

**ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ
พันธุ์พื้นเมืองไทยและโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน โดยประเมินจากฐานข้อมูล
จากงานทดลองค่าความสมดุลพลังงาน**

**Metabolizable Energy Requirements for Maintenance of Thai
Native and Brahman Beef Cattle: Evaluations Based on Observations
of Energy Retention**

นัทธมน ตั้งจิตวัฒนาชัย และ กฤตพล สมมาตร
Natthamon Tangjitwattanachai and Kritapon Sommart

Abstract

The objective was to evaluate metabolizable energy (ME) requirement for maintenance of Thai native beef cattle and Brahman beef cattle fed with tropical feed in Thailand. Database, including 104 observations from 5 indirect calorimetry study publications, were constructed and analyzed to determine ME requirements for maintenance by linear regression (regressing ME intake and energy retention). The metabolizable energy requirement for maintenance of Thai native beef cattle was 388.75 KJ/kgBW^{0.75}/d (energy retention = 0.89MEI - 345.99 ($R^2=0.7308$, N=40, $P<0.0001$, SE=17.5346)) and 397.18 KJ/kgBW^{0.75}/d for Brahman cattle (energy retention = 0.76MEI - 301.86 ($R^2=0.9331$, N=64, $P<0.0001$, SE=6.2676)). The results showed that the energy requirement of Thai native cattle was lower than that of Brahman cattle and *Bos taurus* cattle (Hereford, Charolais crossbred, Angus, Holstein friesian) by approximately 2.12 and 30 percent. Respectively.

Keywords : Brahman cattle, metabolizable energy for maintenance, Thai native cattle

บทคัดย่อ

การตรวจเอกสารครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยและโคเนื้อพันธุ์บราห์มันที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยด้านความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่ศึกษาการวัดค่าสมดุลของพลังงาน จำนวน

5 เรื่อง (จำนวนข้อมูลทั้งหมด 104 ข้อมูล ; แบ่งเป็นโคเนื้อพันธุ์พื้นเมือง 40 ข้อมูล และโคเนื้อพันธุ์ บราห์มัน 64 ข้อมูล) ในระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง 2550 และทำการสร้างสมการเส้นตรง (linear regression) ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ME intake, KJ/kgBW^{0.75}/d) และปริมาณพลังงานที่กักเก็บได้ (energy retention, KJ/kgBW^{0.75}/d) เพื่อประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ พบว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์ พื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 388.75 KJ/kgBW^{0.75}/d โดยมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานที่กักเก็บได้และปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เป็น Energy retention = 0.89MEI - 345.99 ($R^2=0.7308$, N=40, $P<0.0001$, SE=17.5346) ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าเท่ากับ 397.18 KJ/kgBW^{0.75}/d โดยมีความสัมพันธ์เป็น Energy retention = 0.76 MEI-301.86 ($R^2=0.9331$, N=64, $P<0.0001$, SE=6.2676) จากการวิเคราะห์และประมวลผลครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน ประมาณ 2.12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : โคเนื้อพันธุ์บราห์มัน โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานค่าความต้องการโภชนะและการให้อาหารโคเนื้อ เพื่อใช้เป็นตัวแนะนำการจัดการให้อาหารที่ตรงตามความต้องการโภชนะของสัตว์ ส่งผลให้นักวิชาการจำเป็นต้องอาศัยการอ้างอิงข้อมูลค่าความต้องการโภชนะของโคเนื้อตามมาตรฐานการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของยุโรปหรืออเมริกา ซึ่งการใช้ข้อมูลอ้างอิงข้อมูลจากต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศในเขตอบอุ่นนั้น อาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณหาความต้องการโภชนะของสัตว์ เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่นส่วนใหญ่มีโภชนะแตกต่างจากเขตร้อน (Minson, 1980) ความแตกต่างกันในด้านพันธุกรรมของสัตว์ สภาวะแวดล้อมคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ตลอดจนสภาพภูมิอากาศ (วิศิษฐพร และคณะ, 2544; Nishida et al., 2005; McDonald et al., 2002) ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้องการโภชนะดังกล่าวส่งผลให้เกิดความแตกต่างและข้อผิดพลาดในการจัดการให้อาหารที่สามารถก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ งานวิจัยทาง

ด้านการประเมินความต้องการอาหารโคเนื้อในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด และมีได้ลงรายละเอียดไปถึงการประเมินค่าพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (บุญล้อม และ สมคิด, 2542) ดังนั้น การรวบรวมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและตรวจเอกสารที่ทำการศึกษาค่าความสมดุลพลังงานในสัตว์ (Animal calorimetry) ครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Metabolizable energy for maintenance, MEm) ของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยและโคเนื้อพันธุ์บราห์มันที่เลี้ยงในสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย

ความต้องการพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมของร่างกายทั้งเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต โดยร่างกายทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานในอาหารที่อยู่ในรูปของพลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานกล หากเกิดภาวะการขาดสารอาหารพลังงานขึ้น ร่างกายจะทำหน้าที่ในการสลายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน ไขมัน และโปรตีนที่สะสมไว้ใน

เนื้อเยื่อของร่างกายออกมาใช้เป็นพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต (McDonald et al., 2002) ค่าความต้องการพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy and for maintenance) (Church and Pond, 1995) หมายถึง ปริมาณพลังงานระดับต่ำที่สุดที่สัตว์ต้องการนำไปใช้ในขบวนการเมแทบอลิซึมขั้นพื้นฐานของร่างกาย พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกระบายออกจากตัวสัตว์ในรูปของ พลังงานความร้อน (บุญล้อม, 2541) และพลังงานอีกส่วนหนึ่งคือ พลังงานเพื่อการสร้างผลผลิต (Net energy used for production) (McDonald et al., 2002) ซึ่งหมายถึง พลังงานที่สัตว์นำไปใช้สร้างเนื้อเยื่อ สร้างผลผลิต และการเจริญเติบโตให้กับร่างกาย ทั้งนี้หมายความว่า พลังงานที่ใช้ในการสร้างผลผลิต ได้แก่ เนื้อ นม ไข่ ขน พลังงานที่ใช้เพื่อการสืบพันธุ์ และพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในขณะตั้งท้อง ปริมาณพลังงานที่ถูกกักเก็บไว้ใช้ในการสร้างผลผลิตดังกล่าว เรียกว่า พลังงานที่ร่างกายสามารถกักเก็บได้ (Energy retention หรือ Recovered energy) (กฤตพล, 2548)

การใช้ประโยชน์ของพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดกระบวนการย่อยและดูดซึมสารอาหาร โภชนะที่ได้จะผ่านกระบวนการเผาผลาญสารอาหารและสังเคราะห์สารอาหารก่อนที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ ค่าพลังงานทั้งหมดในอาหารที่สัตว์ได้รับเข้าไป เรียกว่า ค่าพลังงานรวมทั้งหมดในอาหาร (Gross energy ; GE) และเมื่อนำค่าพลังงานรวมทั้งหมดในอาหารมาหักลบด้วยค่าพลังงานที่สูญเสียออกมานอกร่างกายในรูปของมูล (Fecal energy ; FE) เรียกว่า ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy ; DE) ซึ่งค่าพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารจะผันแปรตามชนิดวัตถุดิบอาหารสัตว์ คุณภาพของอาหาร และกระบวนการแปรรูปก่อนนำมาให้สัตว์กิน (Church and Pond, 1995) การประเมินค่าพลังงานที่ย่อยได้เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย

หากทราบปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินเข้าไปและปริมาณมูลทั้งหมดที่ขับออกมา แต่การใช้ค่าพลังงานที่ย่อยได้นั้นมีความถูกต้องและความแม่นยำต่ำกว่าค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy ; ME) ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียออกมาในมูล ปัสสาวะ และแก๊สมีเทนที่เกิดจากการหมักย่อยอาหาร (กฤตพล, 2548 ; Yan et al., 2000) ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีค่าประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ย่อยได้ (McDonald et al., 1995) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kawashima (2000c) และ Chaokaur et al. (2007) ที่ทำการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยวิธี Respiration calorimetry และพบว่า ค่าแก๊สมีเทนที่ผลิตขึ้นในระหว่างการหมักย่อยอาหารมีค่าประมาณ 6-10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ย่อยได้ หรือประมาณ 3.6-5.3 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานรวมที่ได้รับจากอาหาร และผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Yan et al. (1997) ที่รายงานไว้ว่าปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิตขึ้นหลังจากสัตว์กินอาหารอยู่ในช่วงระหว่าง 5.35-6.49 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานรวมที่ได้รับจากอาหาร

อย่างไรก็ตามการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ยังมีข้อด้อย เพราะมีได้คำนึงถึงค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นและสูญเสียออกมาเนื่องจากการกินอาหารของสัตว์ (Heat increment ; HI) ซึ่งหมายถึง พลังงานความร้อนที่เกิดจากการหมักย่อย ดูดซึม และสังเคราะห์สารอาหาร ตลอดจนการกำจัดของเสียออกนอกร่างกาย (กฤตพล, 2548 ; McDonald et al., 2002) จึงส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีความถูกต้องน้อยกว่าค่าพลังงานสุทธิ (Net energy) ซึ่งค่าพลังงานสุทธิสามารถคำนวณได้จากค่าพลังงานรวมในอาหารหักลบด้วยพลังงานที่สูญเสียในรูปของมูล ปัสสาวะ แก๊สจากการหมักย่อยอาหาร และความร้อนที่สูญเสียอันเนื่องมาจากการกินอาหารของสัตว์ (Heat increment) ถึงแม้ว่าค่าพลังงานสุทธิมีความถูกต้องและแม่นยำที่สุด แต่การหาค่าพลังงานสุทธิยังมีข้อจำกัดในด้านวิธีการวัดค่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหาร เนื่องจากเป็นวิธีการที่ซับซ้อน ยุ่งยาก และต้องใช้เครื่องมือที่มีความ

ละเอียด ลงทุนสูง จึงส่งผลกระทบต่อปัจจุบันในบางประเทศ เช่น อังกฤษ และออสเตรเลีย ยังคงใช้ระบบพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ARC, 1980 ; Johnson et al., 2003)

ขั้นตอนการสูญเสียพลังงานและประเภทของพลังงานของสัตว์เลี้ยง ดังแสดงใน Fig.1

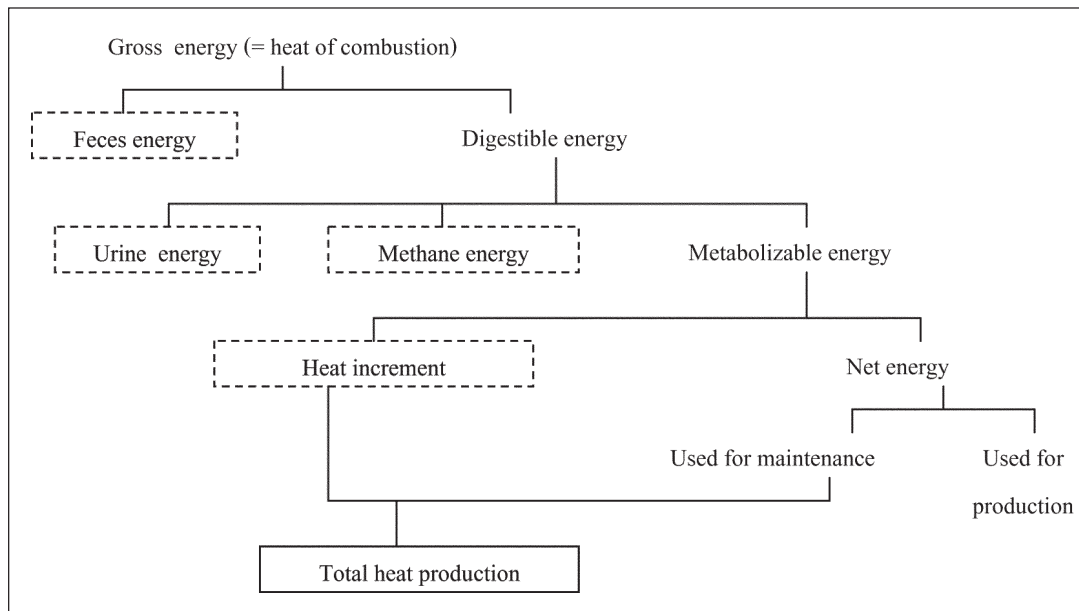


Fig.1 Partition of energy in animal and losses of energy are shown as the boxed items on the left.

Source : McDonald et al. (2002)

วิธีการประเมินความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ

การประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อนั้นมีหลากหลายวิธีการ ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธีการ คือ การทดสอบการกินอาหารแล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว โดยค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากการกินได้ที่ไม่ส่งผลให้มีเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวถือว่าเป็นค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Taylor et al., 1986) วิธีการนี้สามารถทำได้ง่ายในงานทดลองการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ จำเป็นต้องอาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นจำนวนมาก และต้องมีการทดสอบหลายครั้ง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เกิดความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด (NRC, 2000 ; Zemelink et al., 1991 ; Early et al., 2001) วิธีที่สอง คือ การวัด

สมดุลพลังงานในสัตว์ หรือ Calorimetric method (ARC, 1980) และวิธีที่สาม คือ การชำแหละเพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่สะสมในซาก หรือ Comparative slaughter technique (Lofgreen and Garrett, 1968)

การประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพโดยใช้วิธี Calorimetric method และ Comparative slaughter ถูกนำมาใช้เป็นวิธีหลักในการศึกษาความต้องการพลังงานในสัตว์ในอเมริกา (NRC, 1996) และในยุโรป (ARC, 1980) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่ต้องระมัดระวังและคำนึงถึงเรื่องการให้อาหารทดลอง ลักษณะของอาหารที่ใช้ในงานทดลอง และระดับของอาหารที่ให้ ตลอดจนสถานะแวดล้อมในระหว่างที่ทำการทดลอง ซึ่งวิธีการที่สองและสามนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน และลงทุนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรก (Beever et al., 1988; Unworth et al., 1991 ; Luo et al., 2004)

จากการประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ โดยพิจารณาจากสมดุลของพลังงานในครั้งนี้ ใช้ข้อมูลจากงานวัดสมดุลของพลังงานที่ทำการทดลองในประเทศไทยรวมทั้งหมด 5 เรื่อง ประกอบด้วย Kawashima (2000a, 2000b, 2000c) Nitipot et al. (unpublished data) และ Chaokaur et al. (2007) ข้อมูลทั้งหมดได้จากการทดลองเพื่อประเมินค่าพลังงานด้วยวิธี Gas exchange respiration calorimetry ตามวิธีการของ ARC (1980) โดยทำการทดลองในโคเนื้อ 2 สายพันธุ์ที่เลี้ยงในประเทศไทย คือ โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองและโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน

การจัดการข้อมูลก่อนนำเข้าประมวลผลทางสถิติ

ฐานข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลมีจำนวนทั้งหมด 104 ชุดข้อมูล แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามสายพันธุ์สัตว์ คือ โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยระยะโตเต็มที่ จำนวน

ทั้งหมด 40 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นระยะให้อาหารทดลองจำนวน 32 ชุดข้อมูล และอดอาหารอีก 8 ชุดข้อมูล และโคเนื้อพันธุ์บราห์มันระยะโตเต็มที่ ใช้ข้อมูลทั้งหมด 64 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นระยะให้อาหารทดลองจำนวน 52 ชุดข้อมูล และอดอาหารอีก 12 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่นำมาสร้างความสัมพันธ์นั้นถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน (ME intake, KJ/kgBW^{0.75}/d) หาได้โดยการคำนวณจากค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร (MJ) คูณกับปริมาณอาหารที่สัตว์กินต่อวัน (kgDM/d) จะเป็นค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน ส่วนที่ 2 คือ ค่าพลังงานที่สามารถกักเก็บไว้ได้ (Energy retention, KJ/kgBW^{0.75}/d) สามารถหาได้จากปริมาณพลังงานรวมในอาหารที่กินได้ต่อวัน (MJ/d) หักลบด้วยพลังงานที่สูญเสียในมูล (MJ/d) ปัสสาวะ (MJ/d) แก๊สมีเทน (MJ/d) และปริมาณความร้อนทั้งหมดที่สัตว์ผลิตขึ้น (MJ/d) ค่าพลังงาน ทั้ง 2 ส่วนดังกล่าวถูกนำมาสรุปเพื่อหาค่าเฉลี่ยดังแสดง ค่าใน Table 1 และ Table 2

Table 1 summary of database for prediction ME requirements for maintenance of ThaiNative cattle

Item	n	Mean	S.D.	Minimum	Maximum
Body weight (kg)	20	163.2	11.53	139.00	179.00
Total DM intake (kgDM/d)	16	2.62	0.19	2.36	2.91
ME intake (MJ/d)	16	23.19	3.43	17.10	30.00
ME intake (MJ/MBW)	16	502.48	73.29	374.85	644.00
Fecal energy (MJ/day)	16	20.63	2.28	16.70	24.50
Urine energy (MJ/day)	16	0.89	0.34	0.40	1.50
Heat production (MJ/day)	16	15.11	0.94	13.60	16.40
Fasting heat production (MJ/day)	4	6.85	0.62	6.10	7.50
Energy retention (MJ/MBW)	20	0.109	0.152	-0.167	0.337
Energy retention (KJ/MBW)	20	108.83	152.23	-166.71	337.09

Analysis from Kawashima et al. (2000c); Nitipot et al. (unpublished data)

Table 2 Summary of database for prediction ME requirements for maintenance for Brahman cattle.

Item	n	Mean	S.D.	Minimum	Maximum
Body weight (kg)	64	362.67	50.96	273.00	423.00
Total DM intake (kgDM/d)	52	5.26	1.42	2.29	7.36
ME intake (MJ/d)	52	44.87	14.35	17.60	74.70
ME intake (MJ/MBW)	52	534.03	133.97	262.05	795.24
Fecal energy (MJ/day)	52	40.06	10.22	17.00	56.90
Urine energy (MJ/day)	52	2.2	0.86	0.80	4.20
Heat production (MJ/day)	52	35.74	6.42	26.10	47.91
Fasting heat production (MJ/day)	12	23.94	1.64	20.16	26.10
Energy retention (MJ/MBW)	64	0.028	0.192	-0.358	0.37
Energy retention (KJ/MBW)	64	28.28	192.29	-357.61	369.49

Analysis from Kawashima et al. (2000a, 2000b) ; Chaokaur et al. (2007)

ข้อมูลถูกนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ โดยสร้างสมการเส้นตรง (linear regression) ด้วยโปรแกรม SAS (1990) กำหนดให้ค่าปริมาณการกินได้ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy intake ; MEI) เป็นตัวแปรอิสระ (แกน X) และค่าพลังงานที่สัตว์สามารถกักเก็บไว้ได้ (Energy retention; ER) เป็นตัวแปรตาม (แกน Y) โดยจุดตัดแกน X ซึ่งแสดงถึงค่าพลังงานที่สัตว์สามารถกักเก็บไว้ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ (Energy retention = 0 หรือ Y=0) หมายถึงค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพตามหุ่นจำลองของ ARC (1980) และวิธีการของ Kawashima (2000) และ Luo et al. (2004) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว พบว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อสายพันธุ์พื้นเมืองที่เลี้ยงในสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย

มีค่าเท่ากับ 388.75 KJ/kgBW^{0.75}/d โดยมีความสัมพันธ์ของพลังงานที่กักเก็บได้และปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ดังสมการคือ Energy retention = 0.89MEI -345.99 ($R^2=0.7308$, N=40, $P<0.0001$, SE=17.5346) ในขณะที่ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์รามันมีค่าเท่ากับ 397.18 KJ/kgBW^{0.75}/d และมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่กักเก็บได้ต่อพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ดังสมการคือ Energy retention = 0.76MEI -301.86 ($R^2=0.9331$, N=64, $P<0.0001$, SE = 6.2676) ซึ่งค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่าต่ำกว่าโคเนื้อพันธุ์รามันอยู่ประมาณ 2.12 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Fig.2

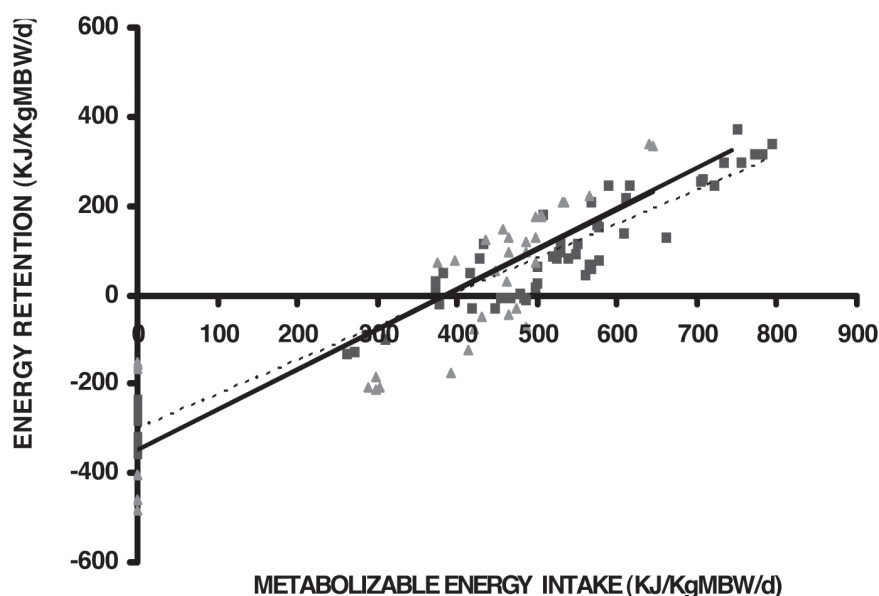


Fig.2 The relationship between metabolizable energy intake and energy retention of Thai native cattle and brahmen cattle. Points are observed values, the solid line (▲,----) represents the regression line of all observations in Thai native cattle data sets, describes the equation: energy retention = $0.89 \times \text{MEintake} - 345.99$ ($R^2=0.7308$, $N=40$, $P<0.0001$, $SE=17.5346$). The dotted line (■, ----) is for the regression line of all observations in Brahman cattle data sets, describes the equation: Energy retention = $0.76 \times \text{MEintake} - 301.86$ ($R^2=0.9331$, $N=64$, $P<0.0001$, $SE=6.2676$)

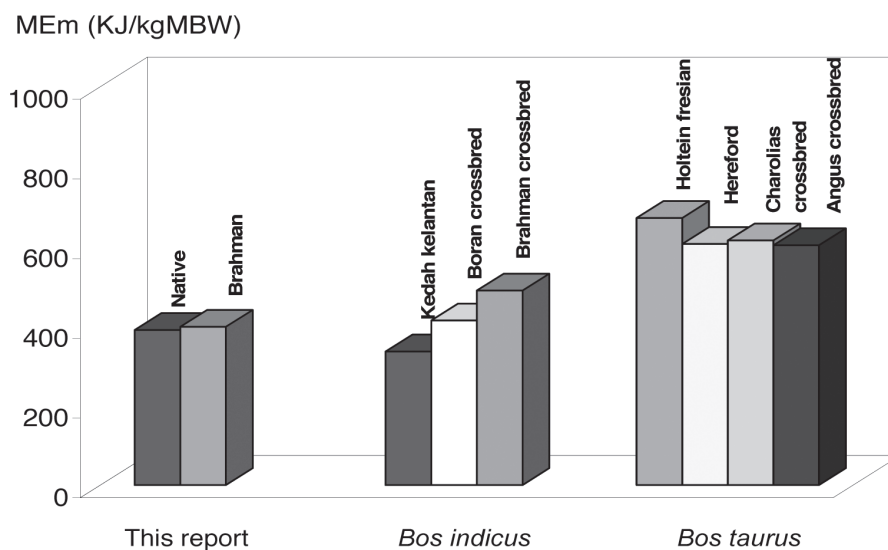
ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคพันธุ์พื้นเมืองไทย ($388.75 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$) และโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน ($397.18 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$) ที่ได้จากการสังเคราะห์เอกสารในครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคสายพันธุ์ยุโรปประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Table 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่ได้จากรายงานของ Reid et al. (1991) และ Solis et al. (1988) ซึ่งพบว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคพันธุ์เฮลฟอร์ด มีค่าเท่ากับ $605 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$, บราห์มันพันธุ์แท้ที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมต่างประเทศ (อเมริกา) มีค่าเท่ากับ $410 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/$

d, แองกัสพันธุ์แท้ มีค่าเท่ากับ $418 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$ ในขณะที่โคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์บราห์มัน มีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพเท่ากับ $488 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$ (Ferrell and Jenkins, 1998) โคเนื้อลูกผสมชาโรเล่ส์มีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ $614 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$ (Dawson and Steen, 1998) และโคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์แองกัสมีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพเท่ากับ $602 \text{ KJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$ (Montano and Bermudez, 1990) ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อที่มีพันธุ์กรรมแตกต่างกัน ดังแสดงใน Fig.3

Table 3 Summary of ME requirement for maintenance in beef cattle.

Breed	No. of animal	State	Method*	ME _m (kJ/kgMBW/d)	Reference
<i>Bos indicus</i>					
Brahman	4	Mature	FT ; BWC/MEI	410	Solis et al. (1988)
Brahman crossbred	15	Growing	CS ; RE/MEI	488	Ferrell and Jenkins (1998)
	12	Mature	CS ; RE/MEI	598	Reid et al. (1991)
Boran crossbred	15	Growing	CS ; HP/MEI	413	Ferrell and Jenkins (1998)
<i>Bos taurus</i>					
Charolais crossbred	75	Mature	IC ; RE/MEI	614	Dawson and Steen (1998)
	494	Growing	FT ; BWC/MEI	588	Montano and Bermudez (1990)
Hereford	13	Mature	CS ; RE/MEI	605	Reid et al. (1991)
	8	Growing	IC ; FHP/MEI	496	Birkelo et al. (1991)
Holstein friesian	221	Lactating	IC ; RE/MEI	670	Yan et al. (1998)
	8	Lactating	IC ; HP/MEI	610	Kirkland and Gordon (1999)
Angus	4	Mature	FT ; BWC/MEI	418	Solis et al. (1988)

* FT, feeding trial ; CS, comparative slaughter ; IC, indirect calorimetry ; RE, retain energy ; HP, heat production ; FHP, fasting heat production ; BWC, body weight change, MEI, ME intake

**Fig.3 Metabolizable energy requirement for maintenance estimates for beef cattle.**

ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่แตกต่างกันของโคเนื้อสายเลือดยุโรปกับโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศไทย ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันในด้านของปริมาณอาหารที่สัตว์กิน (ยกตัวอย่างเช่น โคเนื้อพันธุ์เฮียฟอร์ดต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพสูงกว่าโคพื้นเมืองไทยประมาณ 200 KJ/kgBW^{0.75}/d ซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากอาหารจะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 14416 KJ/d หรือคิดเป็นหน่วยที่ต้องบริโภคเพิ่มขึ้นประมาณ 1.80 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อวัน ; ในกรณีที่ใช้หน่วยที่มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 8 MJ/kgDM และโคมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 300 กิโลกรัม) ซึ่งปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่สัตว์จำเป็นต้องได้รับเพื่อการดำรงชีพที่แตกต่างกันนี้ จะส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้น

จากการสังเคราะห์เอกสารครั้งนี้จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนมีค่าต่ำกว่าโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ NRC (1996) ที่แนะนำว่า โคที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนมีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความแตกต่างกันของค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคทั้ง 2 กลุ่มนี้ มีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ พันธุกรรม เพศ อายุ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และการจัดการด้านอาหาร (ARC, 1980 ; Ferrell and Jenkins, 1984 ; NRC, 2000 ; Reid et al., 1991)

1. สายพันธุ์สัตว์ / เพศ / อายุสัตว์

ความแตกต่างทางด้านพันธุกรรมและขนาดของร่างกายมีความสัมพันธ์กับความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของสัตว์ (Ferrell and Jenkins, 1998) จากรายงานของ Kawashima (2000c) พบว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อพันธุ์บราห์มันและพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่า

ที่แตกต่างกัน (โคเนื้อพันธุ์บราห์มันมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 377 KJ/kgBW^{0.75}/d และโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 245 KJ/kgBW^{0.75}/d) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Nishida et al. (2005) ที่กล่าวว่า โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน กระบือและโคขุนพันธุ์ Japanese black ซึ่งสอดคล้องกับค่ากล่าวของ Reid et al. (1991) ที่รายงานไว้ว่า โคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิด และสายพันธุ์แตกต่างกันจะมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพที่แตกต่างกัน นอกเหนือจากปัจจัยด้านพันธุกรรมที่ส่งผลต่อค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อแล้ว NRC (2000) ยังได้รายงานไว้ว่า อายุและระยะของสัตว์ยังส่งผลต่อค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ โดยโคเนื้อที่อยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโตมีความต้องการพลังงานสูงกว่าโคที่โตเต็มที่ และโคสายพันธุ์เขตร้อน มีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคสายพันธุ์ในเขตอบอุ่นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบในสายพันธุ์เดียวกัน พบว่า โคเพศผู้ที่เป็นพ่อพันธุ์มีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพสูงกว่าโคเพศเมียประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ (ARC, 1980) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กับ Ferrell and Jenkins (1985) ที่รายงานไว้ว่า พ่อโคพันธุ์ซิมเมนทอลมีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อการดำรงชีพสูงกว่าโคสาวในสายพันธุ์เดียวกันประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และโคพันธุ์เฮียฟอร์ดเพศผู้มีความต้องการ พลังงานสูงกว่าโคสาวเฮียฟอร์ดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Montano and Bermudes (1990) ที่พบว่า โคสาวลูกผสมซาโรเลห์ ในระยะกำลังเจริญเติบโตมีความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพต่ำกว่าโคเพศผู้สายพันธุ์เดียวกันอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

2. อุณหภูมิสถานะแวดล้อมของตัวสัตว์และฤดูกาล

อุณหภูมิที่แวดล้อมตัวสัตว์ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าปริมาณการกินได้ Eastridge (1998) ได้รายงานไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมตัวสัตว์สูงกว่า 20 องศาเซลเซียสจะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง และส่งผลต่อค่าความต้องการพลังงานของตัวสัตว์ Kurihara (1996) ได้รายงานผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของสัตว์ไว้ว่า ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพจะมีค่าสูงขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของสัตว์ที่อยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิอยู่สบาย ซึ่งการจัดการอาหารที่สามารถลดความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการกินอาหารลงได้ จะส่งผลให้ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของสัตว์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การจัดการสภาวะแวดล้อมให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่สัตว์อยู่ได้สบาย (Thermoneutral zone) คือ มีอุณหภูมิในช่วงประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส (McDonald et al., 1995) หรือ 15-25 องศาเซลเซียส ในสัตว์เศรษฐกิจทั่วไป (NRC, 1996) จะส่งผลให้การสูญเสียพลังงานความร้อนออกนอกร่างกายมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yousef (2000) ที่กล่าวว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับโคเนื้ออยู่ในช่วงระหว่าง 10-26 องศาเซลเซียส Hahn and Mader (1997) ได้รายงานค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในสิ่งแวดล้อมสามารถบ่งชี้สภาวะความเครียดของสัตว์ที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศได้ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปของดัชนีบ่งชี้ที่เรียกว่า Temperature-humidity index หรือ THI (Ravagonolo et al., 2000) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$THI = (9/5 TC + 32) - (0.55 - 0.55 RH) * (9/5 TC - 26)$$

TC คือ อุณหภูมิสถานะแวดล้อม

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ระบุค่าในรูปทศนิยม)

Klinedinst et al. (1993) พบว่า เมื่อค่า THI เท่ากับ 74 สามารถส่งผลให้สัตว์เกิดความเครียด อ่อนแอ และเริ่มเกิดอาการเจ็บป่วย และเมื่อค่า THI > 84 สัตว์จะอ่อนแออย่างมากไม่กินอาหาร และเกิดการตายอย่างฉับพลันได้ ซึ่งสอดคล้องกับ West (1994) ที่รายงานไว้ว่า เมื่อค่า THI อยู่ในช่วงระหว่าง 71-81 จะส่งผลให้สัตว์เกิดความเครียด กินอาหารได้ลดลง ดื่มน้ำมากขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Du Preez et al. (1991) ที่ใช้ค่า THI เท่ากับ 70 เป็นจุดบ่งชี้ว่าสัตว์เริ่มเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน ซึ่งมีผลให้สัตว์เริ่มกินอาหารได้ลดลง และปริมาณการกินได้ของพลังงานในโคเนื้อจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากกว่า 30 องศาเซลเซียส Blaxter and Boyne (1982) และ Webster et al. (1982) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของฤดูกาลที่มีต่อค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในสัตว์ และพบว่า ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในฤดูฝนและฤดูใบไม้ผลิของโคเนื้อ แกะ และกระบือ ไบซัน มีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระดับของอุณหภูมิและช่วงแสงในฤดูกาล ตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในขณะนั้น

3. การจัดการด้านอาหาร

อาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของสัตว์ ถ้าสัตว์ได้รับอาหารเกินกว่าระดับที่ใช้ในการดำรงชีพ สัตว์จะมีการเก็บกักพลังงานไว้ในร่างกาย แต่ถ้าโภชนาที่สัตว์ได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ร่างกายของสัตว์จะทำการสลายพลังงานที่เก็บกักไว้หรือสำรองไว้ออกมาใช้ (Freetly et al., 2006) Orskov (1992) รายงานว่า ความสามารถในการเก็บกักพลังงานของร่างกายมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนและปริมาณพลังงานในอาหารที่สัตว์ได้รับ ถ้าระดับพลังงานในอาหารสูง จะส่งผลให้ปริมาณการกินได้และการเก็บกักไนโตรเจนสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการใช้โปรตีนและพลังงานมีความสัมพันธ์กัน West (1999) กล่าวว่า การจัดการด้านอาหารมีความสำคัญอย่างมากต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในเขตร้อน ซึ่งปริมาณการกินได้ของอาหารจะมี

ค่าลดลง เมื่อสัตว์ได้รับเยื่อใยจากอาหารเพิ่มขึ้น และในอาหารที่มีเยื่อใยต่ำแต่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายในปริมาณสูง ตลอดจนการเลือกใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนเยื่อใยคุณภาพต่ำในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถลดค่าการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการกินอาหารหรือค่า Heat increment ลงได้ (Cummins, 1992; Knapp and Grammer, 1991) Krehbiel et al. (2000) และ Jenkins and Ferrell (2004) ได้รายงานไว้ว่า การใช้ประโยชน์ได้จากอาหารของโคเนื้อมีความสัมพันธ์กับพันธุกรรม โดยในโคลูกผสมที่มีสายเลือดของโค *Bos indicus* หรือโคเขตร้อนจะมีความสามารถในการใช้อาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดีกว่า *Bos taurus* และโคในระยะกำลังเจริญเติบโตมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลูกโค (Sindt et al., 1991)

จากปัจจัยข้างต้นดังกล่าวได้ส่งผลให้ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อมีค่าที่แตกต่างกัน สิ่งที่เกิดขึ้นจะส่งผลดีในกรณีที่ประเทศไทยสามารถกำหนดระบบมาตรฐานการให้อาหารโคเนื้อขึ้นใช้เอง ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านต้นทุนค่าอาหาร เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียพลังงานที่สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ หรือเกินความต้องการของร่างกายสัตว์และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

สรุป

ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อสายพันธุ์พื้นเมืองและโคเนื้อพันธุ์บราห์มันที่เลี้ยงในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 388.75 KJ/kgBW^{0.75}/d และ 397.18 KJ/kgBW^{0.75}/d ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นหรือสายพันธุ์บราห์มันที่เลี้ยงในต่างประเทศเนื่องจากความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ การจัดการด้านอาหาร และ สภาพแวดล้อม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้อง สร้างระบบมาตรฐานการให้อาหารโคเนื้อ

ของประเทศไทย ให้มีความเหมาะสมสำหรับสายพันธุ์การจัดการด้านอาหาร ตลอดจนสภาวะแวดล้อมที่ใช้เลี้ยงซึ่งจะเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อของประเทศไทยอย่าง ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ โครงการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างตารางมาตรฐานความต้องการโภชนะโปรตีนและพลังงานในโคเนื้อ-โคนมไทย ภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549

เอกสารอ้างอิง

- กฤตพล สมมาตรย์. 2548. การย่อยและเมแทบอลิซึมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2542. อาหารและโภชนศาสตร์โคนม. ประสพการณ์บริหารจัดการชุดโครงการ ภูมิศึกษา: โคนม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- วิศิษฐพร สุขสมบัติ นวลปรางค์ อุทัยดา และ สุวิทย์ เพียสังกะ. 2544. การผลิตอาหารรวมที่มีประสิทธิภาพจากขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและแนวทางการประเมินความต้องการของโคนม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. U.K. London.

- Beever, D. E., S. B. Cammell, S. B. Thomas, and D. L. Gales. 1988. The effect of date of cut and barley substitution on gain and on the efficiency of utilization of grass silage by growing cattle. *Br. J. Nutr.* 60 : 307.
- Blaxter, K.L. and A. W. Boyne. 1982. Fasting and maintenance metabolism of sheep. *J. Agric. Sci.* 99 : 611.
- Chaokaur, A., T. Nishida, I. Phaowphaisal, and K. Sommart. 2007. Energy metabolism and energy requirement for maintenance of Brahman steers in tropical condition. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Energy and Pritein Metabolism and Nutrition*. Vichy. France, 9-12 september 2007. (accepted)
- Church, D. C., and W. G. Pond. 1995. *Basic Animal and Feeding*. 4th John Wiley and Sons Inc., New York.
- Cummins, K. A. 1992. Effect of dietary acid detergent fiber on responses to high environmental temperature. *J. Dairy. Sci.* 75 : 1465.
- Dawson, L.E.R. and R.W.J. Steen. 1998. Estimation of maintenance energy requirement of beef cattle and sheep. *J. Agric. Sci.* 131 : 477.
- Du Preez, J. H., S. J. Terblanche, and Giesecke W.H. 1991. Effect of heat stress on conception of dairy herd model under South African conditions. *Theriogenology* 35, 1039-1049.
- Early, R. J., O. Mahgoub, and C. D. Lue. 2001. Energy and protein utilization for maintenance and growth in Omani ram lambs in hot climates. *J. Agric. Sci.* 136 : 451
- Eastridge, M. L., H. F. Bucholtz, A. L. Slater, and C. S. Hall. 1998. Nutrient requirement for dairy cattle of the national research council versus some commonly used software. *J. Dairy. Sci.* 81 : 3049.
- Ferrell, C.L. and T. G. Jenkins. 1985. Cow type and the nutritional environment : Nutritional aspects. *J. Anim. Sci.* 61 : 725.
- 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. *J. Anim. Sci.* 76 : 637.
- Freetly, H. C., J. A. Nienaber, and T. Brown-Brandl. 2006. Changes in heat production by mature cows after changes in feeding level. *J. Anim. Sci.* 84 : 1429.
- Hahn, G. L. and T. L. Mader. 1997. Heat wave relation to th'rmoregulation feeding behavior and mortality of feedlot cattle. *Int. Livest. Environ. Symp. Agric. Eng.*
- Jenkins, T. G. and C. L. Ferrell. 2004. Prewaning efficiency for mature cows of breed crosses from tropically adapted *Bos indicus* and *Bos taurus* and unadapted *Bos taurus* breeds. *J. Anim. Sci.* 82 : 1876.
- Johnson, D. E., C. L. Ferrell, and T. G. Jenkins. 2003. The history of energetic efficiency research : Where have we been and where are we going?. *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl. 1) : E27.
- Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang, W. Boonpakdee, and M. Kurihara. 2000a. Comparative study on energy and nitrogen metabolism between Brahman cattle and swamp buffalo fed with low quality diet. Final report of

- collaborative research project between Japan International Research Center for Agriculture Sciences. Japan and Department of Livestock Development, Thailand.
- Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang, W. Boonpakdee, and F. Tereda. 2000b. Comparative study on energy and nitrogen metabolism of Brahman cattle and sheep given Ruzi hay with different levels of soybean meal. Final Report of Collaborative Research Project between Japan International Research Center for Agriculture Sciences. Japan and Department of Livestock Development, Thailand.
- Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang, W. Boonpakdee, and F. Tereda. 2000c. Energy and nitrogen metabolism of Thai native cattle given Ruzi hay with different levels of soybean meal. Final Report of Collaborative Research Project between Japan International Research Center for Agriculture Sciences. Japan and Department of Livestock Development, Thailand.
- Klinedinst, P. L., D. A. Wilhite, G. L. Hahn, and K. G. Hubbard. 1993. The potential effects of climate change on summer season dairy cattle milk production and reproduction. *Climatic Change* 23 : 21.
- Krehbiel, C. R., K. K. Kreikemeier, and C. L. Ferrell. 2000. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high grain diet. *J. Anim. Sci.* 78 : 1641.
- Kurihara, M. 1996. Energy requirement and feed of dairy cows under high temperature conditions. *JARQ.* 30 : 107.
- Lofgreen, G.P. and W. N. Garrett. 1968. A system of expressing net energy requirement and feed values for growing and finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 27 : 793.
- Lue, J., A. L. Goetsch, T. Sahlu, I. V. Nsahlai, J. E. Moore, F. N. Owens, M. L. Galyean, and C. L. Ferrell. 2004. Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing and mature goats. *Small Ruminant Research.* 53 : 231.
- Minson, D. J. 1980. *Grazing Animals*. Elsevier Publishing Company. Amsterdam. Netherlands.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 1995. *Animal Nutrition*. 5th Longman Scientific and Technical. New York.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 2002. *Animal Nutrition*. 6th Longman Scientific and Technical. New York.
- Montano M. and M. Bermudez. 1990. Energy “requirement for maintenance of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. *J. Anim. Sci.* 68 : 2279.
- Montgomery, D. C. and E. A. Peck. 1982. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y.
- National Research Council. 1996. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*. 7th Ed. National Academic Press. Washington D. C.

- National Research Council. 2000. Nutrient Requirement of Beef Cattle. 8th Ed. National Academic Press. Washington D. C.
- Nishida, T., T. Suzuki, M. Odai, I. Phaphaisal, W. Sumamal, P. Pholsen, R. Narmsilee, and S. Oshio. 2005. Studies on energy metabolism of cattle in Thailand. Proceedings Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. Vol 1. AHAT/BSAS International Conference, November 14-18, Khon Kaen, Thailand.
- Orskov, E. R. 1992. Host Animal Protein requirement and Protein Utilization. Protein Nutrition in Ruminants. 2nd Academic Press. London.
- Ravagnolo, O., I. Misztal, and G. Hoogenboomt. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. J. Dairy. Sci. 83 : 2120.
- Reid, C.R., C. M. Bailey, and M.B. Judkins. 1991. Metabolizable energy for maintenance of beef type *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred in dry temperate climate. J. Anim. Sci. 69 : 2779.
- SAS, 1990. SAS User's Guide : Statistics. 6^{ed} SAS Inst. Inc., Cary. NC.
- Sindt, M., R. Stock, and T. Klopfenstein. 1991. Calf versus yearling finishing. Beef Cattle Report. 56 : 42.
- Solis, J. C., F. M. Byer, and L.W. Greene. 1988. Maintenance requirement and energetic efficiency of cow of different breed type. J. Anim. Sci. 66 : 764.
- Taylor, C. S., R. B. Theissen, and J. Murray. 1986. Inter-breed relationship of maintenance efficiency to milk yield in cattle. Anim. Prod. 43 : 37.
- Unsworth, E. F., K. J. McCrachen, K. J. Moore, C. A. Steen, and D. J. Kilpatrick. 1991. Energy retention in steer as measured by respiration calorimetry and carcass composition. Energy Metabolism in Farm. 58 : 190.
- Webster, A. J. F., J. S. Smith, and G. S. Mollison. 1982. Energy requirements of growing cattle : Effects of sire breed, plane of nutrition, sex and season on predicted basal metabolism. Energy Metab. Proc. Symp. 29 : 84.
- West, J. W. 1994. Interaction of energy and bovine somatotropin with heat stress. J. Dairy. Sci. 77 : 2091.
- West, J. W., G. M. Hill, J. M. Fernandez, and B. G. Mullinix. 1999. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cow during cool or hot, humid weather. J. Dairy. Sci. 82 : 2455.
- Yan, T., F. J. Gordon, C. P. Ferris, R. E. Agnew, and D. C. Petterson. 1997. The fasting heat production and effect of lactation on energy utilization by dairy cows offered forage-based diets. Livest. Prod. Sci. 52 : 177.
- Yan, T., R. E. Agnew, F. J. Gordon, and M. G. Porter. 2000. Prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. Livest. Prod. Sci. 64 : 253.
- Yousef, K. 2000. Stress Physiology in Livestock Volume II : Ungulates. CRC. Press. Inc., Florida, U.S.A.
- Zemmelink, G., B. J. Tolcamp, and N. M. W. Ogink. 1991. Energy requirements for maintenance and gain of West African Dwarf goats. Small Ruminant Research. 5 : 205.