจัดการเลี้ยงดูของแต่ละงานทดลองที่อาจจะส่งผลทำให้ค่า ME_m ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบ ME_m จากงานทดลองนี้กับ WTSR (2008) พบว่ามีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างในวิธีการศึกษาที่มีผลทำให้มีค่าแตกต่างกัน กล่าวคือค่า ME_m ที่ได้จากงานทดลองครั้งนี้ได้มาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI) และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (ER) ในขณะค่า ME_mที่รายงานโดย WTSR (2008) หาได้มาจากการรวบรวมข้อมูลงานทดลองในโคเนื้อพื้นเมืองของประเทศไทย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain, ADG) กับค่า MEI จึงมีผลทำให้ค่า ME_m มีค่าแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าค่า ER กับค่า ADG จะมีความหมายในการอธิบายถึงสมดุลของโภชนะที่ได้รับเพื่อการนำไปสะสมหรือสูญเสียไปของร่างกายสัตว์ แต่ค่า ADG ได้มาจากการประเมินค่าโภชนะในส่วนที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์วัตถุทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ในขณะที่ค่า ER เป็นค่าที่ได้จากการประเมินเฉพาะในส่วนโภชนะที่ให้พลังงานความร้อนที่ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน

นอกจากนี้แล้วค่าที่ได้จากการทดลองยังมีค่าสูงกว่ารายงานของ Chaokaur et al. (2007) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าเท่ากับ 458 kJ/kg $BW^{0.75}$/d แต่อย่างไรก็ตามงานทดลองในประเทศไทยที่ศึกษาค่า ME_m ในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีอยู่อย่างจำกัดมาก ดังนั้นการนำค่า ME_m มาเปรียบเทียบกับงานทดลองครั้งนี้อาจจะทำให้เกิดความอยุติธรรม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาหาค่า ME_mของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันเพื่อให้ได้ข้อมูลมีมากขึ้นกว่านี้ ส่วนงานทดลองของ Kearl (1982) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่แนะนำสำหรับโคอินเดียลูกผสมที่เลี้ยงในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนามีค่าเท่ากับ 493 kJ/kg $BW^{0.75}$/d และที่แนะนำในยุโรปโดย ARC (1980) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อมีค่าเท่ากับ 527 kJ/kg $BW^{0.75}$/d ซึ่งมีค่า ME_m ต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนทางด้านสายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการจัดการเลี้ยงดูและช่วงการให้ผลผลิต ที่ส่งผลทำให้ค่า ME_m มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับที่แนะนำในอเมริกาโดย NRC (1976) ที่รายงานค่า ME_m ของโคเนื้อมีค่าเท่ากับ 540 kJ/kg $BW^{0.75}$/d ตามลำดับ ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.4 ถึงแม้ค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าที่มีการรายงานในประเทศไทย และยังมีค่าใกล้เคียงกับที่แนะนำในอเมริกาก็ตาม แต่เนื่องจากค่า ME_m ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นงานแรกที่ศึกษาในโคที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ และมีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน โดยโคที่ได้รับอาหาร T3 ที่มีวิธีการให้กินแบบขั้นบันได (โดยโคกลุ่มนี้จะผ่านการอดอาหารและได้รับอาหารแบบจำกัด ก่อนที่จะได้กินอาหารแบบเต็มที่) ซึ่งเป็นวิธีการจัดการให้อาหารโคตามหลักการเจริญเติบโตทดแทน จึงอาจส่งผลทำให้โคมีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อทดแทนพลังงานที่สูญเสียไปในช่วงอดอาหารและช่วงที่ได้รับอาหารแบบจำกัด อีกทั้งยังมีความต้องการพลังงานเพื่อนำไปสร้างผลผลิตมากพอที่สัตว์จะสามารถแสดงศักยภาพในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ จึงมีผลทำให้ค่า ME_m มีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าที่แนะนำในอเมริกาที่เป็นโคที่มีการให้ผลผลิตค่อนข้างสูง



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (energy retention, kJ/kgBW$^{0.75}$/d) ในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้จากงานทดลองนี้ชี้ให้เห็นความแตกต่างของค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุ น้ำหนักตัว เพศ และสายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ในครั้งนี้มีค่าไม่แตกต่างจากที่แนะนำในอเมริกา ทั้งนี้ในการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาในโคที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ตลอดจนโคบางกลุ่มมีการจัดการให้อาหารตามหลักการเจริญเติบโตทดแทน ที่อาจส่งผลทำให้โคมีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลทำให้ค่า ME_m มีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าที่แนะนำในอเมริกาที่เป็นโคที่มีการให้ผลผลิตค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีรายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยตามช่วงอายุ น้ำหนักตัว เพศ และระยะการให้ผลผลิตเพิ่มเติม (นันทนา และคณะ, 2553; Chaokaur, 2009; Nitipot et al., 2010; Tangjitwattanachai, 2010) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมในแต่ละระยะการให้ผลผลิตของสัตว์

ตารางที่ 4.7 ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อ

Items	No. Obs.	BW[1/]	Method[2/]	ME_m[3/]
Beef cattle				
ARC (1980)	NA[4/]	NA	NA	527
Kearl (1982)	NA	NA	NA	493
NRC (1976)	NA	NA	NA	540
Brahman cattle				
Chaokaur et al. (2007)	19	385	IC; RE/MEI	458
Thai Native beef cattle				
WTSR (2008)	15	355	MA	484
Nitipot et al. (2008)	16	185	IC; RE/MEI	509
Kawashima et al. (2000)	20	163	IC; RE/MEI	245
นันทนา (2552)	16	206	IC; RE/MEI	526
Tangjitwattanachai (2010)	15	268	IC; RE/MEI	532
This study	20	342	IC; RE/MEI	541

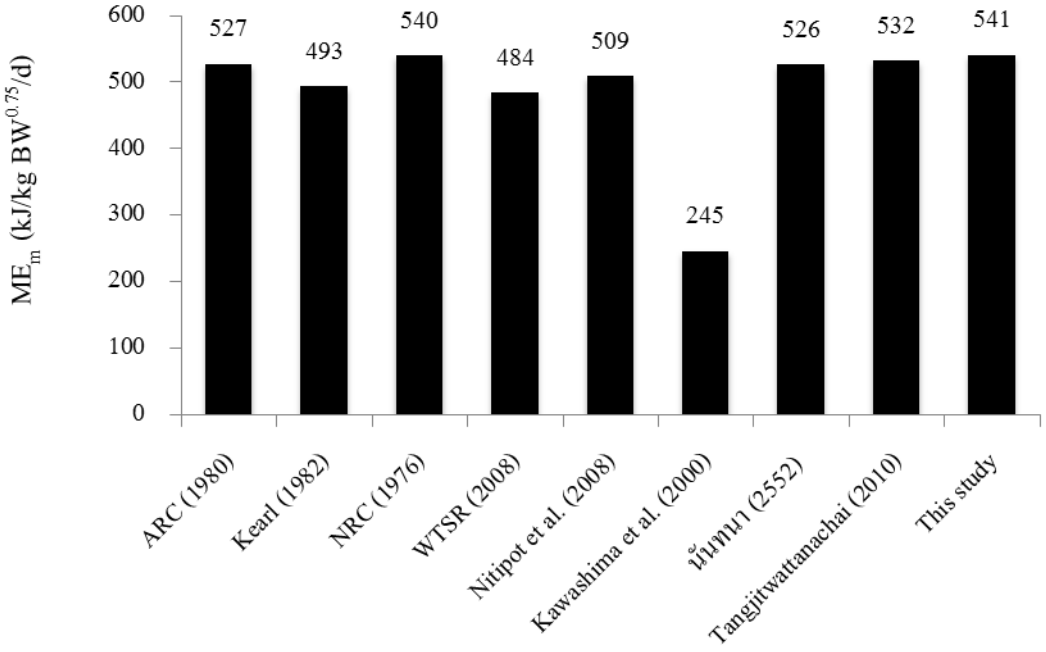
[1/] BW = kg

[2/] IC, indirect respiratory calorimetry; ER, energy retention; MEI, metabolizable energy intake; MA, Meta analysis

[3/] ME_m = $kJ/kgBW^{0.75}$/d.

[4/] NA = not available

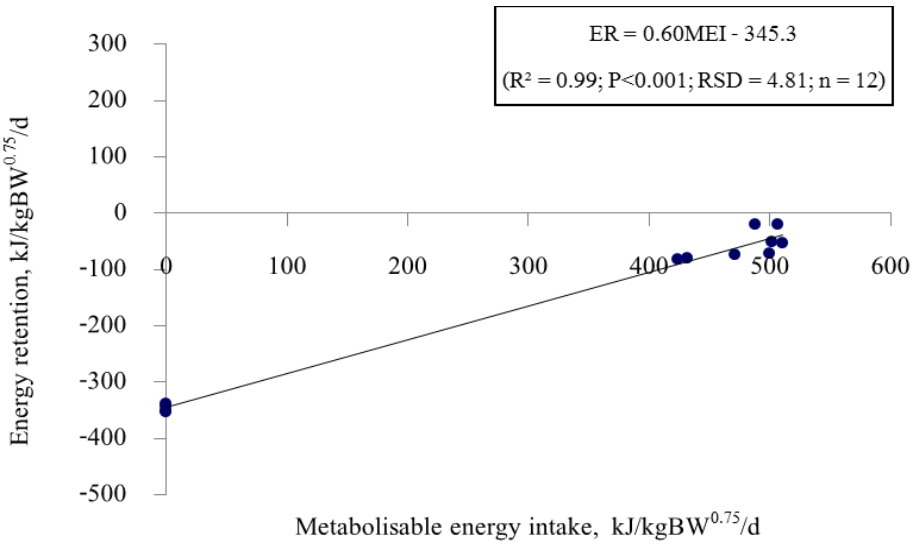
ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net energy for maintenance, NE_m) หรือ ค่าพลังงานความร้อนภายใต้สภาวะอดอาหาร (fasting heat production; FHP) เป็นค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญภายในร่างกายในรูปความร้อนที่สัตว์อยู่ในสภาวะอดอาหาร หรือ พลังงานขั้นพื้นฐานที่สัตว์ต้องการเพื่อให้ร่างกายสามารถดำรงชีพอยู่ได้ (ARC, 1980) ค่าความต้องการพลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะถ้าได้รับสารอาหารไม่เพียงพอจะเกิดการสลายสารอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อออกมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่า NE_m มีค่าเท่ากับ 345.30 $kJ/kgBW^{0.75}$/d ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่รายงานโดย Chaokaur et al. (2008) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าเท่ากับ 265 kJ/kg $BW^{0.75}$/d และที่รายงานโดย Nitipot (2010) และ Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 314 และ 283 kJ/kg $BW^{0.75}$/d ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่ได้จากงานทดลองมีค่าใกล้เคียงกับ Ferrell and Jenkins (1998) ที่รายงานค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคสายพันธุ์อินเดีย (*Bos indicus*) มีค่าอยู่ในช่วง 269.86 – 346.43 kJ/kg $BW^{0.75}$/d ซึ่งค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุ น้ำหนักตัว เพศ สายพันธุ์ สภาวะทางสรีระ ฤดูกาล สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และสภาวะทางโภชนาการ (NRC, 1996)



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อระหว่างงานทดลองนี้และงานทดลองอื่น

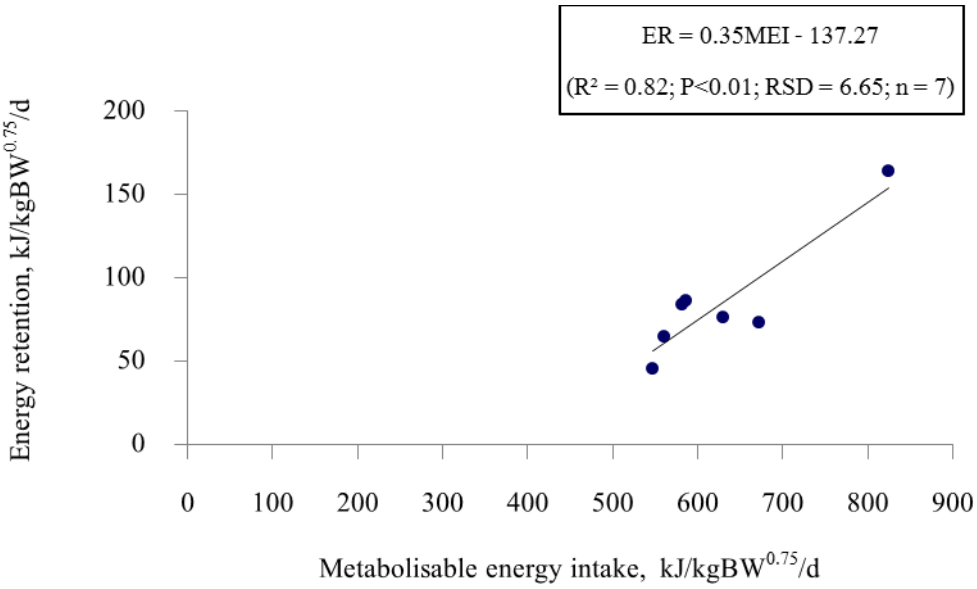
4.7 ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (k_m) และเพื่อการเจริญเติบโต (k_g) ในโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (k_m) (ภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.8) จากงานทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.60 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับ Chaokaur et al. (2007) ที่รายงานประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าเท่ากับ 0.58 และที่รายงานโดย Nitipot et al. (2008) ที่รายงานค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 0.62 และให้ผลใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคยุโรป (*Bos taurus*) ที่รายงานโดย Laurenz et al. (1991) ที่รายงานค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคพันธุ์ Simmental มีค่าเท่ากับ 0.60



ภาพที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ส่วนค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (k_g) (ภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.8) ที่ได้จากงานทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.35 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า Tangjitwattanachai (2010) ที่รายงานค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 0.53 แต่ให้ค่าใกล้เคียงกับ Garrette (1979) และ Ferrell and Jenkins (1998) ที่รายงานค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโตของโคพันธุ์ Hereford x Angus และโคพันธุ์ Boran มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.32 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.6 ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อพื้นเมืองไทย

ตารางที่ 4.8 ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโคพื้นเมืองไทย

Response Parameter (Y)	Dietary Parameter (X)	No. of data	Parameter estimates			Model statistics		
			X-intercept	Y-intercept	Slope	R^2	RSD	P-value
Efficiency of ME for maintenance, k_m								
Pools								
ER	MEI	12	573.11	-345.30	0.60	0.99	4.81	<0.001
Efficiency of ME for growth, k_g								
Pools								
ER	MEI	7	388.65	-137.27	0.35	0.82	6.65	<0.01

จากงานทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า โคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตมีค่าไม่แตกต่างกับที่รายงานในยุโรปและอเมริกา แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่มีอยู่ยังมีความผันแปรตามอายุ น้ำหนักตัว ช่วงระยะการให้ผลผลิต อีกทั้งข้อมูลที่มีอยู่ยังมีจำนวนจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ค่าองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน หยาบ เถ้า ไขมัน เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด พลังงานรวม พลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าใกล้เคียงกันตามเป้าหมายการคำนวณสูตรอาหาร

ปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ เมแทบอลิซึมของพลังงาน พลังงานที่สูญเสียออกนอกร่างกาย พลังงานที่เก็บกักได้ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ ที่มีแหล่งอาหารหยาบหลักแตกต่างกัน คือ ฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าว มีค่าไม่ต่างแตกกัน (P>0.05) ส่วนโคที่ได้รับฟางข้าวในสูตรอาหาร ที่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ (เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่

พลังงานรวม พลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีค่าสูงกว่า (P<0.01) โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวในสูตรอาหารแบบเต็มที่ พลังงานที่

สูญเสียในรูปมูลและแก๊สมีเทนของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่พลังงานที่สูญเสียในรูปปัสสาวะ (เมื่อคิดเป็นสัดส่วนพลังงานต่อพลังงานรวมทั้งหมดที่กิน) พบว่า โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับอาหารฟางข้าว การผลิตความร้อน (เมื่อคิดเป็นเมกะจูลต่อวัน และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน) พบว่า โคที่ได้รับอาหารแบบขั้นบันได มีค่าสูงกว่า (P<0.05) โคที่ได้รับฟางหญ้ารูซี่และฟางข้าวแบบเต็มที่ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน (P<0.05)

ผลการวิเคราะห์เพื่อประเมินความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 541.31 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) มีค่าเท่ากับ 345.30 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (k_m) และเพื่อการเจริญเติบโต (k_g) มีค่าเท่ากับ 0.60 และ 0.35 ตามลำดับ

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลการใช้ประโยชน์จากอาหารและพลังงานของโคเนื้อพื้นเมืองไทยสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพศผู้ ที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มวัย ที่ได้รับอาหารหยาบต่างชนิดกัน อีกทั้งโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดเดียวกันแต่มีวิธีการจัดการให้อาหารแตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการจัดการให้อาหารโค โดยเฉพาะในช่วงฤดูที่ขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบที่มีคุณภาพสูง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการให้อาหารโคได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ประโยชน์จากอาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์พลังงานในโคที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำและคุณภาพสูงชนิดอื่นเพิ่มเติม

5.2.2 การจัดการให้อาหารโคเนื้อพื้นเมืองไทย ควรคำนึงถึงความแตกต่างของค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต ตลอดจนเพศ และสายพันธุ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อในประเทศไทย

5.2.3 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ยังมีข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อช่วยเพิ่มฐานข้อมูลในการสร้างมาตรฐานการให้อาหารโคเนื้อในประเทศไทย

5.2.4 ทราบแนวทางการศึกษาการใช้พลังงานในโคที่มีการเจริญเติบโตทดแทน (compensatory growth) ควรทำอย่างไร

6. เอกสารอ้างอิง

กฤตพล สมมาตย์. 2550ก. โภชนพลังงานศาสตร์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กฤตพล สมมาตย์. 2550ข. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิตโค-กระบือ. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

กรมปศุสัตว์. 2543. ข้อมูลจำนวนสัตว์ในประเทศไทย ปี 2543. สำนักกลุ่มสารสนเทศและข้อมูล ส ถิ ติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2546. พืชอาหารสัตว์พันธุ์ดี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2551. ข้อมูลจำนวนสัตว์ในประเทศไทย ปี 2551. สำนักกลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2553. ข้อมูลจำนวนสัตว์ในประเทศไทย ปี 2553. สำนักกลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ.

กองอาหารสัตว์. 2538. หญ้ารูซี่. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กิตติเดช เชี่ยวชาญ. 2552. พืชอาหารสัตว์. ว. สัตว์. 27(1):37–40.

จรูญโรจน์ จันทรศิริ, ธำรงศักดิ์ พลบำรุง, จีรวัชร์ เข็มสวัสดิ์ และ สุชาติ จำรัสบุญ. 2547. เทคโนโลยีการใช้พืชอาหารสัตว์คุณภาพดีและมันเส้นขุนโคพันธุ์ตากและกบินทร์บุรี. ว. ข่าวปศุสัตว์. 27(247):6–9.

จารุณี หนูละออง และ องอาจ อินทร์สังข์. 2553. ผลของระดับการเสริมอาหารข้นต่อปริมาณและคุณภาพน้ำนมของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 5(1):29–40.

จีรสิทธิ์ สงค์ประเสริฐ. 2549. การขุนโค – กระบือ. พิมพ์ครั้งที่ 5. อาร์ จี บี แอดเวอร์ไทซิ่ง เอเจนซี่. เชียงใหม่.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉัตรชัย แก้วพิลา. 2553. ผลของระดับพลังงานที่กินได้ต่อความสามารถในการย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน เมทาบอไลท์ในกระแสเลือด และสมรรถนะการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ฉายแสง ไผ่แก้ว, สมจิตร อินทรมณี, พิมพาพร เทวาหุดี, วรพงษ์ สุริยจันทราทอง, อุดร เสนากัสน์, กานดา นาคมณี และ ไพบูรณ์ พลบุญ. 2528. ผลของระยะเวลาตัดที่มีต่อผลผลิตเมล็ดหญ้ารูซี่. ประมวลเรื่องการประชุมวิชาการปศุสัตว์ ครั้งที่ 4. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์.

เฉลิมชัย สุโข. 2551. การศึกษาค่าพลังงานที่ย่อยได้ ค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดและกระบวนการหมักในกระเพาะหมักในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันและโคพื้นเมืองที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งของอาหารหยาบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ชาญชัย นรเทพไพศาล. 2546. วัวเนื้อ. ศูนย์วิชาการวัวเนื้อเพื่อประชาชน. กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ดงปาลี. 2550. โคขาวลำพูน มรดกล้านนา. ว. ข่าวปศุสัตว์. 29(263):20–21.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี. 2545. โภชนศาสตร์สัตว์ประยุกต์. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ. 2543. มารู้จักโคเนื้อพันธุ์ตาก:โคเพื่อเกษตรกรไทยที่กรมปศุสัตว์กำลังดำเนินการ. มติชนบทฉบับเทคโนโลยีชาวบ้าน. 13(248):62–64.

ธำรงศักดิ์ พลบำรุง. 2531. การเลี้ยงโคเนื้อ. ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ.

ธำรงศักดิ์ พลบำรุง และ จีรวัชร์ เข็มสวัสดิ์. 2550. การผลิตอาหารสัตว์ใช้ในฟาร์มเพื่อลดต้นทุนการผลิต. วารสารข่าวปศุสัตว์. 29(262):21–23.

นัทธมน ตั้งจิตวัฒนาชัย และ กฤตพล สมมาตย์. 2553. ผลของระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ต่อคุณภาพเนื้อของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย. ว. แก่นเกษตร. 38(ฉบับพิเศษ):24-29.

นันทนา มูลมาตย์. 2552. การประเมินคุณค่าทางโภชนะและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของรำละเอียด กากเมล็ดนุ่น และกากมะพร้าวในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

นันทนา มูลมาตย์, มาโกโตะ โอสุกะ, ศุภชัย อุดชาชน และ กฤตพล สมมาตย์. 2553. การประเมินคุณค่าทางโภชนะและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของรำละเอียด กากเมล็ดนุ่น และกากมะพร้าวในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 29(4):382–388.

นันทนา มูลมาตย์, Makoto Otsuka และ กฤตพล สมมาตย์. 2552. ผลของวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดต่อปริมาณการกินได้ และการปลดปล่อยแก๊สมีเทนในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย. การประชุมวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 2. สำนักบริหารวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บัญชา สัจจาพันธุ์. 2543. ลักษณะเด่นประจำพันธุ์ของโคชนภาคใต้. ว. สัตวบาล. 10(51):40–41.

บุญฤา วิไลพล. 2533. การเลี้ยงโคเนื้อเพื่อเพิ่มรายได้และเป็นอาชีพในภาคอีสาน. ข่าวสารเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 19 (3): 8 – 15.

บุญฤา วิไลพล. 2534. ปัญหาการพัฒนาพันธุ์พืชอาหารสัตว์. ถนนปศุสัตว์. 2(15):60–67.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปณิตา บัวทอง และ มานพ นามสมบูรณ์. 2536. พืชอาหารสัตว์. ข่าวสารเกษตรศาสตร์. 38(5):40-46.

ปรัชญา ปรัชญาลักษณ์, อุทัย ลีรัตนชัย และ วิโรจ วนาสิทธชัยวัฒน์. 2540. การใช้วัสดุผลพลอยได้ทางการเกษตรเป็นอาหารโครีดนมในฤดูแล้ง. สาส์นไก่และการเกษตร. 45(6):55–64.

ปิ่น จันจุฬา. 2550. หลักการผลิตโคเนื้อ. ภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรศรี ชัยรัตนายุทธิ์. 2531. การให้อาหารข้นโคนม. ว. โคนม. 4(8):11–12.

พิชญะ จงตระกูล. 2533. วิกฤตการณ์วัตถุดิบอาหารสัตว์: มาตรการและผลกระทบ. ว. เศรษฐศาสตร์เกษตร. 9(1):79–85.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วรินทร มณีรัตน์ และ ศรเทพ ธัมวาสร. 2551. อิทธิพลของระบบการผลิตต่อผลผลิตซากและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการเลี้ยงโคเนื้อขุน**.** ว. เกษตรนเรศวร. 11(2):145–153.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. โคนม. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2538. แนวคิดการจัดการอาหารโคนม ตอนที่ 3 การใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตร. ว. โคนม. 14(5):42–44.

วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2534. ผลของการใช้ฟางข้าว ยอดอ้อย และเปลือกสับปะรดหมักด้วยยูเรียเป็นอาหารหยาบสำหรับโคสาวในฤดูแล้ง. ว. ศูนย์บางพระ. 28(2):35–39.

ศรเทพ ธัมวาศร. 2548. การเลี้ยงโคเนื้อ: แนวทางการพัฒนาอาชีพของเกษตรกรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. อักษรสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

ศรันยา วิทยานุภาพยืนยง, จิตราภรณ์ ธวัชพันธุ์ และ อิสสระ กรีธาพล. 2535. การศึกษาคุณค่าทางอาหารและอนุกรมวิธานของหญ้าพืชอาหารสัตว์บางชนิด. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2535. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, ศกุนตลา ภู่เจริญ และ วารุณี เตีย. 2552. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ. ว. ราชบัณฑิตยสถาน. 34(2):328–336.

สมพร ดวนใหญ่, สุนทรีพร ดวนใหญ่ และ วรวิทย์ ธนสุนธรสุทธิ์. 2550. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการผลิตเนื้อโคพื้นเมือง กรณีศึกษาจังหวัดอุบลราชธานีและยโสธร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สมศักดิ์ เภาทอง, อานุภาพ เส็งสาย และ มณฑป นพคุณ. 2549. การใช้อาหารหยาบคุณภาพดีเลี้ยงโคนม. ข่าวสารพืชอาหารสัตว์. 11(1):22–23.

สัญญา อาจสามารถ, สนธยา งาคม และ ทองพูล เคนมาตร. 2551. การใช้ลำต้นและใบมันสำปะหลังหั่นผสมอาหารเลี้ยงโคนม. ว. ข่าวปศุสัตว์. 31(270):16–20.

สุทิสา แต้มจันทร์, วันวิศาข์ งามผ่องใส, เสาวนิต คูประเสริฐ และ สุรศักดิ์ คชภักดี. 2550. ปริมาณการกินได้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะและการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองภาคใต้เพศผู้ที่ได้รับหญ้าพลิแคททูนั่มแห้งเสริมด้วยอาหารข้นระดับต่างๆ. ว. สงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 29(2):385– 397.

สุรชัย บุญเอก. 2530. โคเนื้อ. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. กรุงเทพฯ.

สุรเดช พลเสน. 2548. ทุ่งหญ้าเขตร้อน. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อนันตเดช แย้มหอม, วรพจน์ เหล่าสิงห์, ศุภลักษณ์ รามณีย์, อาแอเสาะ อับดุลเลาะ, รัญจวน อิสรรักษ์ และ สุรศักดิ์ คชภักดี. 2552. ลักษณะทั่วไปและสภาพการเลี้ยงโคพื้นเมืองภาคใต้เพศเมียในตำบลแหลมโตนด อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง. ว. มหาวิทยาลัยทักษิณ. 11(3): 60–67.

อนันท์ เชาว์เครือ และ กฤตพล สมมาตย์. 2552. การประเมินค่าการย่อยได้และค่าพลังงานของอาหารหยาบสำหรับโคนมในเขตร้อน. ใน การประชุมสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2552 ในงานวันเกษตรภาคอีสาน ระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม 2552 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

อนันท์ เชาว์เครือ, Takehiro Nishida, รำไพ ใจเที่ยง และ กฤตพล สมมาตย์. 2551. การปลดปล่อยแก๊สมีเทนของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นอาหารหยาบหลัก. ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

อนันท์ เชาว์เครือ, Takehiro Nishida, อิทธิพล เผ่าไพศาล และ กฤตพล สมมาตย์. 2550. ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานในโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน. ว. เกษตร (ม. เชียงใหม่). 23(ฉบับพิเศษ):241–245.

อนุชา ศิริ. 2536. การศึกษาระดับหญ้ารูซี่ในแกะที่มีต่อปริมาณการกินและการย่อยได้ของอาหารหยาบที่มีหญ้ารูซี่ผสมกับฟางข้าว. ว. วิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 10(2):30–35.

AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. Agricultural and Food Research Council. CAB International, Wallingford, UK.

AFFRC. 2000. Japanese Feeding Standard for Beef Cattle. Agriculture Forestry and Fisheries Research Council. Central Association of Livestock Industry, Tokyo, Japan.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis.15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

ARC. 1980. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. London. Agricultural Research Council. CAB International, Wallingford, UK.

Blaxter, K. L. 1989. Energy Metabolism in Animals and Man. Cambridge University Press, Cambridge, New York, NY.

Brouwer, E., 1965. Report of sub-committee on constants and factors. Pages 441-443 in Proc. 3rd Symp. Energy Metabolism. K. L. Blaxter, ed. EAAP Publ. no. 11. Academic Press, New York, NY.

Chaokaur, A. 2009. Metabolizable Energy Requirement for Maintenance and Energetic Efficiency for Growth in Brahman Beef Cattle. Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Chaokaur, A., T. Nishida, I. Phaowphaisal, and K. Sommart. 2007. Energy metabolism and energy requirement for maintenance of Brahman steers in tropical condition. Pages 505-506 in Proc. 2nd Symp. Energy and Pritein Metabolism and Nutrition. I. Ortigues-Marty, N. Miraux and W. Brand-Williams, ed. EAAP Publ. no. 124. Wageningen. The Netherlands.

Chaokaur, A., T. Nishida, S. Wijitphan, V. Pattarajinda, and K. Sommart. 2008. Metabolizable energy and crude protein requirement for maintenance of Brahman cattle offered varying levels of feed intake under tropical condition. Page 76-79. in Proc. Symp. Establishment of a Feeding Standard of Beef Cattle and a Feed Database for the Indochainese Peninsula. S. Oshio, M. Otsuka, and K. Sommart, ed. Klungnanavithaya Press, Khon Kaen, Thailand.

Cheva-Isarakul, B., S. Promma, K. Tagan, and B. Maliwan. 2009. Nutritive value and energy determination of some roughages for beef cattle. Page 1-5. in Establishment of a Feeding Standard for Beef Cattle and a Feed Database for the Indochinese Peninsula. S. Oshio, M. Otsuka and K. Sommart ed. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Chizzotti, M. L., S. C. Valadares Filho, L. O. Tedeschi, F. H. M. Chizzotti, and G. E. Carsten. 2007. Energy and protein requirements for growth and maintenance of Nellore x Red angus bull, steer, and heifer. J. Anim. Sci. 85:1971-1981.

Chizzotti, M. L., L. O. Tedeschi, and S. C. Valadares Filho. 2008. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. J. Anim. Sci. 86:1588-1597.

El-Kadi, S. W., K. R. McLeod, N. A. Elam, S. E. Kitts, C. C. Taylor, D. L. Harmon, B. J. Bequette, and E. S. Vanzant. 2008. Nutrient net absorption across the portal-drained viscera of forage-fed beef steers: Quqntitative assessment and application to a nutritional prediction model. J. Anim. Sci. 86:2277–2287.

Ensminger, M.E., J.E. Oldfiedl, and W.W. Heinemann. 1990. Feed & Nutrition digest. Ensminger Publishing Company. California, USA.

Estermann, B. L., F. Sutter, P. O. Schlegel, D. Erdin, H. R. Wettstein, and M. Kreuzer. 2002. Effect of calf age and dam breed on intake, energy expenditure, and excretion of nitrogen, phosphorus, and methane of beef cows with calves. J. Anim. Sci. 80: 1124-1134.

Ferrell, C.L., and T. G. Jenkins. 1998. Body composition and energy utilization by steer of diverse genotypes fed a high concentrate diet during the finishing period I. J. Anim. Sci. 76:637-646.

Galyean, M. L., D. G. Wagner, and F. N. Owens. 1979. Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. J. Anim. Sci. 49:199-203.

Gao, Z., H. Yuan, W. Ma, X. Liu, and R. L. Desjardins. 2011. Methane emissions from a dairy feedlot during the fall and winter seasons in Northern China. Environmental Pollution. 159:1183–1189.

Garrette, W. N. 1979. Relationships among diet, metabolizable energy utilization and net energy values of feedstuffs. J. Anim. Sci. 49:1403-1409.

Hornick, J. L., C. Van Eenaeme, A. Clinquart, M. Diez, and L. Istasse. 1998. Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue bulls: I. Animal performance, nitrogen balance, meat characteristics, and fat composition. J. Anim. Sci. 76:249–259.

Janssen, P. H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. Anim. Feed Sci. Technol. 160:1–22.

Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci. 73:2483-2492.

Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang, W. Boonpakdee, and F. Terada. 2000. Energy and nitrogen metabolisms of Thai native cattle given Ruzi grass hay with different levels of soybean meal. Page 147–155. in Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. T. Kawashima, ed. Phratammakun Press, Khon Kaen, Thailand.

Kearl, L. C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute, Utah State University, Longan, Utah.

Kellems, R.O., and D.C. Church. 2002. Livestock feeds and feeding. 4th ed. Prentice hall, Upper saddle river, New Jersey, USA.

Labussiere, E., S. Dubois, J. V. Milgen, G. Bertrand, and J. Noblet. 2009. Effect of solid feed on energy and protein utilization in milk-fed veal calves. J. Anim. Sci. 73:2483-2492.

Laurenz, J. C., F. M. Byers, G. T. Schelling, and L. W. Greene. 1991. Effects of season on the maintenance requirements of mature beef cows. J. Anim. Sci. 69:2168–2176.

Leng R. A. 2003. Drought and dry season feeding strategie for cattle sheep and goats. Penambul Books. Coolum Beach Qld, Australia.

Lopez, S. 2005. In vitro and in situ techniques for estimating digestibility. Page 87–122. in 2nd ed. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France, ed. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Machmuller, A., and H. Clark. 2006. First results of a meta-analysis of the methane emission data of New Zealand ruminants. International Congress Series. 1293:54-57.

Mao, H. L., J. K. Wang, Y. Y. Zhou, and J. X. Liu. 2010. Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs. Livest. Sci. 129:56–62.

Martínez, M. E., M. J. Ranilla, M. L. Tejido, C. Saro, and M. D. Carro. 2010. The effect of the diet to donor sheep on *in vitro* methane production and ruminal fermentation of diets of variable composition. Anim. Feed Sci. Technol. 158:126–135.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 2002. Animal Nutrition. 6th ed. Pearson Education Ltd., New York, USA.

McLeod M. N., and D. J. Minson. 1978. The accuracy of pepsin-cellulase technique for determining the dry metter digestibility in vivo of grasses and legumes. Anim. Feed Sci. Technol. 3:277-287.

Menke, K. H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz, and W. Sehneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubate with rumen liquor *in vitro.* J. Agric. Sci. 93:217–222.

Nader, G. A., and P. H. Robinson. 2008. Effects of maceration of rice straw on voluntary intake and performance of growing beef cattle fed rice straw-based rations. Anim. Feed Sci. Technol. 146:74-86.

Nitipot, P. 2010. Energy utilization in Thai native cattle fed some tropical feed sources. Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Nitipot, P., T. Nishida, and K. Sommart. 2008. Methane production in Thai native beef cattle fed different level of Pangola grass hay in diets. Pages 394-398 in Proc. Mae Fah Luang Symp. Chiangrai, Thailand.

Nitipot, P., V. Pattarajinda, and K. Sommart. 2010. Energy requirements of Zebu beef cattle: A meta-analysis. Khon Kaen Agr. J. 38(supplement):184–188.

Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, M. A. Price, Z. Wang, and S. S. Moore. 2006. Relayionships of feedlot feed efficiency, performance and feeding behavior with metabolic rate, methane production and energy partitioning in beef cattle. J. Anim. Sci. 84:145–153.

NRC. 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press. Washington, D.C.

NRC. 2000. Nutrient Requirement of Beef Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press. Washington, DC.

NRC. 2001. Nutrient Requirement of Daily Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press. Washington, D.C.

Ørskov, E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. J. Agr. Sci. (Cambridge). 92:499-504.

Pearce, F. 1989. Methane: the hidden greenhouse gas. New Scientist. 1663:37–41.

Pond, W. G., D. C., Church, and K. R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

Pond, W. G., D. C., Church, K. R. Pond, and P. A. Schoknecht. 2005. Basic Animal Nutrition and Feeding. 5th ed. John Wiley & Sons., Inc., USA.

Sainz, R. D., F. De la Torre, and J. W. Oltjen. 1995. Compensatory growth and carcass quality in growth-restricted and refed beef steers. J. Anim. Sci. 73:2971–2979.

SAS, 1996. SAS User's Guide: Statistics, Version 6.12th Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Schneider, B. H., and W. P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feeds through Digestibility Experiments. Univ. Georgia Press, Georgia.

Seephueak, W., W. Ngampongsai, and P. Chanjula. 2010. Khon kaen. Agr. J. 38(supplement): 129–133.

Suzuki, T., I. Phaowphaisal, P. Pholsen, R. Narmsilee, S. Indramanee, P. Nittpot, A. Chaokaur, K. Sommart, N. Khotprom, V. Panichpol, and T. Nishidai. 2008. In Vivo Nutritive Value of Pangola Grass (*Digitaria eriantha*) Hay by a Novel Indirect Calorimeter with a Ventilated Hood in Thailand. Japan Agricultural Research Quarterly. 42:123-129.

Takahashi, J. 2006. Emission of GHG from livestock production in Japan. International Congress Series. 1293:13-20.

Tangjitwattanachai, N. 2010. Metabolizable energy requirement for maintenance and energetic efficiency for growth in Thai native beef cattle. Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Tilley J.M.A., and R.A. Terry. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crop. J. Br. Grassl. Soc. 18:104-111.

Van Soest, P. J., P. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy. Sci. 74:3583-3597.

Wiseman, J., and D. J. A. Cole. 1990. Feedstuff evaluation. Butterworths, London. UK.

WTSR. 2008. Nutrient Requirement of beef cattle in Thailand. The Working Committee of Thai Feeding Standard for Ruminant. Klungnanavithaya Press, Khon Kaen.

WTSR. 2010. Nutrient Requirement of beef cattle in Indochinese Peninsula. 1st rev. ed. The Working Committee of Thai Feeding Standard for Ruminant. Klungnanavithaya Press, Khon Kaen.

Yan, T., C.S. Mayne, and M.G. Porter. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. International Congress Series. 1293:123-126.

Zhao, R., Z. Zhang, R. Zhang, M. Li, Z. Lei, M. Utsumi, and N. Sugiura. 2010. Methane production from rice straw pretreated by a mixture of acetic–propionic acid. Bioresource Technology. 101:990–994.

==========//==========