



สมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารโคเนื้อ Prediction Equations of Metabolizable Energy Content in Beef Cattle Diets

สุวิทย์ ทิพอุเทน¹ และกฤตพล สมมาตย์^{2*}

Suwit Thiputen¹ and Kritapon Sommart^{2*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาสัตวศาสตร์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹Corresponding author: kritapon@kku.ac.th

Received february 7,2011

Accepted january 31,2012

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ในอาหารโคเนื้อ โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี จลศาสตร์การผลิตแก๊สในหลอดทดลองรวมทั้งค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุของวัตถุดิบอาหารโคเนื้อ จำนวน 6 ชนิด คือ กากมันสำปะหลัง มันเส้น กากเบียร์ กากปาล์ม กากมะพร้าว และหญ้าแพงโกล่าแห้ง จากการศึกษาได้สมการที่เหมาะสมเพื่อทำนายค่า ME จำนวน 12 สมการ ประกอบด้วยสมการเชิงเส้นอย่างง่าย 5 สมการ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ในช่วง 0.57- 0.87, Residual standard deviation (RSD) อยู่ในช่วง 0.12- 0.19 ($P < 0.001$, $n = 48$) และได้สมการเชิงเส้นหลายตัวแปรอีก 7 สมการโดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.83 - 0.98, RSD อยู่ในช่วง 0.08 - 0.13 จากการทดสอบความคลาดเคลื่อนทางสถิติของสมการทำนายด้วย Paired t -test พบว่าทุกสมการมีค่าทำนายไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับค่าจริง และมีค่า Mean prediction error (MPE) อยู่ในช่วง 0.039 – 0.174 ค่า Mean proportional bias (MPB, %) อยู่ในช่วง -1.27 ถึง 0.01 แสดงให้เห็นว่าสมการดังกล่าวมีความถูกต้องและแม่นยำสูง โดยสมการที่แนะนำให้นำไปใช้ได้คือ $ME (MJ/kgDM) = 5.1194 + 0.0845IVOMD_{24h}$ ($R^2 = 0.84$, $RSD = 0.13$, $n = 48$, $P < 0.001$) และ $ME (MJ/kgDM) = 8.4967 + 0.2944IVDMD_{24h} - 0.2099IVOMD_{24h} - 0.0555NFE$ ($R^2 = 0.96$, $RSD = 0.09$, $n = 48$, $P < 0.001$)

Abstract

The aim of this experiment was to establish prediction equation for metabolizable energy value of beef cattle feedstuffs. A database was derived from chemical composition, in vitro gas production, dry matter and organic matter digestibility of 6 feedstuffs namely cassava pulp, cassava chip, brewery wasted, coconut meal, and Pangola grass hay. The results suggested that there were twelve suitable prediction equations. Five simple regression equations had coefficient of determination (R^2) range from 0.57 to 0.87 and residual standard deviation (RSD) from 0.12 to 0.19 ($P < 0.001$, $n = 48$). Seven multiple regression equations had R^2 ranged from 0.83 to 0.98 and RSD ranged from 0.08 to 0.19 ($P < 0.001$, $n = 48$). Accuracy and precision of equations evaluated by Paired t-test between actual and predicted value were not significant ($P > 0.05$). The mean proportional bias (MPB) ranged from - 1.27% to 0.01% and mean prediction error (MPE) ranged from 0.039 to 0.174. The Results indicated that the obtained equations had adequate accuracy and precision for prediction the ME value of beef cattle feedstuffs in Thailand. The recommended equations are: $ME (MJ/kgDM) = 5.1194 + 0.0845IVOMD_{24h}$ ($R^2 = 0.84$, $RSD = 0.13$, $n = 48$, $P < 0.001$) and $ME (MJ/kgDM) = 8.4967 + 0.2944IVDMD_{24h} - 0.2099IVOMD_{24h} - 0.0555NFE$ ($R^2 = 0.96$, $RSD = 0.09$, $n = 48$, $P < 0.001$).

คำสำคัญ : พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ สมการทำนาย การวัดปริมาณแก๊สในหลอดทดลอง การย่อยได้ โคเนื้อ

Keywords : metabolizable energy, prediction equations, gas production technique, digestibility, beef cattle

1. บทนำ

ค่าความต้องการพลังงานและโภชนะของสัตว์รวมทั้งคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารถือเป็นข้อมูลสำคัญ สำหรับประกอบสูตรอาหารให้มีโภชนะตรงกับความต้องการของสัตว์ ในกรณีสัตว์ใหญ่ต้องใช้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ซึ่งสามารถประเมินได้ด้วยการทดลองในตัวสัตว์ (in vivo) โดยวัดการย่อยได้แบบเก็บมูลทั้งหมด ร่วมกับการวัดปริมาณปัสสาวะและแก๊สมีเทนที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมดใน Calorimetric chamber (1, 2) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น อุปกรณ์มีราคาแพง ใช้สัตว์ทดลองและแรงงานจำนวนมาก ใช้เวลานาน และมีวิธีการที่ซับซ้อน (3, 4, 5) จึงมีผู้ศึกษาหาวิธีอื่นมาทดแทน เช่น การวัดปริมาณแก๊สในหลอดทดลอง (6, 7, 8) ซึ่งมีข้อได้เปรียบเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายน้อย ใช้เวลาสั้น ทำให้รวดเร็วในห้องปฏิบัติการและใช้อาหารทดลองน้อยกว่าการศึกษาในตัวสัตว์ สามารถประเมินวัตถุดิบได้จำนวนมากในแต่ละครั้ง (7, 4, 9) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า ME ที่ประเมินจากวิธีการทดลองในตัวสัตว์กับ

ค่าที่ได้จากวิธีศึกษาในหลอดทดลองคือค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และผลผลิตแก๊สที่ 24 ชั่วโมง มีความสัมพันธ์กันสูงมาก (10) อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมาถึงแม้จะมีสมการทำนายค่า ME จำนวนมากจากต่างประเทศให้เลือกใช้ แต่สมการเหล่านั้นมีความหลากหลายทางด้านข้อมูลที่มีความจำเพาะกับสภาพพื้นที่การปศุสัตว์ของกลุ่มประเทศนั้นๆ หากนำมาใช้ทำนายค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสภาพเขตร้อนอาจทำให้ได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งใช้วิธีการศึกษาในหลอดทดลอง ด้วยการนำข้อมูลองค์ประกอบเคมี จลศาสตร์การผลิตแก๊สและความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร มาสร้างสมการทำนายค่า ME ของวัตถุดิบอาหารโคเนื้อในประเทศไทย

2. วิธีวิจัย

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) โดยทำการบล็อกตามชุดของการเตรียมสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (rumen inoculum) และทำการสุ่ม

ปัจจัยทดลองให้ภายในแต่ละบล็อก ซึ่งมีวัตถุดิบอาหารเป็นปัจจัยทดลองประกอบด้วย กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp, CSP) มันเส้น (Cassava chip, CSC) กากเบียร์ (Brewery waste, BWW) กากปาล์ม (Palm kernel cake meal, PKC) กากมะพร้าว (Coconut meal, CCM) หญ้าแพงโกล่าแห้ง (Pangola grass hay, PGH) โดยตัวอย่างดังกล่าวได้จากการทดลองในตัวสัตว์ของ อนันท์และคณะ (11) และพีรพจน์และคณะ (12) ซึ่งทดลองวัดการย่อยได้แบบเก็บมูลทั้งหมดรวมกับการใช้ Calorimetric chamber ค่าที่ได้แสดงใน Table 1 แหล่งของเหลวจากกระเพาะหมักได้จากโคเนื้อลูกผสมจำนวน 2 ตัวอายุประมาณ 3 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 290 กิโลกรัม เป็นโคเจาะกระเพาะที่ได้รับหญ้าซึ่งเป็นอาหารหลักเลี้ยงในคอกขังเดียว ของฟาร์มภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยทำการเก็บในช่วงเช้ามืดก่อนให้อาหาร

การวัดผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (ใช้กระบอกฉีดยาแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ต่อกับสายยางยาว 15 เซนติเมตร ที่ปลายสายมีทรีเวย์ (three way) เชื่อมต่อกับเข็มฉีดยาเบอร์ 24 ยาว 1 นิ้ว การวัดในแต่ละชั่วโมงจะแทงเข็มฉีดยาผ่านจุกยางของขวดย่อย (ขวดวัดขึ้น 50 มิลลิลิตร) อ่านผลจากสเกลข้างหลอดเมื่อก้านเข็ม (plunger) หยดเคลื่อนที่แล้วบันทึกผลการประมาณแก๊สที่เกินกว่าสเกลของกระบอกฉีดยาแก้ว จะใช้ทรีเวย์เป็นตัวช่วยในการปรับ) ใช้ตัวอย่างเริ่มต้นปริมาณ 0.5 กรัม จำนวน 8 ข้างต่อตัวอย่าง (ทำทั้งหมด 3 ชุดๆ (inoculums batch) ละ 48 ข้าง รวม 144 ข้าง) ในขวดย่อยขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางและฝาลูกมียนิยมให้สนิทแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ $39 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ระหว่างนั้นเตรียมสารละลายผสม โดยใช้ของเหลวจากกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมและสารละลายตามวิธีการใน Sommart และคณะ (13) นำของเหลวที่ได้ผสมลงในขวดย่อยที่บ่มรอบปริมาตร 40 มิลลิลิตร ทำการบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิที่ $39 \pm 1^{\circ}\text{C}$ จากนั้นวัดผลผลิตแก๊สโดยในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงแรก วัดทุกๆ 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 12 ชั่วโมงแล้ววัดทุกๆ 3 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 24 และวัดอีกทุกๆ 6 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 78 และวัดครั้งสุดท้ายชั่วโมงที่ 96

ทำการวัดการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (In vitro dry matter digestibility, IVDMD) และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (In vitro organic matter digestibility, IVOMD) หลังจากบ่มที่ 12 และ 24 ชั่วโมง โดยสุ่มขวดย่อยจากทุกปัจจัยๆ ละ 8 ขวดนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C ทันทีเพื่อหยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ จากนั้นวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ โดยกรองเอาเศษที่เหลือจากการย่อยไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 24 ชั่วโมง แล้วบันทึกข้อมูลคำนวณค่าวัตถุแห้งที่เหลือจากการย่อย จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C นาน 3 ชั่วโมง เพื่อหาค่าที่เหลือจากการย่อยแล้วนำไปคำนวณค่าตามสมการ

$$\text{IVDMD} (\%) = \frac{100 \times [(\text{initial dry sample} \times \% \text{DM of sample}) - (\text{DM residue} - \text{Blank})]}{[(\text{initial dry sample} \times \% \text{DM})]}$$

$$\text{IVOMD} (\%) = \frac{100 \times [(\text{DM weight} \times \% \text{OM of sample}) - (\text{OM residue} - \text{Blank})]}{[(\text{DM weight} \times \% \text{OM of sample})]}$$

นำข้อมูลผลผลิตแก๊สที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78 และ 96 ชั่วโมง เข้าวิเคราะห์ใน SAS (1996) เพื่ออธิบายรูปแบบจลนศาสตร์การผลิตแก๊สตามสมการของ (14) $y = a + b(1 - e^{-ct})$ เมื่อ y คือ ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา (t) ใดๆ, a คือ จุดตัดแกน y, b คือ ค่าปริมาณแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ (asymptote), c คือ อัตราการผลิตแก๊ส นอกจากนั้นนำค่า IVDMD และ IVOMD ของวัตถุดิบอาหารที่ 12 และ 24 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปัจจัยการทดลองโดยวิธีการ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วย Proc GLM procedure SAS (15)

สมการทำนายค่า ME ในอาหารโคเนื้อสร้างโดยการนำค่าองค์ประกอบทางเคมี ผลผลิตแก๊ส ค่า IVDMD, IVOMD และค่า ME จริงของวัตถุดิบอาหารที่อนันท์และคณะ (11) และ พีรพจน์และคณะ (12) ได้ศึกษาไว้ (Table 1) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย PROC Stepwise function จากนั้นวิเคราะห์ PROC REG procedure SAS (15) เพื่อสร้างสมการทำนาย และทดสอบสมการด้วยวิธีการ

Paired *t* - test ใน SAS (15) ระหว่างค่าพลังงาน ME ที่ทำนายได้ (prediction) กับค่าจริง (actual) ประเมินความถูกต้องแม่นยำของแต่ละสมการ โดยใช้ค่าทางสถิติเป็นตัวชี้วัดประกอบด้วย (mean proportion bias %, MPB) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าค่าที่ได้จากการใช้สมการทำนายได้ค่าสูงกว่า (over-prediction) หรือต่ำกว่า (under-prediction) ค่าจริงในหน่วยเปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากความชันของสมการ regression ของค่าจริง (ME actual, Y-axis) กับค่าที่ทำนายได้ (ME predicted, X-axis) ที่จุดตัดแกนเท่ากับศูนย์ ถ้าความชันของสมการ regression มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าค่าทำนายได้ต่ำกว่าค่าจริง แต่ถ้ามากกว่า 1 แสดงว่าค่าทำนายได้มากกว่าค่าจริง (16) นอกจากนี้ยังทำการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากการทำนาย (mean square prediction error, MPE) ตามวิธีการของ Yan และคณะ (17) $MSPE = (1/n) \sum (P-A)^2$ $MPE = MSPE /$

เมื่อ $MSPE = \text{mean square prediction error}$,

$MPE = \text{mean prediction error}$ $A = \text{ME actual value}$, $P = \text{ME prediction value}$, $= \text{mean value of ME actual}$, $n = \text{number of pairs of values of P and A compared}$

จากนั้นเปรียบเทียบสมการที่สร้างได้ครั้งนี้กับสมการของต่างประเทศที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยทำการปรับค่าผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งเกิดจากตัวอย่าง 0.5 กรัม ให้เป็นปริมาณแก๊สที่เกิดจากน้ำหนักตัวอย่าง 0.2 กรัม เพื่อแทนค่าในสมการของต่างประเทศ (Table 2) โดยคำนวณตามสัดส่วนดังนี้ $GP \text{ จาก } 0.2 \text{ g DM} = [(0.2 \times GP \text{ จาก } 0.5 \text{ g DM}) / 0.5]$

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหาร

เมื่อพิจารณาวัตถุดิบทั้งหมด Table 1 พบว่า CSP, CSC และ PGH มีค่า Crude protein, CP อยู่ระหว่าง 2.19 – 3.37 เปอร์เซ็นต์ และ Ether extract, EE ระหว่าง 0.04 – 1.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าใน BWW, CCM และ PKC ที่มีค่า CP ในระหว่าง 16.46 – 32.74 เปอร์เซ็นต์ และ EE 9.5 – 10.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจาก BWW เป็นวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักย่อยจากโรงงานจึงทำให้ได้ค่า CP ที่สูงมากกว่าวัตถุดิบทุกตัว และมีค่าใกล้เคียงกับ (18) ในทำนองเดียวกันกับค่า EE ที่มีสูงใน

CCM และ PKC ซึ่งเป็นเศษเหลือจากพืชที่สกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามในส่วนของ Organic matter, OM ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันของวัตถุดิบทั้งหมดในช่วง 92.67 – 93.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเชื้อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) ของ PKC, PGH, CCM และ BWW มีค่า 57.91 – 80.57 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า CSP และ CSC เชื้อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) ของ CSC มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบทั้งหมด เนื่องจากได้ผ่านกรรมวิธีในการแปรสภาพจากหั่วมันโดยใช้เครื่องหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้มีเปลือกเพียงส่วนน้อยที่ติดอยู่กับเนื้อแป้งค่า ADF จึงต่ำ

3.2 ปริมาตรผลผลิตแก๊ส

ปริมาตรผลผลิตแก๊สของวัตถุดิบอาหารทดลองที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง เป็นตัวบ่งบอกถึงการย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก Getachew และคณะ (8) กล่าวว่า เมื่อหมักวัตถุดิบอาหารร่วมกับ Buffered fluid คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์เหล่านั้นจะได้เป็นกรดไขมันสายสั้น แก๊สหลักๆ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนรวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์จากการทดลองวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาการบ่มที่ 6 ชั่วโมง พบว่า CCM มีการผลิตแก๊สสูงกว่าวัตถุดิบทุกตัว ($P < 0.05$) รองลงมาคือ CSC, CSP, BWW, PGH และ PKC ตามลำดับ ผลผลิตแก๊สของ BWW ที่ 6 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับงานของ Megías และคณะ (19) มีค่าเท่ากับ 21.9 มิลลิลิตร ที่ 12 ชั่วโมง CCM มีผลผลิตแก๊สที่สูงกว่าวัตถุดิบทุกตัว ($P < 0.05$) รองลงมาเป็น CSC, CSP, PKC, PHG และ BWW ตามลำดับ ในขณะที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า CSC และ CSP มีการผลิตแก๊สมากที่สุด ($P < 0.05$) รองลงมาคือ CCM, PKC, PGH, และ BWW ตามลำดับ ที่ 48 ชั่วโมง CSC มีผลผลิตแก๊สสูงกว่าทุกวัตถุดิบ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับงานทดลองของ Pirphorn และ กฤตพล (20) รองลงมาเป็น CCM และ PKC, PGH และ BWW ที่ 72 ชั่วโมง CSC และ CSP ยังมีผลผลิตแก๊สสูงสุด รองมาเป็น CCM, PGH และ PKC และ BWW ค่าแก๊สต่ำสุดตามลำดับ ที่ 96 ชั่วโมง CSC, CSP มีผลผลิตแก๊สสูงสุด ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1 จากผลการทดลองที่

ได้แสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มของมันสำปะหลังซึ่งมีการโบไฮเดรตสูงเมื่อเกิดกระบวนการหมัก จะทำให้มีผลผลิตแก๊สสูงกว่ากากเบียร์ที่มีโปรตีนสูง (8)

3.3 จลศาสตร์การผลิตแก๊ส

ข้อมูลจลศาสตร์การผลิตแก๊สมีความสำคัญในการวิเคราะห์หุ่นจำลอง (Model) เพื่อการประเมินค่าการย่อยได้ปรากฏ (21) จากการทดลองพบว่า การย่อยสลายทันที (a) หรือจุดตัดแกน y ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ของวัตถุดิบอาหาร (water soluble) ใน CSC, PKM และ CCM มีค่าเท่ากับ - 10.364, - 8.975 และ - 8.254 มิลลิลิตร ($P>0.05$) ตามลำดับ BBW และ PGH มีค่าเท่ากับ 4.75 และ 6.86 มิลลิลิตร ($P>0.05$) แต่ CSP (-16.26 มิลลิลิตร) มีค่าแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารทั้งหมด (Table 1) ซึ่งมีค่ามากกว่างานทดลองของ ฟิรพจน์และกฤตพล (20) ที่รายงานไว้ว่า cassava pulp มีค่า a เท่ากับ -9.00 มิลลิลิตร ค่า a ที่ได้คิดลบเกิดจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในการอธิบายผลจึงใช้ค่าสัมบูรณ์ของ a มาอธิบายเพื่อแสดงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ของวัตถุดิบอาหาร ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากากมันสำปะหลังมีความสามารถในการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว

ปริมาณผลผลิตแก๊ส (a + b) คือ ค่าที่ใช้ในการประเมินศักยภาพการหมักย่อยของจุลินทรีย์พบว่า CSP, CSC มีเท่ากับ 237.21 และ 237.04 มิลลิลิตร ($P>0.05$) ซึ่งมากกว่าวัตถุดิบอาหารตัวอื่นๆ ($P<0.05$) รองลงมาเป็น PGH และ PKM, CCM มีค่าเท่ากับ 189.74, 131.17 และ 135.85 มิลลิลิตร ($P>0.05$) และ BWB มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 54.29 มิลลิลิตร ตามลำดับ (Table 1) ค่าอัตราการผลิตแก๊ส (c) อธิบายถึงอัตราเร็วในการย่อยสลายของวัตถุดิบที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมง พบว่า CSP, CSC, BWB และ PKM มีค่าอยู่ในช่วง 0.0404 – 0.0511 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง ($P>0.05$) ขณะที่ CCM มีอัตราการผลิตแก๊สเร็วสุด (0.1050 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง $P<0.05$) ซึ่งใกล้เคียงกับงานทดลองของ ฟิรพจน์และกฤตพล (20) และ PGH มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0122 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4 การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (IVDMD and IVOMD)

จากศึกษาการย่อยได้ในครั้งนี้โดยใช้เทคนิค *in vitro* gas production ค่า IVDMD (เปอร์เซ็นต์) ชั่วโมงที่ 12 ของ CCM, CSP มีค่าสูงกว่า ($P>0.05$) และ CSP, CSC, PKC ($P>0.05$) และ BWB, PKC, PGH ($P>0.05$) ตามลำดับ แต่เมื่อชั่วโมงที่ 24 ค่า IVDMD ของ CSC มีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับวัตถุดิบทั้งหมด ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 90.579 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปในทิศทางเดียวกับเวียงสกุล และคณะ (22) ที่ได้ใช้มันเส้นในสูตรอาหารผสมครบส่วน (TMR) ในสัดส่วนร้อยละ 26 พบว่าทำให้อาหารมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งดี รองลงมาเป็น CSP ย่อยได้ 77.947 เปอร์เซ็นต์ CCM 61.228 เปอร์เซ็นต์และ PKC (51.036 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ส่วน PGH, BWB มีค่า IVDMD 24h ต่ำสุดคือ 20.87 และ 20.01 เปอร์เซ็นต์ ค่า IVOMD ชั่วโมงที่ 12 พบว่า CCM และ CSC ($P>0.05$) มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็น CSP, PKC และ BWB, PGH ตามลำดับ ส่วน IVOMD ชั่วโมงที่ 24 พบว่า CSC มีค่าสูงสุด (86.00 เปอร์เซ็นต์ $P<0.05$) รองลงมาเป็น CSP (77.01 เปอร์เซ็นต์), CCM (58.78 เปอร์เซ็นต์), PKC (49.33 เปอร์เซ็นต์) ต่ำสุดคือ BWB และ PGH ตามลำดับ Romney และคณะ (27) อ้างโดย Getachew และคณะ (8) รายงานว่า การวัดการย่อยได้ (digestibility) ในวิธี *in vitro* gas มีความสัมพันธ์กันอย่างมากมีนัยสำคัญกับค่าใน *in vivo*

3.5 สมการทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารโคเนื้อ

จากการประมวลข้อมูลสามารถสร้างสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) ในวัตถุดิบอาหารโคเนื้อได้ทั้งหมด 12 สมการ (Table 2) ซึ่งประกอบด้วยสมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) สมการที่ 1 - 5 โดยพบว่าค่า ME ของวัตถุดิบอาหารโคเนื้อ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า IVDMD 24 ชั่วโมง ค่า IVOMD ที่ 12, 24 ชั่วโมง และค่าผลผลิตแก๊ส GP ที่ 12 และ 24 ชั่วโมง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determine, R^2) อยู่ในช่วง 0.57 - 0.87

สมการเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple linear regression) สมการที่ 6 – 12 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า ME กับตัวแปรอิสระหลายตัวซึ่งประกอบด้วย IVDMD

12, 24 ชั่วโมง IVOMD 24 ชั่วโมง GP24, 48, 96 ชั่วโมง โปรตีนหยาบ (CP) ไขมันหยาบ (EE) และ nitrogen free extract, NFE มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ในช่วง 0.83 – 0.98 ค่า RSD ในช่วง 0.13 – 0.08

3.6 ความถูกต้องแม่นยำของสมการ

ความถูกต้องแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น ถูกทดสอบโดยการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้ (predicted value) กับค่าจริง (actual value) ด้วยสถิติ Paired t – test พบว่าค่าทำนายที่ได้จากสมการ ไม่แตกต่างจากค่าจริง ($P>0.05$) นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (MPE) และ MPB (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งจะช่วยบ่งบอกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย มีค่าสูง (over estimated) หรือ ต่ำกว่าค่าจริง (under estimated) โดยค่าต่ำที่เข้าใกล้ศูนย์ยิ่งดีแสดงถึงความถูกต้องแม่นยำของสมการ (16, 17) จากการทดสอบพบว่าสมการถดถอยอย่างง่าย ทุกสมการมีค่าการทำนายไม่แตกต่างทางสถิติกับค่าจริง ($P>0.05$, Table 3) และพบว่าสมการที่ 5 มีความแม่นยำมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 1 - 4 คือมีค่าการทำนายได้ต่ำกว่าค่าจริงเท่ากับ -0.01 เปอร์เซ็นต์ และ MPE เท่ากับ 0.087 ตามลำดับ

สำหรับสมการหลายตัวแปรทุกสมการมีค่าการทำนายไม่แตกต่างทางสถิติกับค่าจริง ($P>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่มดังกล่าวคือสมการที่ 6 ถึง 12 พบว่าสมการที่ 10 มีความแม่นยำมากที่สุด โดยมีค่า MPB เท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ค่า MPE เท่ากับ 0.03 ตามลำดับ

ส่วนสมการที่ 13 ถึง 16 ซึ่งเป็นสมการจากต่างประเทศ ที่นิยมใช้ในการประเมินค่า ME ของวัตถุดิบอาหารในประเทศไทย พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงมากเมื่อเทียบกับทุกสมการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ โดยมีค่าที่ทำนายได้สูงเกินกว่าค่าจริงในสมการที่ 13 หรือค่า MPB เท่ากับ 98.4 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าที่ทำนายได้ต่ำกว่าค่าจริงในสมการที่ 14 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ หรือค่า MPB เท่ากับ -146, -116 และ -4.1 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า MPE เท่ากับ 31.64, 0.70, 0.79, 0.56 ตามลำดับ นั่นแสดงว่าเมื่อเรานำสมการของต่างประเทศมาใช้ประเมินค่า ME ของวัตถุดิบอาหาร จะได้ค่าเกินหรือต่ำกว่าความเป็นจริงซึ่งจะส่งผลให้สัตว์ได้พลังงานสูงหรือต่ำกว่าที่ควรได้รับเมื่อจัดการ

ประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากฐานข้อมูลในการสร้างสมการ (คุณค่าทางโภชนาหรือองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ) มีความแปรปรวนต่างกันตามสภาพแวดล้อมของภูมิประเทศ สอดคล้องกับรายงาน ของ Kaewpila และคณะ (25) และ Detmann และคณะ (26) ตามลำดับ

4. สรุป

การประเมินค่าพลังงาน ME ของวัตถุดิบอาหารโคเนื้อโดยวิธีการในหลอดทดลอง ได้ค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าที่ประเมินในตัวสัตว์ โดยสมการที่เหมาะสมในการประเมินค่า ME ของประเทศไทยคือ ME (MJ/kgDM) = $5.1194 + 0.0845IVOMD_{24h}$ ($R^2=0.84$, RSD = 0.13, $n=48$, $P<0.001$) และ ME (MJ/kgDM) = $8.4967 + 0.2944IVDMD_{24h} - 0.2099IVOMD_{24h} - 0.0555NFE$ ($R^2=0.96$, RSD = 0.09, $n=48$, $P<0.001$) ในขณะที่การใช้สมการประเมินจากต่างประเทศมีความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตาม ควรต้องมีการศึกษาต่อยอดเพื่อเพิ่มความหลากหลายของวัตถุดิบอาหารสัตว์และพัฒนาสมการต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.อนันต์ เชาว์เครือ และอาจารย์ ดร.พีรพจน์ นิตินันท์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผลงานวิจัยค่า ME และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ขอขอบคุณสมาชิกของโครงการวิจัยการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อ โคขุน โคพื้นเมืองไทยอย่างยั่งยืน (2551) ทุกท่านที่มีส่วนช่วยในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) ARC. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. London; 1980.
- (2) Yan T, Agnew RE. Prediction of nutritive values in grass silages: I. Nutrient digestibility and energy concentrations using nutrient. compositions and fermentation characteristics1. J. Anim. Sci. 2004; 82:1367–1379.

- (3) Tangjitwattanachai N, Sommart K. Metabolizable Energy Requirements for Maintenance of Thai Native and Brahman Cattle: Evaluations Based on Observations of Energy Retention. KHON KAEN AGRIC. J.2007; 35 (3): 287-300. Thai.
- (4) Getachew G, Robinson PH, DePeters EJ, Taylor SJ. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 2004; 111:57-71.
- (5) Luo J, Goetsch AL, Sahlu T, Nsahlai IV, Johnson ZB, Moore JE, et al. Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing and mature goats. Small Ruminant Research. 2004; 53: 231.
- (6) Tilley JMA, Terry RA. A two-stage technique for the digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc. 1963; 18: 104-111.
- (7) Menke KH, Raab L, Salewski A, Steingass H, Fritz D, Schneider W. 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. 1979; 93:217-222.
- (8) Geatachew G, Blummel M, Makkar HPS, Becker K. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feed: a review. Anim. Feed Sci. Technol. 1998; 72: 261- 281.
- (9) Garcia-Rodriguez A, Mandaluniz N, Flores G, Oregui LM. A gas production technique as a tool to predict organic matter digestibility of grass and maize silage. Anim. Feed Sci. Technol. 2005; 123 – 124: 267 – 276.
- (10) Menke KH, Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 1988; 28: 7-55.
- (11) Chaokaur A, Pholsen P, Nishida T, Pattarajinda V, Sommart K. Metabolizable Energy Evaluation of Beef Cattle Feedstuffs under Tropical Condition. Agricultures Annual Conference 4th Faculty of Agricultural, Aggie fair, Khon Kaen University. 2008 January 31; 34-37. Thai.
- (12) Nitipot P, Nishida T, Chaithiang R, Pattarajinda V, Sommart K. Metabolizable energy evaluation of Pangola grass hay, cassava chip, cassava pulp and brewery waste in Thai native cattle. Agricultures Annual Conference 4th Faculty of Agricultural, Aggie fair, Khon Kaen University. 2009 January 26-27; 34-37. Thai.
- (13) Sommart K, Parker DS, Wanapat M, Rowlinson P. Fermentation characteristics and microbial protein synthesis in an *in vitro* system using cassava, rice straw and dried Ruzi grass as substrates. Asian –Aust. J. Anim. Sci. 2000; 13: 1084-1093.
- (14) rskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science (Cambridge). 1979; 92: 499.
- (15) SAS. SAS User's Guide: Statistics. Version 6.12th Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC; 1996.
- (16) Mandal AB, Paul SS, Mandl GP, Kannan A, Pathak NN. Deriving nutrient requirements of growing Indian goats under tropical condition. Small Ruminant Research. 2005; 58: 201 -217.

- (17) Yan T, Frost JP, Keady TWJ, Agnew RE, Mayne CS. Prediction of nitrogen excretion in feces and urine of beef cattle offered diets containing grass silage I. J. Anim. Sci. 2007; 85:1982-1989.
- (18) McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. Animal Nutrition. 6th Longman Scientific and Technical. New York; 2002.
- (19) Megias DC, Hernandez F, Madrid J, Martinez-Teruel A. Feeding value, in vitro digestibility and in vitro gas production of different by-products for ruminant nutrition. J. Sci Food. Agric. 2002; 82: 567-572.
- (20) Nitipot P, Sommart K. Nutritive Value Evaluation of Roughages and Non-forage Fiber Sources using in vitro Gas Production Technique. KHON KAEN AGRIC. J. 2007; 35(3): 397-409. Thai.
- (21) Dijkstra J, Kebreab E, Bannink A, France J, Lopez S. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 2005; 123-124: 561-578.
- (22) Napasirth V, Sommart K, Pholsen S. Effects of Energy and Feed Source in Concentrate on Voluntary Feed intake, Ruminal Fermentation, Digestibility and Rate of Passage in Beef Cattle. KKU Res J. (GS) 2005; 5(2): 23-35. Thai.
- (23) Steingass H, Menke KH. Die Bestimmung der Verdaulichkeit und der Gehalte an umsetzbarer Energie und Nettoenergie-Laktation im Hohenheimer Futterwerttest. Kraftfutter. 1980; 11: 534-536.
- (24) Rohr K, Fliegel H, Potthast V. Überprüfung verschiedener Methoden zur Schätzung des Energiegehaltes von Mischfuttermitteln für Wiederkäuer. Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk. 1986; 56: 129-130
- (25) Kaewpila C, Otsuka M, Sommart K. Prediction of the energy value of cattle diets based on nutritive value content of tropical feed-stuffs. In the Proceedings of International Symposium: Establishment of a Feeding Standard of Beef Cattle and a Feed Database for the Indochinese Peninsula, Khon Kaen University, Thailand; 2008.
- (26) Detmann E, Valadares Filho SC, Pina D S, Henriques LT, Paulino MF, Magalhães KA, et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. Anim. Feed Sci. Technol. 2008; 143: 127-147.
- (27) Romney DL, Cadario FC, Owen E, Murray AH. Comparison of parameters from the Theodorou gas production technique using nitrogen-free and nitrogen-rich media as predictors of DM intake and digestibility. In: *In vitro* techniques for measuring nutrient supply to ruminants. Proceedings of Occasional Meeting of the British Society of Animal Science, 8–10 July 1997, University of Reading, UK; 1997.

Table 1 Chemical composition, gas production, gas kinetic, IVDMD, IVOMD and actual ME of feedstuffs

Item	Treatment ^{1/}						SEM
	CSP	CSC	BWW	PKC	CCM	PGH	
Chemical composition (%)							
DM	84.94	86.17	87.68	92.43	91.73	87.27	-
OM	93.62	96.98	95.32	95.62	94.02	92.67	-
CP	2.19	2.32	32.74	16.46	17.97	3.37	-
EE	0.04	0.22	9.50	6.77	10.12	1.15	-
NFE	79.18	91.23	37.62	55.29	53.81	55.41	-
CF	12.22	3.22	15.46	17.09	12.11	32.74	-
NDF	31.78	14.34	57.91	80.57	67.48	73.27	-
ADF	21.13	7.04	29.98	47.60	36.14	39.43	-
Gas production (ml/0.5gDM)							
6 h	26.14 ^c	35.69 ^b	20.74 ^{ed}	17.55 ^e	48.66 ^a	23.19 ^{cd}	0.32
12 h	53.71 ^c	68.77 ^b	28.77 ⁱ	44.65 ^d	88.24 ^a	35.09 ^e	0.34
24 h	138.56 ^a	145.11 ^a	36.29 ^d	85.41 ^c	108.37 ^b	51.79 ^d	0.58
48 h	178.62 ^a	189.37 ^a	48.30 ^d	102.06 ^c	116.71 ^b	89.48 ^c	0.64
72 h	186.49 ^a	199.97 ^a	56.54 ^c	108.09 ^b	120.52 ^b	120.32 ^b	0.64
96 h	189.14 ^a	203.87 ^a	59.99 ^d	110.01 ^c	121.99 ^{bc}	132.61 ^b	0.65
Kinetic of gas production ²							
a, (ml)	-16.26 ^c	-10.36 ^b	4.76 ^a	-8.98 ^b	-8.25 ^b	6.87 ^a	0.28
b, (ml)	220.95 ^a	226.11 ^a	54.29 ^d	122.20 ^c	127.60 ^c	189.74 ^b	0.74
c, (% / h)	0.04 ^b	0.04 ^b	0.04 ^b	0.05 ^b	0.11 ^a	0.01 ^c	0.02
a + b (ml)	237.21 ^a	237.04 ^a	59.84 ^d	131.17 ^c	135.85 ^c	196.61 ^b	0.77
<i>In vitro</i> digestibility ³ %							
IVDMD							
12 h	39.44 ^{ab}	35.84 ^b	14.44 ^c	30.03 ^{cb}	52.49 ^a	15.88 ^c	0.57
24 h	77.95 ^b	90.58 ^a	20.01 ^e	51.05 ^d	61.23 ^c	20.87 ^e	0.24
IVOMD							
12 h	30.62 ^b	42.76 ^a	15.52 ^c	26.36 ^b	46.01 ^a	14.69 ^c	0.37
24 h	77.02 ^b	86.00 ^a	24.85 ^e	49.34 ^d	58.78 ^c	24.26 ^e	0.21
GE, MJ/kgDM	16.24 ⁴	16.53 ⁴	22.43 ⁴	18.22 ⁵	19.09 ⁵	17.06 ⁴	-
DE, MJ/kgDM	12.17 ⁴	14.54 ⁴	7.92 ⁴	11.89 ⁵	12.67 ⁵	8.20 ⁴	-
ME, MJ/kgDM	10.89 ⁴	12.01 ⁴	7.02 ⁴	10.43 ⁵	11.14 ⁵	6.29 ⁴	-

^{a,b,c,d,e,f} Means within a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$), ^{1/}CSP = cassava pulp, CSC = cassava chip, BWW = brewery wasted, PKC = palm kernel cake meal, CCM = coconut meal, PGH = Pangola grass hay, ^{2/}a = intercept (ml), b = volume of gas production (ml/ 0.5 gDM), c = rate of gas production (% / h), (|a|+b) = potential extent of gas production (ml), ^{3/}IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility, IVOMD = *in vitro* organic matter digestibility, SEM = standard error of mean. ^{4/} ฟัรพจน์ และคณะ (12), ^{5/} อนันท์ และคณะ (11) ^{1/}ME = metabolizable energy (MJ/kgDM); IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility (%), IVOMD = *in vitro* organic matter digestibility (%), DM = dry matter (%), CP = crude protein (%), EE = ether extract (%), NFE = nitrogen free extract (%), GP = gas production, h = hour 12, 24, 96, ^{2/}RSD = residual standard deviation, ^{3/}n = observation number, na = not available

Table 2 Prediction equations for ME from feedstuffs in this study and from international reports

Equations ¹	R ²	RSD ²	P -value	n ³
This study				
(1) ME = 5.4514+ 0.0785GP _{12h}	0.57	0.19	***	48
(2) ME = 5.6083+0.0426GP _{24h}	0.72	0.15	***	48
(3) ME = 5.5477+0.0761IVDMD _{24h}	0.87	0.12	***	48
(4) ME = 5.8890+0.1275IVOMD _{12h}	0.63	0.16	***	48
(5) ME = 5.1194+0.0845IVOMD _{24h}	0.84	0.13	***	48
(6) ME = 6.1697+0.1056GP _{24h} - 0.0537GP _{48h}	0.83	0.13	***	48
(7) ME = 6.0948+0.555GP _{24h} - 0.0473GP _{48h} + 0.0748IVDMD _{24h}	0.96	0.09	***	48
(8) ME = 7.7628+ 0.0306GP _{24h} - 0.0229GP _{96h} - 0.2287IVOMD _{24h} + 0.2681IVDMD _{24h}	0.98	0.08	***	48
(9) ME = 7.6331+0.1155IVDMD _{24h} - 0.0676NFE	0.95	0.10	***	48
(10) ME = 8.4967+0.2944IVDMD _{24h} - 0.2099IVOMD _{24h} - 0.0555NFE	0.96	0.09	***	48
(11) ME = 6.1919+0.3516IVDMD _{24h} - 0.2994IVOMD _{24h} + 0.0451CP	0.96	0.09	***	48
(12) ME = 3.5917 + 0.0982IVOMD _{24h} + 0.1715EE	0.94	0.10	***	48
Others				
Menke et al. (7)				
(13) ME = 1.54 + 0.145GP _{24h} +0.00412CP + 0.0065CP ² + 0.0206EE	0.98	0.24	na	89
Steingass and Menke (23)				
(14) ME = 1.20 + 0.1456GP _{24h} + 0.007675CP + 0.01642EE	0.95	0.31	na	139
Rohr et al. (24)				
(15) ME = -0.58 + 0.1590GP _{24h} + 0.010200CP + 0.03140EE	0.90	0.15	na	40
Menke and Steingass (10)				
(16) ME = 2.2 + 0.1357GP _{24h} + 0.0057CP + 0.0002859EE ²	0.94	0.42	na	200

Table 3 The precision of ME (MJ/kg) prediction equations in beef cattle feedstuff

Equations	Predicted (P)±SE	Residual (P-A)	Paired <i>t</i> - test A vs. P (P-value)	MPB, %	MPE
(1)	9.63 ± 0.24	-0.0028 ± 0.20	ns	-0.02	0.14
(2)	9.62 ± 0.27	-0.0062 ± 0.16	ns	-0.07	0.11
(3)	9.63 ± 0.29	-0.0029 ± 0.11	ns	-0.03	0.07
(4)	9.63 ± 0.25	-0.0018 ± 0.18	ns	-0.02	0.13
(5)	9.63 ± 0.29	-0.0004 ± 0.12	ns	-0.01	0.08
(6)	9.64 ± 0.29	0.0087 ± 0.12	ns	0.09	0.08
(7)	9.62 ± 0.30	-0.0056 ± 0.05	ns	-0.06	0.04
(8)	9.57 ± 0.11	-0.0552 ± 0.24	ns	-1.27	0.17
(9)	9.63 ± 0.30	-0.0018 ± 0.06	ns	-0.02	0.04
(10)	9.63 ± 0.05	0.0010 ± 0.05	ns	0.01	0.03
(11)	9.63 ± 0.30	-0.0039 ± 0.06	ns	-0.04	0.04
(12)	9.63 ± 0.31	0.0010 ± 0.05	ns	-0.03	0.05
(13)	186.30 ± 35.86	176.67 ± 35.99	**	98.4	31.64
(14)	3.43 ± 0.18	-6.19 ± 0.38	**	-146	0.70
(15)	2.70 ± 0.30	-6.92 ± 0.46	**	-116	0.79
(16)	6.82 ± 0.58	-2.80 ± 0.68	**	-4.1	0.56

Actual (A±SE) 9.63±0.32, ME = metabolizable energy, MPE = mean prediction error, MPB = Mean proportional bias, %, ns= non significance, ** P < 0.001