การประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้าลูกผสมสกุลบราคีเรีย และศึกษาความต้องการพลังงานสำหรับโคพื้นเมืองไทย

จุฑามาศ สิทธิวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

EVALUATION OF THE NUTRITIVE VALUES OF BRACHIARIA HYBRID GRASSES AND A STUDY ON THE ENERGY REQUIREMENTS FOR THAI NATIVE CATTLE

JUTAMAS SITTHIWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR IN AGRICULTURE

FACULTY OF AGRICULTURE

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2010

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง การประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้าลูกผสมสกุลบราคีเรีย และศึกษาความต้องการพลังงาน สำหรับโคพื้นเมืองไทย

ผู้วิจัย นางสาวจุฑามาศ สิทธิวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ สุริยภัทร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กังวาน ธรรมแสง)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์พิเศษ ดร. ไมเคิล แฮร์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กฤตพล สมมาตย์)

..... คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกูล)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2553

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นได้ ด้วยความเมตตากรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ สุริยภัทร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กังวาน ธรรมแสง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำวิธีดำเนินการวิจัย การแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัย ด้วยความเมตตา เอาใจใส่ดูแลเป็นอย่างดี จนกระบวนการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Dr.Michael Hare กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนข้อมูลการวิจัยด้านพืชอาหารสัตว์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กฤตพล สมมาตย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำวิธีดำเนินการวิจัย การแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัย ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ด้วยความเมตตาเอาใจใส่ดูแลจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ให้ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์สนับสนุนการศึกษาในระดับปริญญาเอก, ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Science, JIRCAS) ที่ได้กรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาเอก (Fellowship Program, Project Site Type, 2007 - 2008) บริษัท Grupo Papalotla ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่สนับสนุนสารเคมีในงานทดลอง การใช้เทคนิคการวัดการผลิตก๊าซ (Gas production technique) และ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนอุดหนุนเพื่อการพัฒนาวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณศุภชัย อุดชาชน ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น, Dr.S. Oshio, Dr.T. Nishida และ Dr.M. Otsuka. Senior Researcher จาก JIRCAS ที่กรุณาให้คำปรึกษา และถ่ายทอดเทคโนโลยีขั้นสูงเกี่ยวกับเทคนิควิธีวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์วิจัย สถานที่วิจัย ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ จนงานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Dr.E.R. Ørskov จากสถาบันวิจัย Rowett Research Institute แห่งราชอาณาจักร Prof. Dr.Adrian R. Egan แห่ง University of Melbourne, Australia ที่ได้กรุณา

ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับโภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง ตลอดจนเทคนิคด้านถุงไนล่อน และ Dr.M. Blümmel แห่ง University of Hohenheim, Stuttgart, Germany ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ เกี่ยวกับเทคนิควิธีการวัดการผลิตก๊าซ

ขอขอบพระคุณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่เอื้อเฟื้อโคทดลองเจาะกระเพาะฝัง Rumen fistula โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวันชัย อินทิแสง นักวิจัยหน่วยสัตว์เคี้ยวเอื้อง คุณวิชาญ แก้วเลื่อน นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ คุณอิทธิพล เผ่าไพศาล ผู้อำนวยการสถานีพัฒนาอาหารสัตว์มหาสารคาม อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ที่กรุณาเป็นธุระจัดหาอาหารหยาบ และโคพื้นเมืองที่ใช้ในงานทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทำวิจัย โคทดลอง ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวรรณา อ่างทอง คุณรำไพ นามสีลี คุณพิมพาพร พลเสน และ คุณอารัญ พรหมหลวงศรี ผู้ช่วยนักวิจัยจาก JIRCAS และ เจ้าหน้าที่ฟาร์มโคทดลองทุกท่าน ที่ได้คอยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย และให้กำลังใจสม่ำเสมอด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณกิตติพัฒน์ สายประเสริฐ อาจารย์อารีรัตน์ ลุนผา คุณสุภาพรรณ เพ็งเพชร ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างหญ้าลูกผสมสกุลบราคีเรียทั้ง 16 ชนิดที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ เจ้าหน้าที่โครงการวิจัยพืชอาหารสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อาจารย์ ดร.ภัทรภร ทัศพงษ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ อาจารย์ทองปัก ทับสมบัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ ดร.พีรพจน์ นิติพจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ดร.อนันท์ เชาว์เครือ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณนายสัตวแพทย์ ดร.อุทัย ปริญญาสุทธินันท์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สละเวลาดูแลสุขภาพโคทดลอง โดยปราศจากค่าตอบแทนใดๆ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้เขียน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เปรียบเสมือนพระพรหมของลูก ให้ความรัก ความเมตตา เป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง และสนับสนุนให้ได้รับสิ่งที่เป็นมงคลกับชีวิตในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

(นางสาวจุฑามาศ สิทธิวงศ์)
ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อภาษาไทย ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ฉ

สารบัญ ฌ

สารบัญตาราง ฑ

สารบัญภาพ ฒ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ ต

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย 3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 การตรวจเอกสาร

2.1 โคพื้นเมือง 5

2.2 ความสำคัญของพืชอาหารสัตว์ 7

2.3 การประเมินคุณค่าทางโภชนะในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง 13

2.3.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition) 13

2.3.2 การศึกษาการย่อยได้ (Digestibility) 13

2.3.2.1 การทดลองกับตัวสัตว์จริง (*In vivo*) 13

2.3.2.2 การประเมินคุณค่าในหลอดทดลอง (*In vitro* technique) 14

2.3.2.3 การทดลองเพื่อวัดการเจริญเติบโต (Feeding trial) 16

2.4 ระบบพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง 17

2.4.1 พลังงานรวม (Gross energy, GE) 17

2.4.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) 20

2.4.4 ความร้อนจากการกินและการใช้ประโยชน์ของอาหาร (HI) 21

2.4.5 พลังงานสุทธิ (NE) 22

2.5 ความต้องการพลังงานในโคเนื้อ 27

2.5.1 ความต้องการพลังงาน 27

2.5.1.1 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) 27

2.5.1.2 ความต้องการพลังงานเพื่อการให้ผลผลิต (NE_p) 27

2.5.2 การประเมินความต้องการพลังงานในโคเนื้อ 28

2.5.2.1 วิธีการประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ 29

2.5.3 ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานและการกักเก็บพลังงาน 32

2.6 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ (Animal Calorimetry) 33

2.6.1 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์โดยตรง (Direct calorimetry) 34

2.6.2 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์โดยตรง (Indirect calorimetry) 34

2.7 การวัดการกักเก็บพลังงาน โดยวิธีการวัดความสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจน 42

3 ขอบเขตและวิธีการวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงาน ของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด 44

3.1.1 วัตถุประสงค์ 44

3.1.2 อุปกรณ์ และ วิธีการ 44

3.1.2.1 พืชที่ใช้ทดลอง 44

3.1.2.2 สัตว์ทดลอง 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2.3 แผนการทดลอง 45

3.1.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 45

3.1.2.5 วิธีการทดลอง 45

3.2 การทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะและพลังงาน ที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II 48

3.2.1 วัตถุประสงค์ 48

3.2.2 อุปกรณ์ และ วิธีการ 48

3.2.2.1 พืชที่ใช้ทดลอง 48

3.2.2.2 สัตว์ทดลอง 48

3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงานและประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ 51

3.3.1 วัตถุประสงค์ 51

3.3.2 การทดลอง 51

3.3.2.1 การทดลองที่ 3.1 การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคเพศผู้พันธุ์พื้นเมืองไทย 51

1) วัตถุประสงค์ 51

2) อุปกรณ์และวิธีการ 51

3.3.2.2 การทดลองที่ 3.2 การประเมินการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพื้นเมืองเพศผู้ ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ 53

1) วัตถุประสงค์ 53

2) อุปกรณ์และวิธีการ 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะ และพลังงาน ของใบหญ้าMulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด อายุการตัด 45 วัน 56

4.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition) 56

4.1.2 การประเมินการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้า ลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*In sacco* techniques) พ.ศ. 2549 58

4.1.3 การประเมินค่าการย่อยได้ของ อินทรียวัตถุ และพลังงาน โดยใช้เทคนิคการผลิตก๊าซ (Gas production technique) 65

4.2 การทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II แห้ง 67

4.2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition) 67

4.2.2 ปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินได้ 68

4.2.3 ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และความสมดุลของ ไนโตรเจนหรือโปรตีน 69

4.2.4 ความสมดุลของไนโตรเจน 70

4.2.5 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง 71

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินความต้องการพลังงานเพื่อ การเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ 76

4.3.1 การทดลองที่ 1 การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในช่วง 12 สัปดาห์แรกของ Feeding trial 76

4.3.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี 76

4.3.1.2 ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ 77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1.3 การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร 79
4.3.2 การทดลองที่ 2 การประเมินการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพื้นเมือง เพศผู้ที่ได้รับพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้นจากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ ตามคำแนะนำของ NRC (1996) 82
4.3.2.1 อาหาร และ โภชนะที่โคกินได้ (Feed and nutrient intake) 82
4.3.2.2 พลังงานใช้ประโยชน์ (Energy utilization) 83
4.3.2.3 โภชนะที่ย่อยได้ และ ปริมาณไนโตรเจนกักเก็บ (กรัม/วัน) 88
4.3.2.4 ความสมดุลของไนโตรเจน (nitrogen balance) 89

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การทดลองที่ 1 : การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงานของหญ้าMulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิด 92
5.2 การทดลองที่ 2 : การประเมินคุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II 92
5.3 การทดลองที่ 3 : การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินความต้องการพลังงานเพื่อ การเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ 93
5.4 ข้อเสนอแนะ 94

เอกสารอ้างอิง **95**

ภาคผนวก **106**

ประวัติผู้วิจัย **138**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะทางเศรษฐกิจของโคพื้นเมืองในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย	6
2.2	ค่า Gross energy (Kcal /กรัมน้ำหนักแห้ง)ของอาหารและโภชนะบางชนิด	19
2.3	สมการเพื่อการทำนายพลังงานที่ย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้	24
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ O_2 และการผลิต CO_2 ของอาหาร (RQ= $CO_2 : O_2$ ratio)	36
2.5	พลังงานความร้อนจากการออกซิไดซ์สารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมัน	37
2.6	การคำนวณการผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานที่กักเก็บไว้ในร่างกาย จากวิธีการวัดความสมดุลธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน	43
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของใบหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria	57
4.2	การย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้า Mulato II หญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*In sacco* technique)	58
4.3	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY ของใบหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด	62
4.4	การทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กิน (DDMI) อัตราการเจริญเติบโต (GR) และค่าดัชนีบ่งชี้ (Index value) ของใบหญ้า Mulato II หญ้าและหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด	64
4.5	การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และ พลังงานสุทธิ (NE)ของใบหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด	66
4.6	ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน	68
4.7	ปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินหญ้า Mulato II แห้งได้	69
4.8	การย่อยได้ของโภชนะ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และความสมดุลไนโตรเจน	71
4.9	เมตาบอลิซึมพลังงานในตัวโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง ที่อายุการตัด 45 วัน	74
4.10	เมตาบอลิซึมพลังงานในโคพื้นเมืองเพศผู้และกระบือ	75
4.11	ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารข้น และหญ้ารูซี่	77
4.12	ค่าเฉลี่ยปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินได้ในช่วง 12 สัปดาห์ของการทดลองเพื่อวัดการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของโคทดลองในช่วง 12 สัปดาห์ (84วัน)	79
4.14	น้ำหนักตัว โภชนะที่กิน และเมตาบอลิซึมพลังงาน	86
4.15	โภชนะที่ย่อยได้ และปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บ (nutrient digestibility and N retention)	88
ผ.1	แผนการแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะรูเมน	125
ผ.2	แผนการทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้า Mulato II แห้ง และเมตาบอลิซึมพลังงานในโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ที่โตเต็มที่ (1 - 21 ธันวาคม 2550)	130
ผ.3	แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ตุลาคม 2550 - 22 กุมภาพันธ์ 2551)	132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของ Bomb CalorimeterWhite Box Testing	18
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแต่ละชนิดตามลำดับขั้นกับการสูญเสียพลังงาน	23
2.3	ขั้นตอนการใช้ประโยชน์อาหารพลังงาน	26
2.4	สัดส่วนโดยประมาณของการสูญเสียและการใช้พลังงานเพื่อการต่างๆ	27
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ที่กินได้ (ME intake) กับพลังงานที่กักเก็บไว้ในร่างกาย (Energy retention, ER)และแสดงระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Metabolizable energy for maintenance level, ME_m) หลักการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ เพื่อการดำรงชีพ (Efficiency of utilization of ME for maintenance; K_m) และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency of utilization of ME for growth; K_g)	30
2.6	ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปิด	41
3.1	Manual collection of feces and urine	55
4.1	ปริมาณวัตถุแห้งที่หายไปที่ชั่วโมงบ่มต่างๆกัน	59
4.2	น้ำหนักตัวของโคที่เพิ่มขึ้นเป็นรายสัปดาห์ในช่วง 12 สัปดาห์ของการทดลอง	80
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/ $kgBW^{0.75}$/d) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เฉลี่ยต่อวัน (MEI, kJ/ $kgBW^{0.75}$/d) ในโคพื้นเมืองไทย	82
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ / kg $BW^{0.75}$) กับพลังงานที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ/kg $BW^{0.75}$) ในโคพื้นเมืองไทย	87
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง CP intake (gCP / kg $BW^{0.75}$) กับ CP retention (gCP / kg $BW^{0.75}$)ในโคพื้นเมืองไทย	91
ผ.1	ระบบวิเคราะห์การหายใจ (Respiratory analysis system)	114
ผ.2	การติดตั้งระบบท่อวัดก๊าซจากลมหายใจ ท่อน้ำ เครื่องตรวจวัดจำนวนครั้งของเคี้ยวอาหาร และ กล้องวงจรปิด	115
ผ.3	ตู้บ่ม (Incubator)	116

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ผ.4	สารละลาย (Media mixture solution)	116
ผ.5	ขั้นตอน เทคนิคการวัดการผลิตก๊าซ (Gas production technique)	117
ผ.6	โคพื้นเมืองไทยเพศผู้ โตเต็มที่ อายุ 3 ปี 6 เดือน	117
ผ.7	หญ้า Mulato II แห้ง ที่อายุการตัด 45 วัน	118
ผ.8	การสับหญ้า Mulato II แห้งโดยอาศัยเครื่องจักรกล	118
ผ.9	โคพื้นเมืองไทย เพศผู้ อายุ 12 - 15 เดือน	119
ผ.10	การผสมอาหารข้น โดยอาศัยเครื่องผสมอาหาร แบบถังตั้งเกลียวคู่	119
ผ.11	การลำเลียงหญ้ารูซี่แห้ง จากสถานีพัฒนาอาหารสัตว์มหาสารคาม ถึง ฟาร์มโคทดลอง ศูนย์วิจัย และพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น	120
ผ.12	การสับหญ้ารูซี่แห้ง โดยอาศัยเครื่องจักรกล	120
ผ.13	การชั่งน้ำหนักโคทดลอง ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ภาพซ้าย และ ภาพขวา)	121
ผ.14	โคทดลอง เลี้ยงในซองขังเดี่ยว	121
ผ.15	ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า – ออก (ส่วนหน้า) จะถูกนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้น ของก๊าซออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4)(ภาพซ้าย และ ภาพขวา)	122
ผ.16	ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า-ออก (ส่วนหน้า)	122
ผ.17	ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า - ออก (ส่วนหลัง) (ภาพซ้าย และ ภาพขวา)	123
ผ.18	หน่วยวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzing unit)	123
ผ.19	การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical analysis)	124
ผ.20	การวัดพลังงานในอาหารและมูล ด้วย SHIMADZU auto calculating adiabatic bomb calorimeter (SHIMADZU CA – 4PJ, SHIMADZU Corporation, Japan)	124

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

ADF = Acid detergent fiber

ADS = Acid detergent solution

AIA = Acid insoluble ash

ADL = Acid detergent lignin

BMR = Basal metabolic rate

CIAT = Centro International de Agricultural Tropical

CH4 = Methane

CL = Cellulose

CC = Cell content

CP = Crude protein

DMD = Dry matter disappearance

DE = Digestible energy

DDM = Digestible dry matter

DOM = Digestible organic matter

DM = Dry matter

ER = Energy retention

FE = Faecal energy

FMR = Fasting metabolic rate

FHP = Fasting heat production

GE = Gross energy

HI = Heat increment

HI_m = Heat increment for maintenance

HI_p = Heat increment for production

HC = Hemicellulose

JIRCAS = Japan International Research Center for Agricultural Science

K_m = Efficiency of utilization of ME for maintenance

K_g = Efficiency of utilization of ME for growth

ME = Metabilizable energy

สัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

MEI = Metabolizable energy intake

ME_m = Metabolizable energy for maintenance

ME_p = Metabolizable energy for production

NDF = Neutral detergent fiber

NDS = Neutral detergent solution

NE = Net energy

NFC = Non fiber carbohydrate

NFE = Nitrogen free extract

NE_m = Net energy for maintenance

NE_p = Net energy for production

OMD = Organic matter digestibility

OM = Organic matter

RQ = Respiratory Quotient

TDN = Total digestible nutrient

UE = Urinary energy

VFI = Voluntary feed intake

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้าลูกผสมสกุลบราคีเรีย และศึกษาความต้องการพลังงานสำหรับโคพื้นเมืองไทย

โดย : จุฑามาศ สิทธิวงศ์

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : เกษตรศาสตร์

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ สุริยภัทร

ศัพท์สำคัญ : โคพื้นเมือง คุณค่าทางโภชนะ สกุล Brachiaria เมตาบอลิซึมพลังงาน ความต้องการพลังงาน

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria และศึกษาความต้องการพลังงานสำหรับโคพื้นเมืองไทย แบ่งเป็น 3 การทดลอง

การทดลองที่ 1 : การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะ และพลังงานในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุแห้ง, อินทรียวัตถุ, โปรตีน, NDF, ADF และ ADL มีค่าเท่ากับ 21.74, 85.82, 13.56, 61.18, 31.60, และ 1.55 % ตามลำดับ การประเมินค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในส่วนของใบของหญ้า Mulato II เปรียบเทียบกับหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*In sacco* techniques) พบว่า มีค่าเฉลี่ยของการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงสุดที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 75.10 % สำหรับค่าความสามารถในการย่อยสลายได้สูงสุด (A + B) และค่าปริมาณอาหารที่ถูกย่อยได้จริงในกระเพาะรูเมน (Effective Degradability, ED) ที่อัตราการไหลผ่านที่ 2 และ 5 % ต่อชั่วโมง (0.02 และ 0.05 h^{-1}) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.10 ; 62.56 และ 49.69 % ตามลำดับ ($p < 0.05$) เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ไปทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้(DMI) ปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์ได้รับ (DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (GR) พบว่า ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด มีค่าเฉลี่ยของ DMI และ DDMI เท่ากับ 5.04, 3.92 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/วัน และ GR เท่ากับ 0.39 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ สำหรับการทำนายค่าดัชนีบ่งชี้ (Index Value) ที่ใช้จัดลำดับหรือเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์ พบว่า ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.92

การประเมินค่าการย่อยได้ของ อินทรียวัตถุ และพลังงานโดยใช้เทคนิคการผลิตก๊าซ พบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMO), ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้(ME) และค่าพลังงานสุทธิ (NE) มีค่าเท่ากับ 54.63 %, 8.35 และ 5.26 MJ/KgDM ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด เป็นหญ้าคุณภาพสูง

การทดลองที่ 2 : การประเมินคุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ทำการทดลองโดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection) และวัดก๊าซมีเทนจากการเรอออกจากปากของสัตว์ โดยใช้ Respiration Chamber พบว่า หญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน มีโปรตีน เท่ากับ 7.30 % ค่าเยื่อใย NDF, ADF, ADL และพลังงานรวม (GE) มีค่าเท่ากับ 75.58, 42.78, 6.62 % และ15.58 MJ/KgDM ตามลำดับ ปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้ มีค่าเท่ากับ 1.54 % น้ำหนักตัว หรือเท่ากับ 64.64 g/Kg $BW^{0.75}$ การย่อยได้ของเยื่อใย NDF และ ADF มีค่าเท่ากับ 63.05 และ 53.72 % สำหรับโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานรวม (GE), พลังงานที่ย่อยได้ (DE) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ของหญ้า Mulato II แห้ง มีค่าเท่ากับ 58.84%, 15.58, 9.59 และ 6.77 MJ/KgDM ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 : การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

การทดลองที่ 3.1 : การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Feeding trial) ของโคพันธุ์พื้นเมืองเพศผู้ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ T1 = 1.3 M, T2 = 1.6 M และ T3 = 1.9 M ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารข้น พบว่า มีโปรตีน, เยื่อใย NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 17.00, 28.40, 11.13 และ 2.01 % ตามลำดับ พลังงานรวม (GE) มีค่าเท่ากับ 18.21 MJ/KgDM สำหรับหญ้ารูซี่ พบว่า มีโปรตีน 4.82 % เยื่อใย NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 65.42, 47.21 และ 6.47 % ตามลำดับ พลังงานรวม (GE) มีค่าเท่ากับ 15.52 MJ/KgDM สำหรับปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) % มีค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้สูงสุด 3.30 Kg/head/d คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว เท่ากับ 2.68 หรือ 88.95 g/Kg $BW^{0.75}$ การเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยในช่วง 12 สัปดาห์ พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) มีการเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงสุด 71.68 Kg สำหรับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, Kg/head/d) พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เท่ากับ 0.85 Kg/head/d

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/Kg $BW^{0.75}$/d) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน (MEI, g/Kg $BW^{0.75}$/d) โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ได้สมการ คือ **MEI = 34.92 ADG +311.70**

(n = 18, R^2 = 0.72) จากสมการนี้ พบว่า โคพื้นเมืองมีความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 311.70 kJ/Kg $BW^{0.75}$/d

การทดลองที่ 3.2 : การประเมินการย่อยได้ของโภชนะและเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพื้นเมืองเพศผู้ ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ T1 = 1.3 M, T2 = 1.6 M และ T3 = 1.9 M ตามลำดับ พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) มีปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้ (DM intake) สูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.21 Kg/d คิดเป็น%น้ำหนักตัวเท่ากับ 2.22 หรือ 82.26 g/Kg $BW^{0.75}$ สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุที่โคกินได้ (OM intake), ปริมาณโปรตีนที่โคกินได้ (CP intake) และปริมาณเยื่อใย NDF ที่โคกินได้ (NDF intake) พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 75.01, 10.17 และ 35.55 g/Kg $BW^{0.75}$

พลังงานใช้ประโยชน์ (Energy utilization) พบว่า พลังงานรวมที่โคกินได้ (GE intake), พลังงานย่อยได้ที่โคกินได้ (DE intake) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ME intake) ระดับพลังงานที่ 1.9 M มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,416.88, 1,140.05 และ 992.91 kJ/Kg $BW^{0.75}$ ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI intake, kJ/Kg $BW^{0.75}$/d) และพลังงานที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (ER retention, kJ/Kg $BW^{0.75}$) โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย (Simple linear regression) ได้สมการ คือ **ER retention = 0.61 MEI – 301.80 (n =12, R^2 = 0.98)** จากสมการนี้ พบว่า โครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_m) เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 495 kJ/ Kg $BW^{0.75}$/d

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่กินได้ (CP intake, gCP/Kg $BW^{0.75}$/d) และโปรตีนที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (CP retention, gCP/Kg $BW^{0.75}$/d) โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย Simple linear regression ได้สมการ คือ **CP retention = 0.86 CP intake – 2.26 (n =12, R^2 = 0.99)** จากสมการนี้ พบว่า โคพื้นเมืองไทยมีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (CP_m) เท่ากับ 2.64 gCP/Kg $BW^{0.75}$/d หรือ คิดในรูป gN/Kg $BW^{0.75}$/d มีค่าเท่ากับ 0.42

ABSTRACT

TITLE : EVALUATION OF THE NUTRITIVE VALUES OF BRACHIARIA HYBRID GRASSES AND A STUDY ON THE ENERGY REQUIREMENTS FOR THAI NATIVE CATTLE

BY : JUTAMAS SITTHIWONG

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : AGRICULTURE

CHAIR : ASSOC. PROF. WORAPONG SURIYAPAT, Ph.D.

KEYWORDS : THAI NATIVE CATTLE / NUTRITIVE VALUES / BRACHIARIA HYBRID GRASSES / ENERGY REQUIREMENT

The objectives of this research was to evaluate the nutritive values of brachiaria hybrid grasses and the energy requirements for Thai native cattle. This study consisted of three experiments.

Experiment 1 : This experiment examined the chemical composition, the nutritive value and energy of Mulato II compared with 15 Brachiaria hybrid grasses (Leaf only), cut every 45 days. It found that, the average values for all the lines, dry matter (DM), organic matter (OM), protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent lignin (ADL) were 21.74, 85.82, 13.56, 61.18, 31.60 and 1.55 %, respectively. The evaluation of dry matter degradation of Mulato II grass compared with 15 Brachiaria hybrid grasses (Leaf only) was assessed by *In sacco* techniques. It was found that the highest dry matter degradation was at 48 hours (average value 75.10 %). The highest potential degradability (A + B) and effective degradability (ED) was at 2 and 5 % per hour (0.02 and 0.05 h^{-1}), and the average values were 75.10, 62.56 and 49.69 %, respectively ($P < 0.05$). A, B and C values from this study were used to predict dry matter intake (DMI), digestible dry matter intake (DDMI) and growth rate (GR) according to the multiple regression. It was found that for Mulato II grass and 15 brachiaria hybrid grasses (Leaf only), the average DMI, DDMI and GR values were 5.04 ± 0.43, 3.92 ± 0.43 and 0.39 ± 0.1 KgDM/d, respectively. The predict of index value was to compare the nutritive values

of forages. It was found that the Mulato II grass and 15 brachiaria hybrids grass (Leaf only), the average values of 49.92 ± 1.63. Organic matter digestibility and energy values were evaluated by in vitro gas production techniques. It was found that average values organic matter digestibility (OMD), Metabolizable energy (ME), and Net energy (NE) of Mulato II and 15 brachiaria hybrid grasses (Leaf only) were 54.63 %, 8.35 MJ/KgDM and 5.26 MJ/KgDM, respectively.

Experiment 2 : The nutritive value and metabolizable energy of Mulato II hay in male Thai-native cattle were determined by the total collection method and methane gas test measured in a respiration chamber. It was found that Mulato II hay at 45 days cutting, was the best quality hay with organic matter (OM) and crude protein (CP) of 93.72 and 7.30%. Neutral detergent fiber (NDF), Acid detergent fiber (ADF) and Acid detergent lignin (ADL) were 75.58, 42.78 and 6.62 %, respectively; Gross energy (GE) were 15.58 MJ/KgDM.

The average values for dry matter intake (DMI) were 4.75 Kg/d; 1.54 %BW or 64.64 g/KgBW$^{0.75}$. Digestibility of Neutral detergent fiber (NDF) and Acid detergent fiber (ADF) were 63.05 and 53.72 %; Total digestible nutrient (TDN), GE, DE and ME of Mulato II hay were 58.84%, 15.58, 9.59 and 6.77 MJ/KgDM, respectively.

Experiment 3 : The energy metabolism and evaluation of energy requirements for growth in male Thai-native cattle, were studied by evaluating the energy requirements for growth in the first 12 weeks in a feeding trial and evaluating nutrient digestibility and energy metabolism. The cattle were allotted into 3 groups, with the treatments being 3 levels of energy intake as follow; T1 = 1.3 M, T2 = 1.6 M and T3 = 1.9 M. The chemical composition of Crude protein (CP), Fat (EE), Crude fiber (CF), nitrogen free extract (NFE) and non fiber carbohydrate (NFC) of concentrate were 17.00, 5.86, 4.82, 70.47 and 42.07%, respectively; Neutral detergent fiber (NDF), Acid detergent fiber (ADF) and Acid detergent lignin(ADL)were 28.40, 11.13 and 2.01%, respectively; Gross energy (GE) were 18.21 MJ/ KgDM. For ruzi hay, it was found that CP, EE, CF, NFE and NFC were 4.82, 1.46, 32.43, 50.46 and 17.47%, respectively. GE were 15.52 MJ/KgDM.

For dry matter intake (DMI), it was found that the level of energy at 1.9 M (T3) had the highest values, 3.30 kg/head/d, 2.68 %BW and 88.95 g/ kgBW$^{0.75}$ /head/d. At 1.6 M (T2) were 2.64 kg/head/day, 2.35 % BW or 76.46g/ kgBW$^{0.75}$ /head/d. At 1.3 M (T1) were 2.08 kg/head/day, 2.01 % BW or 64.18 g/ kgBW$^{0.75}$ /head/d, respectively. At 1.9 M (T3), the 12 week weight

increase was 71.68 kg, level of energy at 1.6 M (T2) was 61.08 and at 1.3 M (T1) 51.35 kg. The average daily gain (ADG), was highest at 1.9 M (T3) at 0.85 kg/head/d and at 1.6 M (T2), and 1.3 M (T1) were lower at 0.73 and 0.61 kg/head/d, respectively. The correlation between ADG (g/ kgBW$^{0.75}$ /d) and ME intake (MEI, KJ/ kgBW$^{0.75}$ /d) by a simple linear regression, found that the correlation was **MEI = 34.92 ADG + 311.70 (n = 18, R^2 = 0.72)**. This regression equation, found that the energy requirement for maintenance was 311.70 kJ/ kgBW$^{0.75}$ /d

The evaluative values of digestibility of nutrient and energy metabolism of Thai - native cattle were studied in 3 treatment levels of energy intake T1 = 1.3 M, T2 = 1.6 M and T3 = 1.9 M, DMI at 1.9 M (T3) had the highest values. 4.21 kg/head/d and 2.22 % g/ kgBW$^{0.75}$ /head/d. OM intake, CP intake and NDF intake, at 1.9 M (T3) had the highest values of 75.01, 10.17 and 35.55 g/ kgBW$^{0.75}$, respectively. GE intake, DE intake and ME intake for the level of energy at 1.9 M (T3) had the highest values of 1,416.88, 1,140.05 and 992.91 kJ/ kgBW$^{0.75}$, respectively.

The Evaluation of correlation between ME intake (kJ/Kg BW$^{0.75}$ /d) and ER retention (kJ/Kg BW$^{0.75}$) by a simple linear regression, found that **ER retention = 0.61 MEI – 301.80 (n = 12, R^2 = 0.98)**. From this regression equation, it was found that the energy requirement for maintenance was 495 kJ/ Kg BW$^{0.75}$ /d. For energy of efficiency, DE/GE, ME/GE and ME/DE, it was found that the level of energy at 1.9 M (T3) had the highest values of 0.8, 0.7 and 0.87, respectively; and at 1.3 M (T1) values were lower.

The Evaluation of correlation between CP intake (gCP/ kgBW$^{0.75}$ /d) and CP retention (g/ kgBW$^{0.75}$ /d) by a simple linear regression, found that **CP retention = 0.86 CP intake – 2.26 (n = 12, R^2 = 0.99)**. From this regression equation, it was found that the protein requirement for maintenance was 2.64 gCP/ kgBW$^{0.75}$ /d or 0.42 gN / kgBW$^{0.75}$ /d.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการวิจัย

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สัตว์แสดงศักยภาพในการให้ผลผลิตที่ดี ขึ้นอยู่กับ พันธุ์สัตว์ อาหาร และ การจัดการ เฉพาะอย่างยิ่งอาหาร นับเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่สัตว์ต้องได้รับโภชนะและพลังงานอย่างเพียงพอ และเหมาะสมกับความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance) และการสร้างผลผลิต (Production) การประกอบสูตรอาหารเพื่อให้ได้โภชนะ และพลังงานที่เหมาะสมเพียงพอกับความต้องการดังกล่าว จำเป็นต้องมีการประเมิน คุณค่าทางโภชนะและความต้องการโภชนะและพลังงาน ของสัตว์เศรษฐกิจแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ข้อมูลคุณค่าทางโภชนะและความต้องการโภชนะและพลังงานสำหรับใช้เป็นแนวทางในการประกอบสูตรอาหารที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับสภาพการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจในประเทศไทย เช่นเดียวกับประเทศต่างๆ ในกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ญี่ปุ่น อังกฤษ และอเมริกา

การประเมินคุณค่าทางโภชนะ และพลังงานของอาหาร เป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้ทราบข้อมูลคุณภาพวัตถุดิบ ที่ต้องใช้ในการประกอบสูตรอาหาร ให้เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้องจำพวกโค อาหารหยาบ (Roughage) จัดเป็นอาหารหลักสำคัญที่จำเป็นต้องมีในส่วนประกอบของอาหารสำหรับโค เนื่องจากอาหารหยาบจำเป็นต่อการทำงานของกระเพาะรูเมน และการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนหน้าของโค ทำให้โคมีการย่อยได้ของโภชนะเป็นปกติ โคได้รับโภชนะอย่างเพียงพอต่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตได้ อาหารหยาบจัดเป็นแหล่งโภชนะราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารข้น ในอดีตเกษตรกรใช้อาหารหยาบเพื่อการเลี้ยงโคจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ (1) ทุ่งหญ้าธรรมชาติ (Native pasture) ได้แก่ หญ้าพื้นเมืองชนิดต่างๆ (2) วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (Crop residue) ได้แก่ ฟางข้าว และตอซังของพืชต่างๆภายหลังจากการเก็บผลผลิต เป็นต้น ซึ่งอาหารหยาบจากทั้ง 2 แหล่งนี้ มีความแปรปรวนในเรื่องของคุณภาพ และปริมาณ คือ ส่วนใหญ่มักมีคุณภาพต่ำ และปริมาณไม่แน่นอน ทำให้โคขาดโภชนะที่จำเป็นต่อความต้องการเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต ดังนั้น นักวิจัยจึงได้นำเข้าพืชอาหารสัตว์จากต่างประเทศ ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าหญ้าพื้นเมือง ซึ่งปัจจุบันพืชอาหารสัตว์ที่รู้จักกันแพร่หลาย ได้แก่ หญ้ารูซี่ หญ้ากินีสีม่วง หญ้าเนเปียร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และหญ้า Mulato II เฉพาะอย่างยิ่งหญ้า Mulato II (Brachiaria hybrid cultivar) เป็นหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนพันธุ์ใหม่ที่มี

คุณภาพดีมาก ให้ผลผลิตสูง สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี แต่มีปัญหาเกี่ยวกับการเก็บเมล็ดพันธุ์ คือผลิตเมล็ดพันธุ์ได้น้อย ดังนั้น Prof.Dr.Michael Hare นักวิจัยทางด้านพืชอาหารสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จึงได้นำเข้าพันธุ์หญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนลูกผสมสกุลบราคีเรีย (*Brachiaria spp.*) 15 สายพันธุ์ (Line) เข้ามาศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเบื้องต้น (Screening test) กับหญ้า Mulato II เกี่ยวกับผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งพันธุ์หญ้าที่ให้ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ดีที่สุด ไม่ได้บ่งชี้ถึงคุณค่าทางอาหารที่เป็นประโยชน์กับตัวสัตว์

โดย Suriyajuntratong, W.(1978) ได้แนะนำว่า คุณภาพอาหารหยาบ สามารถประเมินได้จากปริมาณความเข้มข้นของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในวัตถุแห้งที่กินได้ (MEI) พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) และโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrients, TDN) นอกจากนี้ คุณค่าทางโภชนะ และพลังงานในอาหารหยาบ ยังอาจรวมไปถึงส่วนประกอบทางเคมี หรือความเข้มข้นของโภชนะ ประสิทธิภาพการย่อยได้ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะที่ย่อยได้ ดังนั้น จึงมีการนำหญ้าชนิดต่างๆเหล่านี้มาทดสอบในตัวสัตว์ ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์นำไปสู่การประเมินคุณค่าทางโภชนะ และพลังงานในโคได้แม่นยำยิ่งขึ้น

เฉพาะอย่างยิ่งในโคพันธุ์พื้นเมืองไทย (Bos indicus) ซึ่งจัดเป็นสัตว์พื้นเมืองประจำถิ่น มีจุดเด่น คือ ตัวเล็กโตช้า มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง ทนโรค ทนแล้ง และทนต่อสภาพการขาดแคลนอาหารได้ดี โดยโคพันธุ์พื้นเมืองส่วนใหญ่ถูกเลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อย ในลักษณะเป็นอาชีพเสริม มีการเลี้ยงโคแบบรวมฝูง ไม่มีการจัดการฝูงโคที่เหมาะสม เกษตรกรส่วนใหญ่จะเลี้ยงโคแบบปล่อยแทะเล็มตามทุ่งหญ้าธรรมชาติ และพื้นที่สาธารณะในหมู่บ้าน ประกอบกับหน่วยงานภาครัฐ และนักวิชาการในมหาวิทยาลัยต่างๆ ต่างให้ความสนใจศึกษาวิจัยด้านการผลิตโคพันธุ์ต่างประเทศมากกว่าโคพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่ให้ผลผลิตน้อย และโตช้ากว่า ทำให้ไม่มีข้อมูลความต้องการโภชนะและพลังงาน (Nutrient and Energy requirement) ของโคพันธุ์พื้นเมืองไทยในแต่ละช่วงอายุสำหรับประเทศไทย ซึ่งแม้ว่าจะมีนักวิชาการในทวีปเอเชีย และยุโรปหลายประเทศ ต่างมีการศึกษาวิจัยเรื่องเหล่านี้มาเป็นเวลานาน มีการสะสมข้อมูล และความรู้ แต่การนำข้อมูลทางวิชาการที่ต่างประเทศรายงานไว้มาใช้อ้างอิง อาจไม่ถูกต้องนัก เนื่องจาก มีสภาพแวดล้อม พันธุ์สัตว์ คุณภาพอาหารสัตว์ และการจัดการที่แตกต่างกัน

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ จึงมีการประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้าลูกผสมสกุลบราคีเรีย และศึกษาความต้องการพลังงานสำหรับโคพันธุ์พื้นเมืองไทย ทำให้ได้ข้อมูลทางวิชาการหรือแนวทางการให้อาหารที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้านในแถบอินโดจีน เช่นเดียวกับ ประเทศญี่ปุ่น อังกฤษ และอเมริกา ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อเกษตรกร ที่จะได้

นำภูมิปัญญาทางด้านการเลี้ยงโคพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่สั่งสมมาจากบรรพบุรุษ มาบูรณาการเข้ากับองค์ความรู้ใหม่ที่ค้นพบจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ในการนำใช้เพื่อผลิตโคพันธุ์พื้นเมืองไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตรงตามวัตถุประสงค์ของการเลี้ยง

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ แม้ว่าจะได้ข้อมูลทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ด้านโภชนะ และความต้องการพลังงานสำหรับโคพันธุ์พื้นเมืองไทย แต่ยังคงมีข้อมูลเหล่านี้น้อยมากในประเทศไทย จึงเป็นหน้าที่ๆสำคัญของนักวิจัยทางด้านสัตวศาสตร์ที่ต้องศึกษาวิจัย สะสมข้อมูลทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ข้อมูลอ้างอิงที่ถูกต้อง แม่นยำ และมีมาตรฐานเดียวกัน สามารถนำใช้สำหรับประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพในโอกาสต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อทำการคัดเลือกข้อมูลเบื้องต้น (Screening test) ของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิด โดยใช้ส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก

1.2.2 เพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME) ในหญ้า Mulato II

1.2.3 เพื่อศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ และการเจริญเติบโต ของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะ และพลังงานในหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) มีความแตกต่างกันหรือไม่

1.3.2 คุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II แห้งมีเพียงพอต่อระดับการดำรงชีพหรือการให้ผลผลิตหรือไม่

1.3.3 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ และการเจริญเติบโต ของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนัก 100 กก. เท่ากับคำแนะนำของ NRC หรือไม่

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะ และพลังงาน ของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนลูกผสม สกุลบราเคียเรีย (*Brachiaria spp.*) 15 สายพันธุ์ (Line)

กับหญ้า Mulato II เพื่อคัดเลือกหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนคุณภาพดี ที่มีศักยภาพในการนำมาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก

1.4.2 ทราบส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะ และพลังงานของหญ้า Mulato II แห้ง ในสัตว์ทดลองโดยใช้โคพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ระยะโตเต็มวัย เพื่อใช้ในการจัดการด้านอาหารได้ถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น

1.4.3 ทราบค่าเมตาบอลิซึมพลังงาน และความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ อายุประมาณ 1 ปี (Yearling cattle) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำนายความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ และการเจริญเติบโต ของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ อายุประมาณ 1 ปี (Yearling cattle)

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 โคพื้นเมือง

จากข้อมูลจำนวนโคเนื้อในประเทศไทยมีแนวโน้มของจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น โดย พบว่า ปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีจำนวนโคเนื้อรวมทั้งสิ้น 6.6 ล้านตัว (กรมปศุสัตว์, 2550) และในปี พ.ศ.2552 มีจำนวนประมาณ 8.6 ล้านตัว (กรมปศุสัตว์, 2552) เพิ่มขึ้นประมาณ 2 ล้านตัว ประกอบด้วยประชากรโคพื้นเมือง ที่เลี้ยงกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ จำนวน 5.5 ล้านตัว โคพันธุ์และโคลูกผสมประมาณ 3.1 ล้านตัว

จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงนิยมเลี้ยงโคพื้นเมืองของไทย แม้ว่าจะประสบปัญหาด้านการตลาด พื้นที่เลี้ยงสัตว์ แรงงาน และการส่งเสริมที่ขาดประสิทธิภาพ ก็ตาม การที่ประชากรโคเนื้อทั้งหมดของประเทศเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ตามความต้องการของตลาดทุกระดับ รวมไปถึงนโยบายของรัฐบาล ที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต ทำให้เกษตรกรมีการเลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพหลักมากขึ้น โดยโคเนื้อที่นิยมเลี้ยงได้แก่ โคพันธุ์บราห์มัน แองกัส ชาร์โลเลย์ และโคพันธุ์พื้นเมือง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคพันธุ์พื้นเมือง เกษตรกรจะนิยมเลี้ยงมากที่สุดตามภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย เนื่องจากโคพื้นเมืองเป็นสัตว์เลี้ยงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และใกล้ชิดกับเกษตรกร นับจากอดีตที่ผ่านมา เกษตรกรในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย มีการเลี้ยงโคพื้นเมืองประจำถิ่นจำนวนมาก ทั้งนี้เพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆในชีวิตประจำวัน เช่น เทียมเกวียนเพื่อเป็นพาหนะในการเดินทาง ใช้ต่างสิ่งของบนดอยสูง ใช้ไถนาและนวดข้าวในฤดูทำนา เป็นกระปุกออมสินในครอบครัวที่ต้องการออมทรัพย์ และ เป็นแหล่งอาหารโปรตีนของคนในชุมชน นอกจากนี้โคพื้นเมืองยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและประเทศเพื่อนบ้านแถบอินโดจีน เนื่องจากมีจุดเด่นในด้านความสมบูรณ์พันธุ์สูง ผสมพันธุ์เก่ง เลี้ยงลูกเก่ง รักลูก รักฝูง อายุยืน ทนต่อสภาพอากาศร้อนชื้น ทนต่อโรค พยาธิ และแมลง และทนต่อสภาพการขาดแคลน สามารถใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดี ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกสับปะรด ต้นข้าวโพด ใช้ต้นทุนในการเลี้ยงดูต่ำกว่าโคพันธุ์ต่างประเทศโดยโคตามภูมิภาคต่างๆของไทยจะมีลักษณะทางเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน ดังข้อมูลในตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะทางเศรษฐกิจของโคพื้นเมืองในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย พบว่า โคขาวลำพูนมีน้ำหนักแรกเกิด

สูงสุด 18 – 20 กิโลกรัม ขณะที่โคชนมีน้ำหนักแรกเกิดต่ำสุด 14 – 15 กิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 15 – 16.8 กิโลกรัม

โคขาวลำพูนมีน้ำหนักหย่านมที่ 200 วัน สูงสุด 122 กิโลกรัม ขณะที่โคลานมีน้ำหนักหย่านมต่ำสุด 82 กิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 96.5 กิโลกรัม

อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก พบว่า โคชน มีอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกเร็วที่สุด คือ 2.5 ปี ขณะที่โคลานมีอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกสูงสุด 3 ปี โดยมีอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกเฉลี่ย 2.73 ปี

ระยะอุ้มท้อง พบว่า โคขาวลำพูน มีระยะอุ้มท้องนานที่สุด 290 – 295 วัน โดยที่โคพื้นเมืองในภูมิภาคอื่น ๆ มีระยะอุ้มท้องใกล้เคียงกัน คือ 270 – 275 วัน โดยมีระยะอุ้มท้องเฉลี่ย 275 – 280 วัน

น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ พบว่า โคขาวลำพูนเพศผู้มีน้ำหนักมากกว่าเพศเมีย และมีน้ำหนักตัวมากกว่าโคพื้นเมืองในภูมิภาคอื่น ๆ โดยเพศผู้มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 400 – 500 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 250 – 350 กิโลกรัม โดยที่น้ำหนักโคพื้นเมืองเพศผู้ และเพศเมียในภาคอีสาน โคลาน และโคชนมีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน คือ 350 – 450 กิโลกรัม และ 236.66 – 270 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีน้ำหนักเพศผู้ และเพศเมีย เมื่อโตเต็มที่เฉลี่ย 362.5 – 462.5 กิโลกรัม และ 240 – 290 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางเศรษฐกิจของโคพื้นเมืองในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

	อีสาน	ใต้ (ชน)	เหนือ (ขาวลำพูน)	กลาง (ลาน)
1. น้ำหนักแรกเกิด (กก.)	14 – 16	14 – 15	18 – 20	14 – 16
2. น้ำหนักหย่านม (กก.) (เมื่อ 200 วัน)	94	88	122	82
3. อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก (ปี)	2.71	2.5	2.7	3
4. ระยะอุ้มท้อง (วัน)	270 – 275	270 – 275	290 – 295	270 – 275
5. ช่วงห่างการให้ลูก (วัน)	395	443	434	408
6. น้ำหนักเพศผู้เมื่อโตเต็มที่(กก.)	350 – 450	350 – 450	400 – 500	350 – 450
7. น้ำหนักเพศเมียเมื่อโตเต็มที่(กก.)	230 – 260	230 – 250	250 – 350	250 – 300

ที่มา : ดัดแปลงจากเอกสารคำแนะนำการเลี้ยงโคพื้นเมือง กรมปศุสัตว์ (2548)

อย่างไรก็ตาม โคพื้นเมืองยังคงมีจุดด้อยอยู่บ้าง คือ มีขนาดเล็ก โตช้า ให้ผลผลิตต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการขาดการจัดการด้านอาหารที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของโค ซึ่งอาหารของโคส่วนใหญ่ คือ อาหารหยาบ ซึ่งได้แก่ หญ้าอาหารสัตว์ ถั่วอาหารสัตว์ และเศษเหลือทางการเกษตร เป็นต้น แต่ที่เป็นอาหารหยาบหลักคือ หญ้า ซึ่งมีทั้งหญ้าธรรมชาติและ หญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูก

2.2 ความสำคัญของหญ้าพืชอาหารสัตว์

จากสภาพการเลี้ยงโคของเกษตรกรในปัจจุบันได้มีการคัดเลือกพันธุ์พืชอาหารสัตว์คุณภาพดีให้กับสัตว์เลี้ยงของตน ทั้งนี้การนำพืชอาหารสัตว์มาใช้เลี้ยงโคทดแทนอาหารเสริมในรูปอาหารข้น (concentrate) มากขึ้นก็จะเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก โดยพืชอาหารสัตว์ (forage crops) จัดเป็นอาหารหยาบหลักที่สำคัญของโคที่ต้องกินทุกวัน มีการปลูกและมีการจัดการที่เหมาะถูกต้องเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารแล้วนำไปเลี้ยงสัตว์หรือปล่อยแทะเล็มเอง ชนิดของพืชโดยทั่วไปเป็นพืชที่มีใบมาก (herbaceous) อาจเป็นพืชอาหารสัตว์พื้นเมือง (Native pastures) พืชอาหารสัตว์ธรรมชาติ (Natural pastures) หรือพืชอาหารสัตว์ปลูก (Introduced pastures) โดยพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มักมีความแปรปรวนในด้านผลผลิตและคุณภาพทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ดิน และ การจัดการ เป็นต้น โดยพืชอาหารสัตว์ที่นิยมปลูกเป็นเป็นพืชอาหารสัตว์เขตร้อนที่ผ่านการคัดเลือก และยอมรับว่ามีคุณภาพดีปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย เหมาะในการปลูกเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วยพืชตระกูลใหญ่ๆ 2 ตระกูล คือ ตระกูลหญ้า (Poaceae หรือ Gramineae) และ ตระกูลถั่ว (Fabaceae หรือ Leguminoceae) ได้แก่ หญ้ารูซี่ ถั่วฮามาต้า หญ้ากินนี หญ้าเนเปียร์ ถั่วลาย และ หญ้าขน เป็นต้น โดยพืชอาหารสัตว์ในตระกูลหญ้า มาจาก สกุล (genus) ต่างๆมากมาย เช่น พืชในตระกูลหญ้า ซึ่งประกอบด้วย genus *Panicum*, *Brachiaria*, *Paspalum*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Sorghum* เป็นต้น โดยหญ้าในสกุลเดียวกันยังแบ่งเป็นชนิด (Species) ต่างๆ อีก เช่น หญ้าในสกุลบราคีเรีย (Brachiaria) เป็นหญ้าที่มีศักยภาพสูงที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคในเขตร้อน แต่มีข้อจำกัด คือ หญ้ารูซี่ (*B. ruziziensis*) ให้ผลผลิตสูงในฤดูฝนแต่ไม่ทนแล้ง ต้นหญ้าแห้งตายหากมีฤดูแล้งที่ยาวนาน ขณะที่หญ้าซิกแนล (*B. decumbens*) เจริญเติบโตได้ดีในฤดูแล้งแต่มีปัญหา คือ ผลิตเมล็ดได้น้อย ดังนั้น Prof. Dr.Michael Hare จากโครงการวิจัยพืชอาหารสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจึงได้นำหญ้า Mulato II เข้ามาในไทย โดยหญ้า Mulato II นี้เป็นหญ้าในสกุล Brachiaria ที่ถูกปรับปรุงพันธุ์ครั้งแรกโดยศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (Centro International de Agricultural Tropical, CIAT) ในประเทศโคลัมเบีย เป็นหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนลูกผสม 3 สายพันธุ์ ระหว่าง *B. ruziziensis*, *B. brizantha* และ *B. decumbens*

มีคุณภาพดี ให้ผลผลิตสูงทนแล้ง แต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง ทนการเหยียบย่ำ สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำได้ดี ชอบอากาศร้อน มีความน่ากินสูง มีโปรตีนหยาบอยู่ระหว่าง 7-16 % ลักษณะสำคัญของหญ้า Mulato II คือ มีลักษณะกอตั้งกึ่งเลื้อย ลำต้นกลมสีเขียว มีขนสีขาวปกคลุมทั้งใบ ลำต้นและใบมีขนาดยาว 35 – 50 ซม. กว้าง 2.2 – 2.7 ซม. ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 15,535 $\pm$ 2,558 กก./เฮคแตร์ ที่อายุการตัด 45 วันและมีการหว่านปุ๋ย N-P-K (15-15-15) หลังตัดสัดส่วน 200 กก./เฮคแตร์ สำหรับการให้ผลผลิตเมล็ด พบว่า หญ้า Mulato II จะออกช่อดอกในช่วงปลายฤดูฝน หรือต้นฤดูหนาวประมาณเดือนตุลาคม ช่อดอกมีขนาดใหญ่และออกช่อดอกพร้อมกัน จึงง่ายต่อการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ และเมล็ดมีน้ำหนักมากกว่าเมล็ดหญ้ารูซี่เกือบ 2 เท่า โดย 1,000 เมล็ด มีน้ำหนักสูงถึง 8.7 กรัม แต่หลังจากที่มีการนำเข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ถึงปัจจุบันที่มีการปลูกเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์และเลี้ยงโคอย่างแพร่หลาย พบว่า หญ้า Mulato II เป็นหญ้าคุณภาพดีมาก แต่มีปัญหาในเรื่องของการผลิตเมล็ดพันธุ์ คือ ผลิตเมล็ดได้น้อย มีราคาค่อนข้างสูง ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดซึ่งปัจจุบันราคาขายประมาณกิโลกรัมละ 350 บาท ดังนั้น Prof. Dr. Michael Hare ร่วมกับ บริษัท Grupo papalotla ประเทศสหรัฐอเมริกา จึงได้นำเข้าหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนลูกผสมสกุลบราคีเรีย (Brachiaria) อีก 15 ชนิด เพื่อทำการวิจัยประเมินพันธุ์โดยหญ้าทั้ง 15 ชนิดนี้ได้ผ่านการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ที่ CIAT ทั้งนี้เพื่อหาสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดี สามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ได้มากและมีราคาถูก เหมาะที่จะนำมาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเลี้ยงโคและผลิตเมล็ดพันธุ์ในโอกาสต่อไป โดยหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนลูกผสมสกุลบราคีเรีย ที่นำเข้ามาทั้ง 15 ชนิด มีดังต่อไปนี้

2.2.1 หญ้า BR02/1752

รูปพรรณ จัดเป็นหญ้าประเภทกอตั้งกึ่งเลื้อย รากแตกตามข้อที่สัมผัสผิวดิน หน่อต้นใหม่จะเกิดระหว่างกาบใบกับลำต้น ลำต้นกลมสีเขียว มีขนสีขาวปกคลุม แผ่นใบมีขนสีขาวยาวนุ่มปกคลุมทั้งหน้าใบและหลังใบ สัมผัสนุ่มมือ ใบสีเขียวเข้ม ขนาดใหญ่

ผลผลิต ให้ผลผลิตนน.แห้ง 6,500 – 7,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน โดยมีระดับโปรตีน 7 – 13 %, NDF 56 – 64 %, ADF 28 – 35 % หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.2 หญ้า BR02/1747

รูปพรรณ จัดเป็นหญ้าประเภทกอตั้ง ลำต้นกลม และมีขนาดใหญ่ มีสีเขียว ขนสีขาวปกคลุมทั่วทั้งลำต้น ใบมีสีเขียวเข้ม ขนปกคลุมเป็นจำนวนมากทั้งหน้าใบและหลังใบ ขนาดของใบ 35 – 40 ซม. และกว้าง 22 – 25 ซม.ลักษณะช่อดอก เป็นแบบ panicle ยาว 170 – 185 ซม. มี 5 – 8 raceme เมล็ดมีขนปกคลุม

ผลผลิต ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,500 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน โดยมีคุณค่าทางอาหารคือ ระดับโปรตีน 6 – 13%, NDF 56 – 65% และ ADF 29 – 36% ซึ่งหลังการตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.3 หญ้า BR02/1718

รูปพรรณ เป็นหญ้าที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง แต่หน่อใหม่ที่เกิดขึ้นจะขยายออกด้านข้าง ลำต้นมีลักษณะกลม สีเขียวเข้ม ปกคลุมด้วยขนจำนวนมากทั่วทั้งต้น ใบมีสีเขียว มีความยาว 30 – 34 ซม. และกว้าง 1.8 – 2.2 ซม. มีขนสีขาวปกคลุมทั้งหน้าใบและหลังใบ ช่อดอกเป็นแบบ panicle ยาว 140 – 148 ซม. มี 6 – 9 raceme เมล็ดมีขนสีขาวปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 4,000 – 4,500 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 6 – 11%, NDF 56 – 64% และ ADF 28 – 36% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.4 หญ้า BR02/1245

รูปพรรณ ลักษณะการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง ลำต้นกลม เรียวเล็ก มีข้อและปล้องเห็นเด่นชัด ลำต้นมีสีเขียว แต่ไม่มีขนปกคลุมทั้งลำต้นและข้อปล้อง ใบมีสีเขียว ไม่มีขนปกคลุมทั้งหน้าใบและหลังใบ ซึ่งใบมีความยาว 37 – 45 ซม. และมีความกว้าง 1.5 – 2.2 ซม. สำหรับช่อดอกเป็นแบบ panicle ยาว 205 – 215 ซม. มี 3 – 5 raceme เมล็ดมีขนปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,400 – 6,500 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 6 – 12%, NDF 58 – 68% และ ADF 29 – 39% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.5 หญ้า BR02/0771

รูปพรรณ เป็นหญ้าที่มีการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง ลำต้นกลม เรียวเล็ก มีข้อปล้องเห็นได้ชัด มีขนเล็กน้อยบริเวณลำต้น สำหรับใบมีสีเขียว มีความยาว 43 – 50 ซม. และมีความกว้าง 1.9 – 2.4 ซม. บริเวณหน้าใบจะมีขนสั้น ๆ จำนวนมากปกคลุม แต่หลังใบไม่มีช่อดอกเป็นแบบ panicle ยาว 155 – 160 ซม. มี 5 – 7 raceme เมล็ดมีขนสั้น ๆ ปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,200 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 8 – 13%, NDF 59 – 67% และ ADF 29 – 39% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.6 หญ้า BR02/1718

รูปพรรณ มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง มีข้อปล้องอย่างเด่นชัด สำหรับหน่อใหม่เกิดระหว่างกาบใบและลำต้น ลำต้นกลม เรียวเล็ก สีเขียวอ่อน มีขนสีขาวปกคลุมบริเวณข้อปล้อง ใบมีสีเขียว ยาวเรียวปลายแหลม มีความยาว 37 – 42 ซม. และกว้าง 1.7 – 2.2 ซม. หน้าใบจะมีขนสีขาวสั้น ๆ ปกคลุม หลังใบไม่มี ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ซึ่งช่อดอกยาว 118 – 125 ซม. มี 4 – 5 raceme เมล็ดสีเขียว มีขนปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 6,500 – 7,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 8 – 13%, NDF 58 – 66% และ ADF 27 – 36% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก. / เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.7 หญ้า BR02/1372

รูปพรรณ ลักษณะการเจริญเติบโต ลำต้นเลื้อยกึ่งกอตั้ง รากจะเจริญออกมาจากข้อและลำต้นจะแผ่ขยายออก ลำต้นกลม เรียวเล็ก มีขนปกคลุมสีขาว ลำต้นมีสีเขียว สำหรับใบมีสีเขียวเรียวยาว มีความยาว 37 – 43 ซม. และกว้าง 1.5 – 2.0 ซม. ทั้งหน้าใบและหลังใบ มีขนสีขาวปกคลุม ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 120 – 129 ซม. เมล็ดมีสีเขียวอ่อน มีขนปกคลุมสีขาว

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,000 – 5,500 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 7 – 14%, NDF 59 – 68% และ ADF 29 – 39% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.8 หญ้า BR02/1728

รูปพรรณ ลักษณะการเจริญเติบโต ลำต้นแบบกอตั้ง และแตกรากตามข้อที่สัมผัสดิน มีข้อปล้องเด่นชัด ลำต้นกลม เรียวเล็ก สีเขียวเข้ม ลำต้นมีขนสีขาวทั่วทั้งต้น ใบมีสีเขียวเข้ม ใบเรียวยาว ซึ่งมีความยาว 49 – 55 ซม. และมีความกว้าง 1.3 – 1.8 ซม. หน้าใบจะมีขนสีขาวหนาแน่นสัมผัสรู้สึกนุ่มมือ แต่หลังใบมีขนปกคลุมเล็กน้อย ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 120 – 130 ซม. ประกอบด้วย 3 – 5 raceme เมล็ดมีสีเขียว มีขนสีขาวปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,500 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 6 – 13%, NDF 61 – 71% และ ADF 31 – 40% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.9 หญ้า BR02/0465

รูปพรรณ เป็นหญ้าประเภทกอตั้งกึ่งเลื้อย ลำต้นมีลักษณะกลมขนาดใหญ่ ปกคลุมด้วยขนสีขาวเป็นจำนวนมาก ลำต้นมีสีเขียว ใบมีความยาว 35 – 45 ซม. และกว้าง 2.5 – 3.0 ซม.

มีขนสีขาวปกคลุมอย่างหนาแน่น ทั้งหน้าใบและหลังใบ สัมผัสนุ่มมือ ใบมีสีเขียว สำหรับช่อดอกเป็นแบบ panicle ยาว 120 – 145 ซม. มี 3 – 6 raceme เมล็ดมีขนยาวเล็กน้อย

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 7,000 – 8,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุกๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 7 – 13%, NDF 63 – 69% และ ADF 32 – 40% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.10 หญ้า BR02/0768

รูปพรรณ เป็นหญ้าที่มีการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง แต่ก็มีการแตกรากตามข้อที่สัมผัสดิน ลำต้นกลมเรียวเล็ก สีเขียว มีจำนวนข้อปล้องเห็นเด่นชัด ไม่มีขนปกคลุมทั้งลำต้นและบริเวณข้อปล้อง สำหรับใบจะเรียวยาวปลายแหลม หน้าใบมีขนสีขาวสั้น ๆ แต่หลังใบไม่มีขน มีความยาว 45 – 52 ซม. และความกว้าง 2.5 – 3.5 ซม. ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกมีความยาว 150 – 189 ซม. ประกอบด้วย 4 – 6 raceme เมล็ดมีสีเขียวอ่อน ไม่มีขนสีขาวปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,000 – 6,500 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุกๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 8 – 13 %, NDF 61 – 67 % และ ADF 30 – 38 % หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.11 หญ้า BR02/1794

รูปพรรณ เป็นหญ้าประเภทกอตั้ง ลำต้นสูงมีข้อปล้องเด่นชัด และมีรากเจริญออกมาจากข้อที่สัมผัสดิน ลำต้นมีสีเขียว กลม มีขนปกคลุมหนาแน่นสีขาว ทั้งบริเวณข้อและลำต้น ใบยาวเรียวปลายแหลม ทั้งหน้าใบ และหลังใบมีขนสีขาวปกคลุมอย่างหนาแน่น ยาว 42 – 48 ซม. และกว้าง 1.7 – 2.2 ซม. ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 150 – 175 ซม. มี 5 – 8 raceme เมล็ดมีสีเขียวอ่อน มีขนสีขาวสั้น ๆ ปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5,500 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 7 – 12 %, NDF 57 – 65 % และ ADF 30 – 36 % หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.12 หญ้า BR02/1485

รูปพรรณ ลักษณะการเจริญเติบโตแบบกอตั้งกึ่งเลื้อย แผ่ขยายออกทางด้านข้าง ลำต้นกลม เรียวเล็ก มีสีเขียว มีข้อปล้องเห็นเด่นชัด ลำต้นมีขนปกคลุมปานกลาง ใบมีลักษณะแบนเรียบ สัมผัสรู้สึกนุ่มมือ ใบเรียวยาว สีเขียว มีความยาว 47 – 54 ซม. และกว้าง 2.0 – 2.3 ซม. หน้าใบและหลังใบ มีขนสีขาวปกคลุม สำหรับช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 195 – 215 ซม. ประกอบด้วย 3 – 6 raceme ดอกย่อยมีสีเขียว มีขนสีขาวปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 3,500 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุก ๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 8 – 14 %, NDF 59 – 68% และ ADF 30 – 38% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.13 หญ้า BR02/1452

รูปพรรณ เป็นหญ้าประเภทกอตั้ง ลำต้นกลม เรียวเล็ก สีเขียวอ่อน ลำต้นมีขนสีขาวเล็กน้อย ใบมีลักษณะเรียวยาว แหลมคล้ายหอก มีสีเขียวอ่อนปนเหลือง ซึ่งมีความยาว 35 – 40 ซม. และกว้าง 1.6 – 2.0 ซม. หน้าใบมีขนสั้น ๆ ปกคลุมเล็กน้อย ส่วนหลังใบไม่มีขน ช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 180 – 210 ซม. ประกอบด้วย 3 – 5 raceme เมล็ดมีสีเขียวอ่อน มีขนปกคลุมเล็กน้อย

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 4,000 – 6,000 กก./ เฮกแตร์ จากการตัดทุกๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 8 – 15 %, NDF 57 – 66 % และ ADF 29 – 38 % หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.14 หญ้า BR02/1423

รูปพรรณ เป็นหญ้าแบบกอตั้ง รากเจริญออกมาจากรากที่สัมผัสดิน ลำต้นยาว กลม เล็กเรียว มีสีเขียว มีขนสีขาวเล็กน้อยบริเวณข้อปล้อง ใบเรียวยาวปลายแหลม มีสีเขียวเข้ม มีความยาว 36 – 41 ซม. และกว้าง 1.3 – 1.9 ซม. ทั้งหน้าใบและหลังใบไม่มีขนปกคลุม ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 105 – 120 ซม. ประกอบด้วย 3 – 5 raceme เมล็ดมีสีเขียว มีขนปกคลุมหนาแน่น

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 4,000 – 6,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุกๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 7 – 13%, NDF 58 – 66% และ ADF 29 – 37% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

2.2.15 หญ้า BR02/1263

รูปพรรณ ลักษณะการเจริญเติบโตแบบกอตั้ง และรากเจริญออกมาจากข้อที่สัมผัสดิน มีข้อปล้องเห็นได้ชัด ลำต้นกลม เล็ก สีเขียวอ่อน พบขนบริเวณข้อปล้อง ใบมีสีเขียว เรียวยาว มีความยาว 37 – 45 ซม. และมีความกว้าง 1.3 – 2.1 ซม. ไม่มีขนปกคลุมทั้งหน้าใบและหลังใบ ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ panicle ช่อดอกยาว 200 – 225 ซม. ประกอบด้วย 3 – 5 raceme เมล็ดมีสีเขียว มีขนปกคลุม

ผลผลิต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 6,000 – 9,000 กก./เฮกแตร์ จากการตัดทุกๆ 45 – 60 วัน มีระดับโปรตีน 7 – 13%, NDF 59 – 70% และ ADF 31 – 37% หลังตัดทุกครั้งใส่ปุ๋ย N-P-K (15-15-15) 200 กก./เฮกแตร์ (Phengphet, S., Personal communication)

หญ้าเหล่านี้เพิ่งพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ ยังไม่มีการวิจัย และ การส่งเสริมเผยแพร่ให้เกษตรกรปลูกจึงยังไม่มีข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนะ

2.3 การประเมินคุณค่าทางโภชนะในอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การประเมินคุณค่าทางโภชนะในอาหาร เพื่อให้ทราบว่าอาหารหรือตัวอย่างอาหารที่ศึกษา มีคุณค่าทางโภชนะมากน้อยเพียงใด สามารถศึกษาได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.3.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition)

วิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ วิธีการแบบ Weende หรือ Proximate Analysis ที่คิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ Henneberg และ Stomann แห่งเมือง Gottingen วิธีการนี้โภชนะในอาหารจะถูกวิเคราะห์ออกเป็นส่วนของ ความชื้น เถ้า โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใย และ nitrogen-free extract โดยปัจจุบันยังคงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้มีการแก้ไขปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสมกับเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย แต่ยังคงไว้ซึ่งหลักการเดิม วิธีการวิเคราะห์แบบ Weende หรือ Proximate Analysis เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารข้น (Concentrate) แต่มีจุดอ่อนมากในการวิเคราะห์ค่าของเยื่อใย (Roughages) เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณส่วนประกอบของผนังเซลพวกเซลลูโลส และ ลิกนิน ได้ นอกจากนี้ยังมีลิกนินบางส่วนสามารถละลายได้ในด่างเกิดการสูญหายระหว่างการวิเคราะห์เยื่อใยทำให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้น Goering, V. and P.J. Van Soest. (1970)ได้เสนอวิธีวิเคราะห์เยื่อใยแบบใหม่ เรียกว่า วิธีดีเทอร์เจนท์ (Detergent Method) หรือวิธีวิเคราะห์เยื่อใยโดยใช้สารฟอก (Detergent fiber Analysis)โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกแยะส่วนประกอบของผนังเซลโดยอาศัยหลักการที่ว่า ผนังเซลพืชประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แต่ละส่วนมีการย่อยได้ต่างกัน เอนไซม์จากตัวสัตว์ย่อยผนังเซลพืชไม่ได้ แต่เอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถย่อยสลายเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้ แต่ย่อยลิกนินไม่ได้ ดังนั้น ถ้าเราทราบปริมาณของส่วนประกอบเหล่านี้จะทำให้ประเมินคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์ชนิดนั้นๆได้ถูกต้องมากขึ้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2540)

2.3.2 การศึกษาการย่อยได้ (Digestibility)

2.3.2.1 การทดลองกับตัวสัตว์จริง (*In vivo*)

ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด(Total collection) และการใช้ตัวบ่งชี้ (Indicator Method) เป็นวิธีการที่ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่อง ค่าใช้จ่ายที่สูง ใช้เวลาทดลองและแรงงานมาก ต่อมาได้มีการศึกษาการย่อยได้ของอาหารในกระเพาะรูเมนโดยวิธี Nylon bag technique (*In*

sacco) ซึ่งได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก สามารถทำพร้อมกันได้ทีละหลายตัวอย่างในเวลาสั้นๆ แม้ว่าค่าที่ได้อาจไม่ตรงกับวิธีที่ทดลองกับตัวสัตว์จริง (*In vivo*) แต่ก็เป็นวิธีการที่ดี สามารถนำมาคัดเลือกอาหาร (Screening test) ให้เหลือตัวอย่างทดสอบน้อยชนิด ก่อนนำไปทดสอบกับตัวสัตว์ต่อไป วิธีการนี้ทำได้โดยนำตัวอย่างอาหารที่ต้องการทดสอบใส่ลงในถุงไนล่อน นำไปแช่ไว้ในกระเพาะรูเมน ผู้ที่ศึกษาเป็นคนแรกคือ Quin, J.I., et al. (1938) โดยใช้ถุงที่ทำจากผ้าไหม (Cylindrical bags) ทำการทดลองในแกะที่ผ่าตัดฝัง rumen fistula บริเวณกระเพาะรูเมน วิธีการนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ข้อมูลที่ได้จากวิธีแบบ *In sacco* นี้สามารถนำไปใช้อธิบายลักษณะการย่อยสลายของเยื่อใย (เซลลูโลส) และโปรตีนในอาหารได้ และยังใช้คัดเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพดีในการประกอบสูตรอาหารได้ด้วย (Huntington, J.A. and D.I. Givens, 1995)

วิธีการแบบ *In sacco* นี้ มีรายละเอียดของเทคนิคและวิธีปฏิบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่ ขนาดของช่องของวัสดุที่ใช้ทำถุง ลักษณะของตัวอย่างอาหารที่ใช้ศึกษา ความถี่ในการให้อาหารสัตว์ทดลอง อัตราส่วนของน้ำหนักอาหารต่อพื้นที่ถุง และวิธีการล้างถุงหลังนำถุงออกจากกระเพาะรูเมน ตลอดจนแบบวิธีการ (model) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล อย่างไรก็ตามควรมีการปรับมาตรฐานของวิธีการ เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยการนำค่า *In sacco* ที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีแบบ *In vivo* ด้วย เพื่อหาวิธีการที่ถูกต้องที่สุด

อย่างไรก็ตาม การศึกษาการย่อยได้ของอาหารในกระเพาะรูเมนโดยวิธีเทคนิคถุงไนล่อน (*In sacco* technique) แม้ว่าจะเป็นวิธีการที่ดี และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันได้มีการออกกฎเกณฑ์เกี่ยวกับจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองที่เข้มงวด ทำให้การใช้สัตว์ทดลองยุ่งยากขึ้น ดังนั้น จึงได้มีความพยายามวัดการย่อยได้ของอาหารในห้องทดลอง (*In vitro*) โดยจำลองปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในทางเดินอาหารของสัตว์ วิธีการแบบนี้ เรียกว่า *In vitro* technique ซึ่งนับวันยิ่งมีความสำคัญและมีการพัฒนาวิธีการให้ได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับการทดลองกับตัวสัตว์จริง เหมาะสำหรับการจัดลำดับอาหาร (Ranking) หรือการคัดเลือกอาหาร (Screening test) ให้เหลือน้อยชนิดก่อนนำไปทดลองกับตัวสัตว์จริง สามารถทดสอบตัวอย่างได้ครั้งละหลาย ๆ ตัวอย่างในเวลาที่จำกัด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย เวลา และ แรงงานได้ วิธีการเหล่านี้ ได้แก่ การประเมินคุณค่าทางโภชนะในห้องทดลอง (*In vitro* technique)

2.3.2.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะในหลอดทดลอง (*In vitro* technique)

การทดลองหาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*In vivo*) เป็นการทดลองที่สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้สัตว์ทดลอง และอาหารทดลองจำนวนมาก ทั้งนี้เพื่อลดความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างตัวสัตว์ อีกทั้งในปัจจุบันได้มีการออก

กฎเกณฑ์เพื่อคุ้มครองสวัสดิภาพสัตว์ทดลองที่เข้มงวดมากขึ้น ทำให้การใช้สัตว์ทดลองทำได้ยากขึ้น ดังนั้น นักโภชนะศาสตร์สัตว์จึงให้ความสนใจกับการประเมินคุณค่าทางโภชนะในห้องทดลอง (*In vitro* technique) มากขึ้น แม้ว่าข้อมูลที่ได้จะเกิดจากการจำลองสถานการณ์การย่อยได้ของอาหารภายในทางเดินอาหารส่วนต่างๆของสัตว์ แต่ก็ไม่ได้บ่งชี้ถึงตำแหน่งของอาหารที่ถูกย่อยได้ในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ และอาหารหรือโภชนะที่ถูกดูดซึมมีเส้นทาง (Kinetics of digestion) ในการนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด สำหรับวิธีที่ได้รับความนิยมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่

1) วิธีการ 2 ขั้นตอน (Two – stage method) ของ Tilley, J.M.A. and R.A. Terry (1963)

วิธีนี้ได้รับความนิยมแพร่หลาย โดยขั้นตอนแรกเป็นการหมักตัวอย่างอาหารประมาณ 0.5 กรัม กับของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) จำนวน 10 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์ จำนวน 40 มิลลิลิตร ใน flask ขนาดเล็ก ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) บ่ม(Incubate) ที่อุณหภูมิ 39°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขั้นตอนที่สอง ทำการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยใช้กรดเกลือ (HCl) แล้วย่อยต่อโดยบ่มด้วยเอนไซม์เพปซินเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะถูกกรองล้างและอบให้แห้งเพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง จากนั้นนำไปเผาจะทราบค่าอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) นำค่าที่ได้นี้ไปหักออกจากส่วนที่มีในอาหารตั้งแต่เริ่มต้น จะทราบค่าวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (Digestible dry matter, DDM) และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (Digestible organic matter, DOM) แล้วคำนวณการย่อยได้ของโภชนะทั้งสองต่อไป

2) วิธีย่อยโดยเอนไซม์เพปซิน (Pepsin) และ เซลลูเลส (Cellulase)

เอนไซม์เพปซิน เป็นเอนไซม์สังเคราะห์ ที่สกัดจากตับอ่อนของโค ส่วนเซลลูเลสจากจุลินทรีย์ ตามลำดับ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการทดสอบหาค่าการย่อยได้ประมาณ 0.3 กรัม ลงในหลอดทดลอง ใส่ HCl – Pepsin solution แช่ไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม Cellulase – Acetate buffer เพื่อทำการย่อยผนังเซล ทำการบ่มต่อที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กากที่เหลือถือเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ จะถูกกรองและอบเพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง จากนั้นนำมาเผาเพื่อคำนวณหาค่าอินทรียวัตถุ สำหรับวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่ได้ในส่วนนี้เมื่อหักออกจากส่วนที่มีในอาหารเมื่อตอนเริ่มต้น ทำให้ทราบค่าวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่ย่อยได้

3) วิธีวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้น (Gas production technique)

วิธีนี้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมัน โดย Menke., K.H., et al.(1979) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ไม่ยุ่งยาก ทำได้สะดวกรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ตัวอย่าง

ได้จำนวนมากในแต่ละครั้ง โดยอาศัยหลักการที่ว่า การหมักอาหารของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนทำให้เกิดก๊าซขึ้น ซึ่งปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยได้ของอาหาร เมื่อนำค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมาพิจารณาร่วมกับเถ้าและโปรตีนในอาหารจะสามารถนำมาทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (Digestible organic matter, DOM) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) วิธีการทำได้โดยนำตัวอย่างอาหารที่ต้องการทดสอบมาบ่ม (Incubate) ร่วมกับของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) ที่ได้ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุ (Rumen fluid + Buffer media) ที่ได้ปรับสภาพแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ คือ ไร้ออกซิเจนและอุณหภูมิ 39°C ใส่ตัวอย่าง 200 มิลลิกรัมวัตถุแห้งและ Media mixture ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้วขนาดใหญ่ ลักษณะคล้ายหลอดฉีดยา มีขีดบอกปริมาตรด้านข้างหลอด ปลายหลอดต่อกับสายยางสั้น ๆ มีคลิป (Clip) สำหรับเปิด – ปิด เพื่อให้ของเหลวและอากาศไหลผ่านเข้า – ออกได้ นำหลอดไปสอดไว้ในแป้นหมุน (Rotator) ภายในตู้อบ (Oven) ที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 39°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วอ่านปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้น นำค่าที่ได้มาแทนที่ในสมการที่ปรับปรุงโดย Menke, K.H. and Steingass, H. (1988) ทำให้ทราบค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร

2.3.2.3 การทดลองเพื่อวัดการเจริญเติบโต (Feeding trials)

การเจริญเติบโต (Growth) หมายถึง การเพิ่มจำนวนเซล (Hyperplasia) และการขยายขนาดของเซล (Hypertrophy) ในระยะตัวอ่อน (Early embryonic life) โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นกับทุกเซล แต่หลังจากที่สัตว์โตเต็มวัยแล้ว จะมีการแบ่งเซลเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) Permanent cell ได้แก่ เซลประสาท โดยจะหยุดแบ่งตัวตั้งแต่ก่อนการคลอดลูกของสัตว์ จำนวนเซลจะอยู่คงที่

2) Stable cell ได้แก่ อวัยวะต่างๆ จะมีการแบ่งตัวต่อไปในระหว่างการเจริญเติบโต แต่เมื่อสัตว์โตเต็มวัยแล้วจะหยุด

3) Labile cell ประกอบด้วย Epithelial และ Epidermal tissue พวกนี้จะแบ่งตัวได้ตลอดชีวิต โดยเมื่อสัตว์โตเต็มที่ เซลพวกนี้จะยังมีการสร้างขึ้นใหม่เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

โดยปกติแล้ว การวัดการเจริญเติบโตของสัตว์ที่กินอาหารทดลองโดยตรง เป็นวิธีการที่ดี เนื่องจากสามารถวัดได้โดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ ซึ่งอาจแสดงเป็นค่าของน้ำหนักตัวต่อช่วงเวลา ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG; g/day) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อสัปดาห์ หรือแสดงเป็น%ของน้ำหนักสุดท้ายต่อน้ำหนักเริ่มต้นก็ได้ นอกจากนี้

การวัดการเจริญเติบโตของสัตว์ ทำให้เราสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน สัตว์ทดลองปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติได้ง่าย สามารถนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในสภาพการเลี้ยงตามปกติของเกษตรกรได้ แต่ส่วนใหญ่การทดลองในโค มีข้อจำกัด คือต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านอาหารทดลองค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับแพะแกะซึ่งเป็น Pilot animal ของโค เราสามารถแก้ปัญหาได้โดย การวางแผนการทดลองที่เหมาะสม โดยนิยมเก็บข้อมูลแยกเป็นรายตัวมากกว่าการเก็บข้อมูลเป็นกลุ่ม การแยกโคทดลองในคอกขังเดี่ยว แล้วให้โคกินอาหารทดลองอย่างเต็มที่ (*Add lib*) ทำให้สามารถวัดปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมด (Voluntary feed intake) และอัตราการเพิ่มของน้ำหนักตัวโค จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร (Feed conversion ratio, FCR) โดย กฤตพล สมมาตย์ (2550) ได้ระบุว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหารมีความสำคัญในการประเมินปริมาณโภชนะในอาหารทดสอบต่อสัตว์แต่ละตัว อาหารที่กินแล้วมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่า หมายถึง อาหารที่สัตว์ได้รับมีการใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพต่ำแต่ใช้เพื่อการเพิ่มน้ำหนักสูงกว่า ดังนั้น สัตว์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะมีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงด้วยเช่นกัน

2.4 ระบบพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

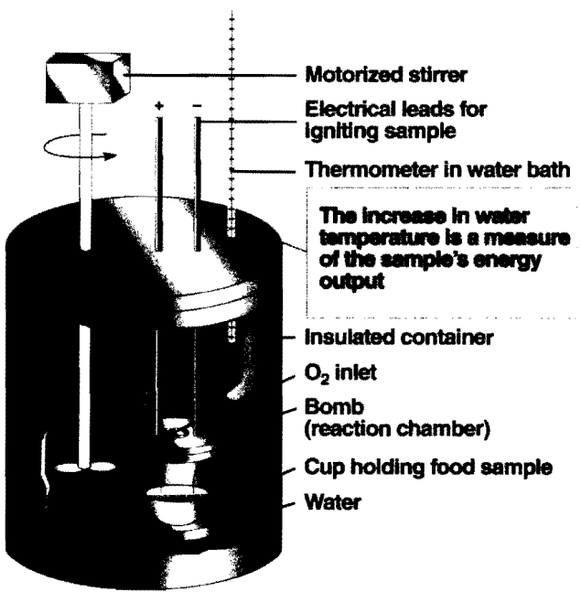
คำว่า พลังงาน มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ En แปลว่า in และ Ergon แปลว่า work หมายถึง ความสามารถในการทำงาน (Ability to do work) พลังงานมีความสำคัญต่อขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกายของสัตว์ ได้แก่ การกินอาหาร การดูดซึม และการนำไปใช้ประโยชน์

พลังงานมีหลายรูป ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานจลน์ พลังงานแสง และพลังงานเคมีเป็นต้น แม้ว่าพลังงานจะมีหลายรูปแบบ แต่เราไม่สามารถวัดพลังงานได้โดยตรง เนื่องจากพลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ โดยทุกรูปจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานเคมีจากอาหารสัตว์ เราสามารถวัดได้ในรูปของความร้อน (Heat) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้อาหารอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า ค่าพลังงานรวม (Gross energy, GE) มีหน่วยเป็น แคลอรี่ (Calories) โดยพลังงานความร้อน 1 แคลอรี่ หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C คือ 14.5 °C เป็น 15.5 °C จากหลักการใช้พลังงานในสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งสัดส่วนของพลังงานตามการใช้ประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 พลังงานรวม (Gross energy, GE)

คือ พลังงานรวมในอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ค่านี้เกิดจากการนำอาหารมาเผาใน Bomb calorimeter แล้ววัดความร้อนที่เกิดขึ้นและอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Heat of combustion

Bomb calorimeter ประกอบด้วยตัวบอมบ์ซึ่งเป็นโลหะที่แข็งแรงวางในถังน้ำที่มีฉนวนกันการสูญเสียหรือเพิ่มความร้อน มีใบพัดกวนคนน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ความร้อนกระจายตัวสม่ำเสมอ และมีเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดการเปลี่ยนอุณหภูมิ อาหารที่ต้องการวัดพลังงานจะถูกชั่ง วางไว้ในถ้วยที่อยู่ในบอมบ์ ใช้ออกซิเจน 25 – 30 Atmospheres เพื่อการเผาอาหาร ทำการวัดอุณหภูมิน้ำ จากนั้นเผาอาหารโดยใช้ไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสันดาปจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำ เมื่ออยู่ในภาวะสมดุลแล้ววัดอุณหภูมิของน้ำอีกครั้ง จากนั้นคำนวณหาปริมาณพลังงานจากน้ำหนักน้ำที่ใช้ ความร้อนที่เพิ่มขึ้น และจากความร้อนจำเพาะของน้ำและของบอมบ์ ตัวอย่างค่า Gross energy ของอาหารและโภชนะบางชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของ Bomb calorimeter

ตารางที่ 2.2 ค่า Gross energy (Kcal ต่อกรัม นน. แห้ง) ของอาหารและโภชนะบางชนิด

ITEM	Kcal.	ITEM	Kcal.
Cabohydrates		**Nitrogenous compounds**	
Glucose	3.74	Average proteinsource	5.65
Sucrose	3.94	Beef muscle	5.30
Starch	4.18	Casein	5.90
Cellulose	4.18	Egg albumin	5.70
Glycerol	4.31	Gluten	6.00
		Alamine	4.35
Fat, fatty acids		Glycine	3.11
Average fat	9.45	Tyrosine	5.91
Butter fat	9.10	Urea	2.52
Beef fat	9.40	Uric acid	7.74
Corn oil	9.40	Ethyl alcohol	7.11
Coconut oil	8.90	Methane	13.30
Acetic acid	3.49		
Propionic acid	4.96	**Feeds**	
Butyric acid	5.95	Corn grain	4.40
Palmitic acid	9.35	Wheat bran	4.50
Stearic acid	9.35	Grass hay	4.50
Oleic acid	9.50	Oat straw	4.50
		Soybean meal	5.50
		Linseed meal	5.10

ที่มา : Pond, W.G., et al. (2005)

จากข้อมูลในตารางที่ 2.2 พบว่า ไขมันมีพลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 2.25 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตมีโมเลกุลของออกซิเจนเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนให้เป็นน้ำ ดังนั้น พลังงานที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากการออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนเท่านั้น แต่ไขมันมีออกซิเจนในโมเลกุลน้อย ยกตัวอย่าง การเปรียบเทียบระหว่างกรดไขมัน เช่น Oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$) กับ คาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล Glucose ($C_6H_{12}O_6$) จะเห็นได้ว่า Oleic acid มีออกซิเจน 2 อะตอมแต่มีคาร์บอนถึง 18 อะตอมหรือมีสัดส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน (O:C = 1:9) จึงต้องนำออกซิเจนจากภายนอกเข้ามาเพื่อการออกซิเดชันทั้งกับไฮโดรเจนและคาร์บอน โดยในการเผาผลาญ (Oxidation)ไฮโดรเจน 1 กรัม จะได้พลังงานมากกว่าเผาผลาญคาร์บอนที่น้ำหนักเท่ากันถึง 4 เท่า ขณะที่น้ำตาล glucose มีออกซิเจนและคาร์บอน 6 อะตอมเท่ากันหรือมีสัดส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน (O:C = 1:1) โดยมีโมเลกุลของออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮโดรเจนให้เป็นน้ำ ดังนั้น กรดไขมันจึงต้องการออกซิเจนเพื่อการออกซิเดชันและสามารถให้พลังงานได้มากกว่าน้ำตาล Glucose จากตัวอย่างที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าพลังงานรวม (Gross

energy) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงค่าความสามารถในการเผาไหม้หรือการออกซิเดชันส่วนประกอบของสารอาหารนั้นมีพลังงานแตกต่างกันด้วย โดยทั่วไป คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน จะมีพลังงานเฉลี่ยประมาณ 4.10 9.45 และ 5.65 kcal/กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพลังงานรวม (GE) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดในตารางที่ 2.2 มีพลังงานแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตจะมีพลังงานรวมใกล้เคียงกัน ยกเว้นพวกที่มีไขมันสูง พบในเมล็ดพืชน้ำมันซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมันอยู่สูงจะให้พลังงานสูงและพวกที่มีแร่ธาตุมากจะให้พลังงานต่ำ วัตถุดิบอาหารสัตว์ปกติจะมีค่าพลังงานรวมประมาณ 18.4 kJหรือ 4.4 Kcal/กรัมวัตถุแห้ง นอกจากนี้เป็นที่น่าสังเกตว่า พลังงานรวม (GE) ของฟางข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารคุณภาพดี เมื่อนำวัตถุดิบทั้งสองชนิดมาเลี้ยงสัตว์ข้าวโพดจะสามารถให้พลังงานที่ย่อยได้สูงกว่าฟางข้าว (กฤตพล สมมาตย์, 2550) แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานรวมในอาหาร (GE) ไม่ได้บ่งบอกถึงพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้อย่างแท้จริง

2.4.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE)

พลังงานรวมในอาหารไม่ได้บ่งบอกถึงพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์อย่างแท้จริง เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปในการย่อย และการเมตาบอไลซ์อาหารโดยขณะสัตว์กินอาหาร พลังงานส่วนแรกที่สูญหายไป คือ พลังงานในมูล (Fecal energy, FE) พลังงานที่สูญหายไปในมูลนี้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องถือว่าสูญเสียมากที่สุดประมาณ 40 – 50% (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532) ดังนั้น หากนำพลังงานรวมในอาหาร มาหักลบด้วยพลังงานที่สูญหายไปในมูลก็จะได้พลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) เราสามารถประเมินได้จากการทดลองเพื่อวัดค่าการย่อยได้ (digestion trial) ดังสมการต่อไปนี้

Digestible energy (DE) = Gross energy intake (GEI) – Fecal energy (FE)

แม้ว่าพลังงานย่อยได้ (DE) จะมีความถูกต้องแม่นยำ แต่ค่าที่ได้ยังคงต่ำกว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียออกมาทางปัสสาวะ (Urine) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) ดังนั้นเมื่อนำพลังงานทั้ง 2 ส่วนนี้ มาหักลบออกจากพลังงานย่อยได้จะได้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME)

2.4.3 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME)

สัตว์มีการสูญเสียพลังงานในรูปของมูล (Fecal) ปัสสาวะ (Urine) และก๊าซมีเทน (Methane energy) ดังนั้นพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้เพื่อการดำรงชีพและทำ

กิจกรรมต่างๆ (Metabolizable energy for maintenance : ME_m) ประเมินได้จากการนำพลังงานรวม (GE) หักลบด้วยพลังงานที่สูญเสียทางการขับถ่ายมูล (FE) การขับถ่ายปัสสาวะ (UE) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) ดังสมการ ME = GE – FE – UE – CH_4 โดยสัดส่วนระหว่างค่า ME:GE ทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร (Metabolizable energy concentration) และสัดส่วนระหว่างค่า ME:DE ทำให้ทราบ ค่าพลังงานพลังงานที่ใช้ประโยชนได้ในอาหาร มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ย่อยได้สูงโดย ARC (1980) และ NRC (2000) ได้ประมาณสัดส่วนระหว่าง ME:DE ในวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตหนาว มีค่าประมาณ 0.82 สำหรับวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตร้อน อนันท์ เชาว์เครือ และคณะ (2551) ได้ประมาณสัดส่วนระหว่าง ME:DE มีค่าประมาณ 0.82

อย่างไรก็ตาม ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ยังคงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ คือ สัตว์ไม่สามารถนำพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนขณะที่สัตว์กิน(Heat increment, HI) และการที่ใช้ประโยชน์ได้อาหาร ดังนั้น จึงได้มีการทดลองหาค่า HI โดยอาศัย Animal calorimetry จากนั้นหักลบค่า HI ของอาหารออกจากพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) จะได้พลังงานสุทธิ (NE) ซึ่งเป็นพลังงานขั้นสุดท้ายที่จะทำให้สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง ดังสมการ NE = ME – HI

2.4.4 ความร้อนจากการกินและการใช้ประโยชน์ของอาหาร (Heat increment, HI)

ขณะที่สัตว์สูญเสียพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) เพื่อการดำรงชีพ การทำกิจกรรมต่างๆ และสร้างผลผลิต สัตว์ยังมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปความร้อน (Heat increment, HI)ได้อีก

HI เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายสัตว์ขณะที่มีการกินอาหาร การย่อย การที่ใช้ประโยชน์ได้ และการดูดซึม โดย HI มักผันแปรไปตามชนิดของสัตว์ ประเภทของอาหาร ระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับ และความสมดุลของโภชนะในอาหาร จะเห็นได้ว่า 80% ของ HI เกิดขึ้นจากอวัยวะภายใน ที่เหลืออีก 20% เกิดจาก Peripheral tissue สำหรับสัตว์เลือดอุ่นในเขตหนาว ต้องการ HI เพื่อทำความอบอุ่นให้กับร่างกาย แต่ในเขตร้อนสัตว์ไม่ต้องการให้มี HI สูง เนื่องจากเขตร้อนมีอุณหภูมิของบรรยากาศสูง HI ไม่มีประโยชน์ต่อสัตว์ เนื่องจากไปเพิ่มความร้อนให้กับร่างกายสัตว์ (Heat load) ซึ่งเป็นภาระกับตัวสัตว์เองที่จะต้องมีการระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมโดยทางตรง โดยการนำ การพา และการแผ่รังสี หรือโดยทางอ้อมโดย การระเหยน้ำ (Evaporation) เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิร่างกายให้คงที่

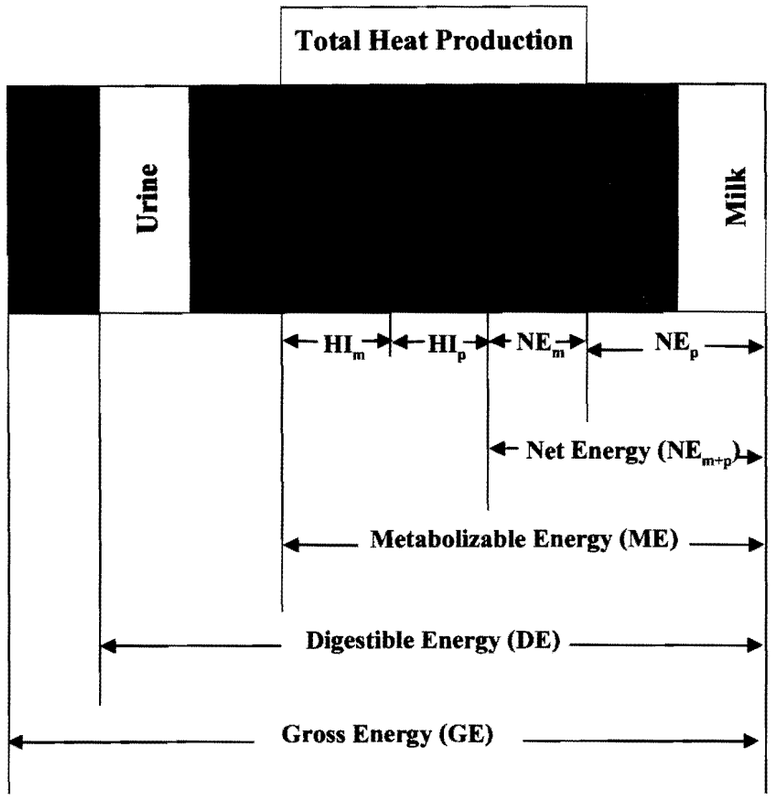
สาเหตุของการสูญเสียพลังงานในรูป HI เกิดขึ้นเนื่องจาก การให้อาหารที่ไม่สมดุล (Imbalance diet) ทำให้ขบวนการที่ใช้ประโยชน์ได้โภชนะในอาหารเพื่อให้ได้พลังงานใน

ร่างกายมีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ในการย่อยอาหาร (Work of digestion) เนื่องจากพลังงานเคมีที่ใช้เพื่อการทำงานในร่างกาย ได้แก่ การกินอาหาร การเคี้ยว และการเคลื่อนที่ของอาหารผ่านทางเดินอาหารจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น โดยในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีความร้อนที่เกิดจากขบวนการหมัก (Heat of fermentation)โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ประมาณ 5 – 10 % ของ GE (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532)

2.4.5 พลังงานสุทธิ (Net energy, NE)

พลังงานสุทธิเป็นพลังงานที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ เพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance : NE_m) และ เพื่อการผลิต (Net energy for production : NE_p)ได้อย่างแท้จริง การหาค่า NE ทำได้โดยการทดลองหรือทำการคำนวณเพื่อประมาณค่า ME ก่อน แล้วทำการทดลองหาค่า HI โดยอาศัย Animal calorimetry จากนั้นหักค่า HI ของอาหารออกจากค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) จะได้ค่าพลังงานสุทธิ (NE) ดังสมการ NE = ME – HI และภาพที่ 2.2

พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) เป็นพลังงานสำรองที่สัตว์ได้รับจากการกินอาหาร ส่วนใหญ่ร่างกายนำไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึมขั้นพื้นฐานของร่างกายที่จำเป็นต่อชีวิต ได้แก่ การทำงานของ Membrane ion balance ของเนื้อเยื่อทั้งหมด (All tissue)(30-40%) Protein turnover ของเนื้อเยื่อทั้งหมด (15 - 20 %) Heart work (10%) Respiration (6 %) CNS (Brain)(15%) Kidney (7%) และ Muscle tone (3-4%) การทำงานทั้งหมดของร่างกายเพื่อการดำรงชีพ (ME_m) นี้จะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน (HI_m) เกิดขึ้น ดังสมการ $ME_m = HI_m + NE_m$(Net energy for maintenance ที่ถูกนำไปใช้) ส่วนการทำงานทั้งหมดของร่างกายเพื่อการผลิต (ME_p) จะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน (HI_p) เกิดขึ้นเช่นกัน ดังนั้น เมื่อนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปเพื่อการดำรงชีพ (HI_m) มารวมกับพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปเพื่อการผลิต (HI_p) จะได้ค่าการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนทั้งหมด (HI) ดังสมการ $HI = HI_m + HI_p$



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแต่ละชนิดตามลำดับขั้นกับการสูญเสียพลังงานออกจากร่างกาย และการสร้างผลผลิต (ดัดแปลงจาก Pond, W.G., et al., 2005)

พลังงานสุทธิเพื่อการผลิต (NE_p) เป็นพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต เพื่อสะสมไขมัน เพื่อสร้างเนื้อ นม ไข่ และขน จะถูกกักเก็บไว้ในร่างกายหรือออกไปในรูปพลังงานเคมีที่มีอยู่ในผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการสร้างผลผลิตดังกล่าว เรียกว่า **Energy retention** โดยพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NE_m) และพลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิต (Net energy for production, NE_p) สามารถแยกรายละเอียดได้ ตามชนิด และรูปแบบการให้ผลผลิตของสัตว์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพลังงานสุทธิมีความถูกต้องและแม่นยำสูงสุด แต่มีข้อจำกัดในด้านวิธีการประเมิน โดยมีวิธีการวัดพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการกิน และการใช้ประโยชน์จากอาหาร เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลงทุนสูงต้องอาศัยนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรอบรู้เกี่ยวกับเทคนิควิธีการทดลอง ตลอดจนมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง มีผลทำให้ปัจจุบันบางประเทศ เช่น ประเทศสหราชอาณาจักร และออสเตรเลีย ยังคงใช้ระบบพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ARC, 1980 ; AFRC, 1993; อ้างอิงจาก คณะทำงานจัดทำมาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของประเทศไทย, 2551) สำหรับข้อมูลการประเมินพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศไทย ยังมี

อยู่น้อยมาก แม้จะมีการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการประเมินค่าพลังงานของวัตถุดิบแต่ละชนิดมีข้อจำกัดด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายต่างๆค่อนข้างสูง

ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้นจึงได้มีการประเมินพลังงานในอาหาร โดยการทำนายพลังงานที่ย่อยได้ (DE) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยผลการทำนายพลังงานที่มีความแม่นยำสูง ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องในการคำนวณพลังงานในสูตรอาหาร

ตารางที่ 2.3 สมการเพื่อการทำนายพลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

Sources	Equation[1/]	R^2	RSD[2/]	P–Value
Kaewpila,C., et al. (2008)				
(1)	ME = 0.1913OM + 0.0956EE- 0.0992 ADF – 6.1887	0.63	0.27	< 0.001
(2)	ME = 0.1586 TDN – 1.0738	0.74	0.16	< 0.001
(3)	ME = 0.0865 OMD + 0.2355EE- 0.0445 ADF + 4.0362	0.73	0.23	< 0.001
(4)	ME = 0.9613 DE – 1.2276	0.93	0.07	< 0.001
(5)	DE = 0.1663 TDN + 0.1401	0.79	0.12	< 0.001
McDonald (2002)	ME = 0.160 OMD	NA	NA	NA
NRC (2000)	ME = 0.2413 DE – 0.1076	NA	NA	NA
NRC (2000)	DE = 0.1845 TDN	NA	NA	NA

[1/]ME, metabolizable energy (MJ/kg) ; DE, digestible energy (MJ/kg) ; TDN, total digestible nutrients (%); OMD, organic matter digestibility (%); OM, organic matter (%); EE, ether extract (%); ADF, acid detergent fiber (%);

[2/]RSD, residual standard deviation; NA, not available

ที่มา : คณะทำงานจัดทำมาตรฐานอาหารสัตว์ของประเทศไทย (2551)

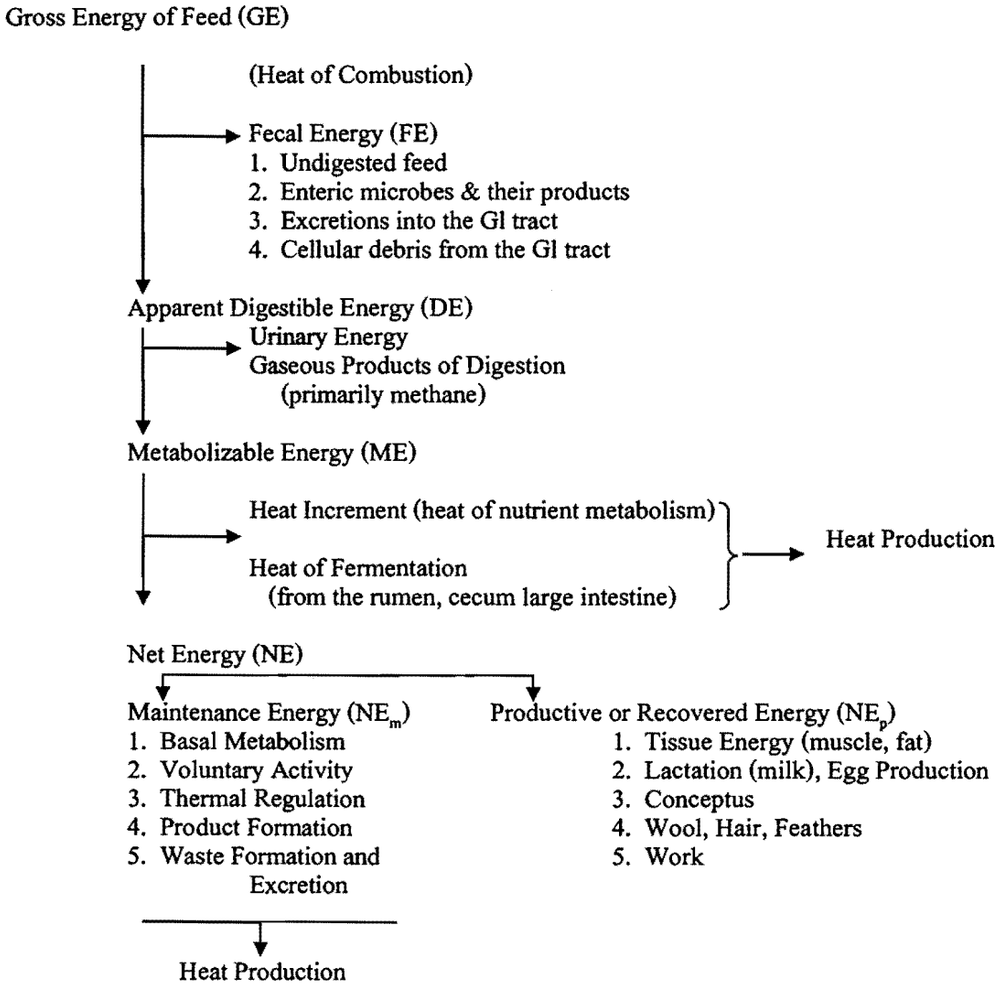
พลังงานในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้โดยต้องผ่านกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในร่างกาย ได้แก่ การย่อย การดูดซึม และการ

ที่ใช้ประโยชน์ได้โดยร่างกายสัตว์สามารถเปลี่ยนโภชนะไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ และเพื่อการให้ผลผลิตได้

การใช้ประโยชน์จากพลังงานในอาหารที่กิน และระบบพลังงาน แสดงในภาพที่ 2.3 จะเห็น สัตว์มีการสูญเสียพลังงานบางส่วน ระหว่างขั้นตอนการใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ ภายหลังจากที่สัตว์กินอาหารพลังงานเข้าไป พลังงานที่สูญเสีย ได้แก่ พลังงานในมูล (Faecal energy, FE) ประมาณ 30 %, พลังงานในปัสสาวะ (Urinary energy, UE) ประมาณ 5 %, พลังงานในรูปก๊าซที่เกิดจากการหมักย่อย (Gaseous energy) ประมาณ 5% และพลังงานความร้อน (Heat increment, HI) ประมาณ 20 %

พลังงานที่เหลือจากการสูญเสีย เรียกว่า พลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NEm) ประมาณ 20 % และพลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิต (Net energy for production, NEp) ประมาณ 20 % ดังแสดงในภาพที่ 2.4

อย่างไรก็ตาม ค่าการสูญเสียพลังงานและความต้องการพลังงานของสัตว์ค่อนข้างผันแปร ขึ้นอยู่กับ พันธุ์ เพศ อายุ ระยะการเจริญเติบโต ชนิดของอาหาร ระดับการให้อาหาร และระดับการให้ผลผลิต (Pond, W.G., et al., 2005 ; บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532)



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการใช้ประโยชน์อาหารพลังงาน (ดัดแปลงจาก Pond, W.G., et al., 2005)

Fecal Energy	Urinary Energy	Gaseous Energy	Heat Increment	Net Energy for Maintenance	Net Energy for Production (Milk plus body tissue)
	30 %		5 %	5 % 20 %	20 %

ภาพที่ 2.4 สัดส่วนโดยประมาณของการสูญเสียและการใช้พลังงานเพื่อการต่างๆ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532)

2.5 ความต้องการพลังงานในโคเนื้อ

ร่างกายสัตว์มีความต้องการพลังงานเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งวัตถุประสงค์เพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต

2.5.1 ความต้องการพลังงาน

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

2.5.1.1 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NE_m)

หมายถึง ปริมาณพลังงานเคมีระดับต่ำสุดที่สัตว์ต้องการนำไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึมขั้นพื้นฐานของร่างกาย ได้แก่ การรักษาอุณหภูมิของร่างกาย การเคลื่อนไหวของร่างกายเท่าที่จำเป็น (น้อยที่สุด) การซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ (ในร่างกายมีการสลายตัวและสร้างขึ้นใหม่ตลอดเวลา และกระบวนการต่างๆ ที่จำเป็นต่อการดำเนินชีวิตตามปกติโดยไม่ให้ผลผลิต)(บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532) การวัดค่าพลังงานส่วนนี้ต้องวัดในขณะที่สัตว์นอนนิ่ง ๆ หลังดูดซึมอาหาร มีการพักผ่อนเต็มที่ ไม่เครียด ไม่สนุกสนาน อุณหภูมิที่วัดได้ต้องไม่ร้อนหรือเย็นเกินไป ค่าที่วัดได้คิดเป็นค่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพต่อวัน อดอาหาร เรียกว่า Basal metabolic rate (BMR) หรือ Fasting metabolic rate (FMR)(พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; พิสิทธิ์ สุวรรณโชติ, 2547; กฤตพล สมมาตย์, 2550)

2.5.1.2 ความต้องการพลังงานเพื่อการให้ผลผลิต (Net energy for production, NE_p)

หมายถึง ปริมาณพลังงานเคมีที่สัตว์นำไปใช้ในการสังเคราะห์หรือสร้างเนื้อเยื่อ และการเจริญเติบโตทั้งนี้หมายความรวมถึงพลังงานที่ใช้ในการสร้างผลผลิต ได้แก่ เนื้อ นม ไข่ ขน แรงงาน และผลผลิตอื่น ๆ เช่น พลังงานที่ใช้เพื่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ฮอร์โมนเพศและพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนขณะตั้งท้อง ปริมาณพลังงานที่ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์ได้จริงนี้เป็นส่วนพลังงานเคมีจากอาหารที่ถูกกักเก็บไว้ใช้ในการสร้างผลผลิต เรียกว่า

พลังงานที่สามารถกักเก็บได้ (Energy retention, ER หรือ Recovered energy) (กฤตพล สมมาตย์, 2549; McDonald, P., et al., 2002; Pond, W.G., et al., 2005)

ถ้าสัตว์ขาดพลังงานจะมีผลต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตของสัตว์เป็นอย่างมาก เช่น ในลูกโค และโครุ่น จะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต และระยะเวลาการเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (Puberty) หรือ การเป็นหนุ่ม – เป็นสาวช้าออกไป ทั้งนี้เนื่องจากการเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักตัวเป็นสำคัญ (กังวาน ธรรมแสง, 2546)

จากการรวบรวมและตรวจเอกสารงานวิจัยของ อนันท์ เชาว์เครือ และ กฤตพล สมมาตย์ (2551) ซึ่งได้รายงานความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ในโคที่เลี้ยงในประเทศเขตร้อนและเขตหนาว พบว่า พันธุ์โค ระยะการเจริญเติบโตหรือให้ผลผลิต (Stage) และ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีผลต่อความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (K_m) มีความผันแปรแตกต่างกัน ในโคเนื้อ *Bos* indicus และ *Bos* taurus สำหรับค่า ME_m ของโคเนื้อทั่วไป (Beef cattle) ที่มีถิ่นกำเนิด และเลี้ยงในเขตร้อนและเขตหนาว มีค่าเฉลี่ย 491 kJ/Kg BW $^{0.75}$/วันต่ำกว่าโคนมที่มีค่าท่ากับ 571 kJ/KgBW $^{0.75}$/วัน นอกจากนี้ยังพบว่า โคเนื้อ *Bos* indicus มีค่า ME_m ต่ำกว่าประมาณ 12.3% เมื่อเปรียบเทียบกับโคเนื้อ *Bos* taurus คือมีค่าเท่ากับ 443 และ 505 kJ /KgBW $^{0.75}$/ วัน ตามลำดับ

2.5.2 การประเมินความต้องการพลังงานในโคเนื้อ

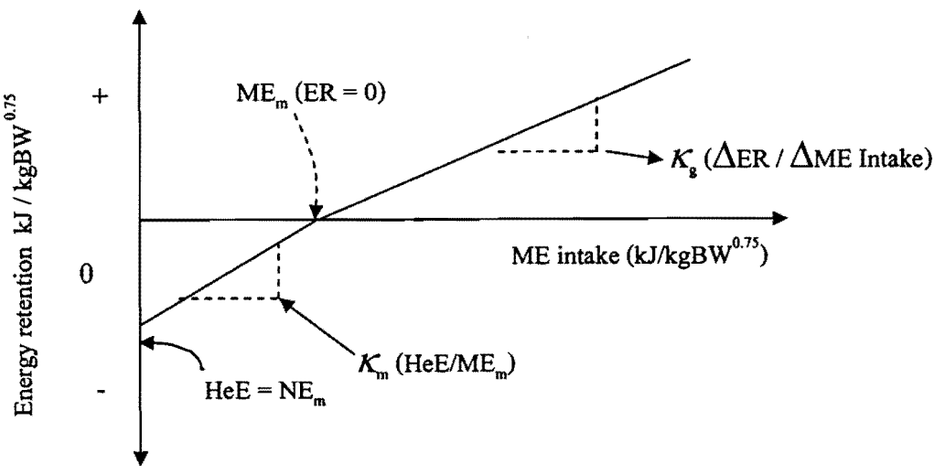
การประกอบสูตรอาหารสำหรับสัตว์ ต้องทราบความต้องการโภชนะของสัตว์และเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ประกอบสูตรอาหาร เพื่อให้มีโภชนะตรงตามความต้องการของสัตว์ โดยพิจารณาโภชนะแต่ละชนิดเป็นรายตัว ซึ่งโดยปกติแล้วโภชนะที่ได้รับการพิจารณาอันดับต้นๆ คือ พวกที่ให้พลังงาน (ควบคู่หรือรองจากโปรตีน) เนื่องจาก (1) เป็นโภชนะหลัก สัตว์ต้องการปริมาณมาก (2) พลังงานมักจะขาดแคลนในการผลิตสัตว์ (3) พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหาร ถ้าเราคำนวณสูตรอาหารโดยพิจารณาโภชนะอื่นก่อน เมื่อพบว่าพลังงานต่ำเกินไปเราอาจต้องแก้สูตรอาหารใหม่ทั้งหมด ในทางตรงข้าม ถ้าอาหารมีพลังงานเพียงพอแต่ขาดวิตามินหรือแร่ธาตุ เราสามารถเพิ่มได้โดยตรง เพราะใช้เพียงปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้โภชนะที่ให้พลังงานแตกต่างจากโภชนะอื่นในแง่ที่สัตว์ตอบสนองต่อปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มน้ำหนักตัว ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ผลผลิตได้ พลังงานในอาหารสามารถบ่งชี้ได้หลายทาง โดยเรียงลำดับจากการวัดแบบง่ายไปหายาก คือ จากพลังงานรวม (Gross energy, GE) ไปจนถึงพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) อาศัยหลักการที่ว่า พลังงานรวมในอาหารที่สัตว์กิน สัตว์สามารถนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้บางส่วนเท่านั้น เนื่องจากมีการสูญเสียจากการปลดปล่อยพลังงานออกจากร่างกายในรูปของมูล

ปัสสาวะ ก๊าซมีเทน และความร้อน (Heat inclement, HI) ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงขั้นตอนการสูญเสียพลังงานและพลังงานที่สัตว์ได้รับในการนำไปใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆของร่างกาย โดยความแตกต่างระหว่างพลังงานรวม (GE) ในอาหารกับการสูญเสียพลังงานที่ในรูปแบบที่กล่าวข้างต้น ทำให้สามารถประเมินพลังงานที่สัตว์ได้รับและจำแนกชนิดของพลังงานในร่างกายได้หลายรูปแบบ เช่น พลังงานรวม (Gross energy, GE) พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) และพลังงานสุทธิ (Net energy, NE)

2.5.2.1 วิธีการประเมินความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อ

NRC (2000) มีหลักการ และระบบการประเมินความต้องการพลังงานสุทธิ (concept of net energy system) ที่สัตว์ต้องการเพื่อการดำรงชีพ และการสร้างผลผลิต มีหลายวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ

1) การวัดสมดุลพลังงานในตัวสัตว์ หรือ Calorimeter method (ARC, 1980) เป็นวิธีการวัดพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวสัตว์เพื่อวัดประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในตัวสัตว์ซึ่งเป็นวิธีการที่ถูกต้องและแม่นยำ แต่มีข้อจำกัดคือ ต้องอาศัยห้องปฏิบัติการที่มีความพร้อมด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆที่มีราคาค่อนข้างสูง วิธีการทำได้โดยให้สัตว์ได้รับพลังงาน (Energy intake) จากอาหารในปริมาณใกล้เคียงหรือเหนือกว่าระดับความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพเล็กน้อย แล้วทำการประเมินพลังงานที่กักเก็บในร่างกาย (Energy retention, ER) โดยหลักการแล้ว ณ จุดที่พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ME intake) ที่ทำให้ ER = O (ไม่มีการกักเก็บพลังงานที่กินเข้าไป และไม่สูญเสียพลังงานที่กักเก็บไว้) ให้ถือว่าเป็นระดับของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เพื่อการดำรงชีพ (ME requirement for maintenance, ME_m)



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ME intake) กับพลังงานที่กักเก็บไว้ได้ในร่างกายสัตว์ (Energy retention, ER) และระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Metabolizable energy for maintenance level, ME_m) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Efficiency of utilization of ME for maintenance; K_m) และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ ME เพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency of utilization of ME for growth; K_g) (ดัดแปลงมาจาก McDonald, P., et al., 2002)

2) การทดสอบการกินอาหารแล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (long - term feeding trial)(Taylor, St., et al., 1986) เป็นการศึกษาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เพื่อการให้ผลผลิต (ME requirement for production, ME_p) ทำได้โดยให้อาหารที่มีพลังงานเหนือระดับความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ หรืออาจให้สัตว์กินอาหารแบบเต็มที่ (*Add lib*) โดยทำการทดลองเพื่อวัดการตอบสนองของสัตว์ที่ได้รับพลังงานต่อหน่วยของการกักเก็บพลังงานที่เพิ่มขึ้น เช่น การทดลองหาระดับหรือปริมาณพลังงานที่ต้องการต่อการเจริญเติบโตหรือเพิ่มน้ำหนักของร่างกาย (ARC, 1980 ; Johnson, D.E., et al., 2003) (ดังแสดงในภาพที่ 2.5)

3) การวัดพลังงานกักเก็บโดยเทคนิคการวิเคราะห์ซากเปรียบเทียบ (Measurement of energy retention by Comparative Slaughter technique)(Lofgreen, G.P. and W.N. Garrett., 1968) เนื่องจากการศึกษา Calorimetric ต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากและสามารถทดลองได้กับสัตว์จำนวนน้อย ดังนั้นจึงมีการพยายามวัดพลังงานที่กักเก็บไว้ในร่างกายโดยวิธีอื่น ด้วยการศึกษาผลการตอบสนองต่ออาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว (Feeding trial) ทำให้เราทราบปริมาณพลังงานที่ย่อยได้ และปริมาณพลังงานที่เผาผลาญได้ แต่พลังงานกักเก็บประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ไม่สามารถบ่งถึงปริมาณพลังงานที่กักเก็บไว้ได้ถูกต้องนัก ทั้งนี้เนื่องจาก

น้ำหนักอาจจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณอาหารในลำไส้ น้ำในกระเพาะปัสสาวะหรือน้ำในร่างกายก็ได้ จากการศึกษาพบว่า การให้แกะอดน้ำในสภาพอากาศร้อนอาจทำให้น้ำหนักตัวลดลงถึง 23 % โดยของเหลวที่อยู่นอกเซลล์ (Extra - cellular fluid) ลดลง 45 % แต่เนื่องจากน้ำไม่มีพลังงาน ดังนั้นจึงอาจไม่ประเมินปริมาณพลังงานที่กักเก็บในร่างกายก็ได้

ปริมาณพลังงานในเนื้อเยื่อที่ถูกสะสมจริงๆนั้นแปรปรวนมาก ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกระดูก กล้ามเนื้อ และไขมัน ทั้งนี้เพราะเนื้อเยื่อแต่ละประเภทมีพลังงานต่อ 1 หน่วยน้ำหนักต่างกัน สัตว์ที่มีการเปลี่ยนกล้ามเนื้อมาเป็นไขมันแม้ว่าจะมีน้ำหนักตัวคงเดิม ก็จะมีการสะสมพลังงานเพิ่มขึ้น เพราะไขมันมีพลังงานสูงกว่ากล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตาม การกักเก็บพลังงานสามารถวัดโดยใช้ Feeding trial ได้ โดยวัดปริมาณพลังงานในตัวสัตว์ก่อนและหลังจากการทดลอง วิธีนี้เรียกว่า วิธีวิเคราะห์ซากเปรียบเทียบ (Comparative slaughter method) ซึ่งทำโดยแบ่งสัตว์ออกเป็น 2 พวก พวกหนึ่งฆ่าก่อนการทดลอง นำตัวอย่างซึ่งอาจจะใช้สัตว์ทั้งตัวบดให้เข้ากัน หรือจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของร่างกายก็ได้ มาวัดหาค่าพลังงานด้วย Bomb calorimeter จะได้ปริมาณพลังงานต่อน้ำหนักตัวสัตว์ซึ่งถือเป็นปริมาณพลังงานเริ่มต้น สำหรับสัตว์กลุ่มที่ 2 จะถูกฆ่าตอนท้ายการทดลอง คือเมื่อการทดลองกักเก็บสิ้นสุดลงแล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นได้ วิธีวิเคราะห์ซากเปรียบเทียบนี้ไม่ต้องการเครื่องมือที่ยุ่งยาก แต่ต้องลงทุนและสิ้นเปลืองแรงงานมากเมื่อทำกับสัตว์ใหญ่ วิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยลงถ้าวัดปริมาณพลังงานโดยไม่ทำให้สัตว์เป็นอันตราย ซึ่งอาจจะทำได้โดยประเมินค่าส่วนประกอบของร่างกายโดยอาศัยวิธีทางเคมีแบบ *In vivo* หลักการก็คือ หาปริมาณน้ำในร่างกายโดยใช้ Dilution technique ซึ่งอาจจะใช้สาร Antipyrine หรือ Analog ของมันหรือ Isotope deuterium หรือ Tritium ก็ได้ ฉีดสารนี้เข้าไปในร่างกายรอจนกระทั่งสารนั้นกระจายตัวอยู่ในสมดุล สุ่มตัวอย่างน้ำในร่างกายออกมาหาความเข้มข้นของสารนี้ ถ้าเราทราบปริมาณสารที่ฉีดเข้าไปแน่นอนก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำในร่างกายได้ จากนั้นคำนวณปริมาณไขมันโดยใช้สมการ $Y = 355.88 + 0.355X - 202.91 \log X$; เมื่อ Y = ปริมาณไขมัน (%); X = ปริมาณน้ำ (%) เนื่องจากปริมาณโปรตีนและเถ้าจะคงที่เมื่อคิดเป็น % ของร่างกายที่ปราศจากไขมันและน้ำ (Fat and water free basis) คือ 80.3 และ19.7% ตามลำดับ เพราะฉะนั้น เราจะสามารถคำนวณหาส่วนประกอบทั้ง 2 ได้ จากนั้นจึงนำมาคำนวณเป็นพลังงานต่อไป โดยเอาพลังงานต่อหน่วยน้ำหนัก (Calorific value) ของโปรตีนและไขมัน คูณกับปริมาณโปรตีนและไขมันตามลำดับ

2.5.3 ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงาน (Efficiency of utilization of energy; K) และ การกักเก็บพลังงาน (Energy retention; ER)

จากรายงานของ NRC (1980) ได้ระบุว่า การประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงาน เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารที่ให้กินในรูปของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ว่าถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สามารถนำไปใช้เพื่อการดำรงชีพหรือมีการกักเก็บได้มากน้อยเพียงใด โดยส่วนที่หายไปในการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานสุทธิ ซึ่งหมายถึง Heat increment (พลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากร่างกาย เนื่องจากการกินอาหารของสัตว์) ดังนั้น พลังงานสุทธิมีค่าเท่ากับ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่สัตว์กินได้หักลบด้วย Heat increment หรือ NE = ME – HI โดยหลักการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก (McDonald, P., et al., 2002) ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Efficiency of utilization of ME for maintenance; K_m) และ 2) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency of Utilization of ME for growth; K_g) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ที่แสดงให้เห็นว่า ณ จุดตัดแกน x คือ การกักเก็บของพลังงานในร่างกายเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) และค่าความชันของเส้นกราฟที่อยู่ใต้แกน x คือ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (K_m) คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$K_m = HeE/ME_m$$

$$K_g = \Delta \text{ Energy retention} / \Delta \text{ ME Intake}$$

โดยที่ K_m = ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อการดำรงชีพ; HeE = พลังงานขั้นต่ำสุดขั้นพื้นฐานเพื่อการเมตาบอลิซึมของร่างกาย (Basal metabolic rate, BMR) หรือพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ในสภาวะที่สัตว์อดอาหาร (Fasting heat production, FHP หรือ Fasting metabolic rate, FMR); ME_m= พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (Metabolizable energy for maintenance : ME_m)

K_g = ประสิทธิภาพการกักเก็บพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไว้ในร่างกายหรือเพื่อการให้ผลผลิต โดยคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่กักเก็บไว้ (Δ Energy retention) ต่อหนึ่งหน่วยของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่สัตว์ได้รับ (Δ ME Intake)

โดย McDonald, P., et al.(2002) ระบุว่าค่า K อาจมีความผันแปรได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

2.5.3.1 ธรรมชาติของอาหาร ได้แก่ ส่วนประกอบทางเคมี และความสามารถในการย่อยได้

2.5.3.2 การใช้ประโยชน์จากสารอาหารของตัวสัตว์

2.6 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ (Animal Calorimetry)

อาหารที่สัตว์กินเข้าไป ส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกมา ส่วนที่ย่อยได้จะถูกดูดซึมและเปลี่ยนแปลงในร่างกายด้วยกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่า เมตาบอลิซึม (Metabolism) ซึ่งหมายถึงลำดับของขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและพลังงานที่เกิดขึ้นภายในเซลของร่างกาย ประกอบด้วย 2 ขบวนการ คือ

(1) Catabolism เป็นขบวนการสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาทีละน้อย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ของร่างกาย เช่น การสังเคราะห์โภชนะต่างๆ การหายใจ และการเคลื่อนไหว เป็นต้น

(2) Anabolism เป็นขบวนการสังเคราะห์สารโมเลกุลเล็กให้เป็นสารที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ โดยใช้พลังงานที่ได้จากการสลายสารพลังงานสูงในเซล ซึ่งเซลของอวัยวะแต่ละชนิดมีสัดส่วนของการเกิดเมตาบอลิซึมต่างกัน โดยระหว่างที่มีการเจริญเติบโตจะมีการสร้างมากกว่าการสลาย ดังนั้นสัตว์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซล เมื่อร่างกายเจริญเติบโตเต็มที่ การเพิ่มน้ำหนักเป็นผลมาจากการสะสมไขมันมากกว่าปกติ เรียกสภาวะนี้ว่า obesity ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับเมตาบอลิซึมพลังงาน ทำให้ทราบว่าพลังงานที่ผลิตขึ้นจากการสลายสารอาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างไร

Calorimetry คือ การวัดพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิซึมโดยเครื่องมือที่ใช้วัดนี้เรียกว่า Calorimeter

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิซึม มีหน่วยเป็นแคลอรี่

โดย 1 แคลอรี่ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C คือ จาก 14.5 °C เป็น 15.5 °C ซึ่งเท่ากับ 4.185 joules

1 kilocalory (Kcal) เท่ากับ 1,000 calory (cal)

1 Mcal เท่ากับ 1,000 Kcal

ความร้อนที่ผลิตขึ้นในร่างกายสัตว์ (Heat increment, HI) เป็นเพียงส่วนหนึ่งของความร้อนทั้งหมด (Total heat production, HP) ที่ผลิตขึ้นในร่างกายเท่านั้น โดยปกติพลังงานส่วนนี้จะเป็นพลังงานสูญเปล่า ยกเว้นกรณีที่สัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ (Critical temperature)

ความร้อนส่วนนี้จะช่วยให้ความอบอุ่นได้ ส่วนความร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) สัตว์ได้ใช้พลังงานส่วนนี้ให้เป็นประโยชน์แล้วจึงถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อน

ดังนั้น ความร้อนทั้งหมดที่ผลิตขึ้นในร่างกาย (Total heat production, HP) จึงเป็นผลรวมของ HI + NE_m ซึ่งอาจมีค่าประมาณ 40 – 50 %ของ GE หรือมากกว่า ทั้งนี้ HP มีความสำคัญในทางโภชนะศาสตร์สัตว์มาก เนื่องจากในทางเศรษฐกิจ ถ้าเราลดสัดส่วนของความร้อนที่ผลิตขึ้นได้มากเท่าใด จะมีโอกาสเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น

การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ ทำได้ 2 วิธีใหญ่ คือ

2.6.1 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์โดยตรง (Direct calorimetry)

2.6.2 การวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์โดยอ้อม (Indirect calorimetry)

ซึ่งเป็นการประมาณพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นในตัวสัตว์จากการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ (O_2/CO_2 Respiratory gas exchange) โดยอาศัยห้องวัดการหายใจ (Respiration chamber)

2.6.2.1 Direct calorimetry

เป็นการวัดพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกจากร่างกายสัตว์โดยตรง ทาง Sensible heat loss ด้วยวิธีการนำ (Conduction), การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ออกจากผิวหนัง (Body surface) และทาง Evaporative heat loss ด้วยวิธีการขับถ่ายและการระเหยของของเหลว โดยทางปัสสาวะ, น้ำนม, การขับเหงื่อทางผิวหนังและการระเหยของน้ำจากระบบทางเดินหายใจ (ปอด)

หลักการของ Animal calorimeter คือ การนำสัตว์เลี้ยงเข้าไปอยู่ใน Calorimeter ซึ่งเป็นห้องที่มีระบบปิด ผนังห้องบุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนและกันอากาศเข้าออกได้ ความร้อนที่ระบายออกโดยการระเหยน้ำ (Evaporative heat loss) วัดโดยบันทึกปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านเข้าและออกจากห้องวัดการหายใจของสัตว์ (Chamber) และความชื้นของอากาศก่อนเข้าและออก ในสมัยแรก ๆ นั้น Sensible heat loss (ความร้อนที่ระบายออกโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี) จะถูกระบายให้กับน้ำที่ไหลหมุนเวียนผ่านพื้นผิวรอบนอกของ Camber ปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้น คำนวณได้จากอัตราการไหลของน้ำ และความแตกต่างของอุณหภูมิของห้องก่อนและหลังการหมุนเวียนเข้าไปรอบๆ ผิวผนัง Chamber ระบบนี้มีชื่อเรียกว่า Heat sink calorimeter (กฤตพล สมมาตย์, 2550 ; บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532 ; Blaxter, K.L., 1969) ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นของวัสดุ เช่น น้ำ หรือ อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านเข้าไปในผนังระบบ หรือห้องเลี้ยงสัตว์ (Chamber) ส่วนค่าพลังงานที่สูญเสียไปจากการระเหย (Evaporative loss) สามารถวัดจากค่าความชื้นที่เพิ่มหลังจากการผ่านอากาศเข้าไปในตัวสัตว์ สำหรับสมัยใหม่ใช้

Gradient layer calorimeter โดยปริมาณความร้อนจะถูกวัดด้วยสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ในระหว่างที่พลังงานความร้อนผ่านผนังของห้อง (Chamber) ทำให้สามารถวัดความร้อนที่ระบายออก ทั้งแบบ Sensible loss และ Evaporative loss พร้อมกันโดยอัตโนมัติ

2.6.2.2 Indirect calorimetry

เป็นการวัดพลังงานทางอ้อม ด้วยการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respiratory gas exchange) โดยอาศัยหลักการคือ ความร้อนที่ผลิตขึ้นในร่างกายเกิดเนื่องจากสัตว์ได้รับพลังงานจากขบวนการ Oxidation ของอาหาร ซึ่งต้องใช้ O_2 และเกิด CO_2 , CH_4 และน้ำ ถ้าเราทราบปริมาณ O_2 ที่ใช้, CO_2 และ CH_4 ที่ผลิตขึ้นสามารถคำนวณเป็น Heat production ได้ ซึ่งค่าที่เราจะนำมาใช้ในการคำนวณ Metabolic rate คือ Respiratory Quotient (RQ) การวัดด้วยวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในกลุ่มนักวิจัย เนื่องจากมีความแม่นยำ ราคาถูก ใช้ระยะเวลาสั้นในการทดสอบ โดยอาศัยการออกแบบห้องวัดการหายใจของสัตว์ ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาตรอากาศและส่วนประกอบหรือความเข้มเข้นของก๊าซในอากาศ ก่อนและหลังจากผ่านเข้าไปในห้องวัดการหายใจ ซึ่งต้องมีความแม่นยำสูงและมีการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการทดสอบ เมื่อนำสัตว์เข้าทดสอบในห้องวัดการหายใจของสัตว์ (Respiration chamber) แล้วทำการวัดปริมาณก๊าซ CH_4 และ CO_2 ที่ผลิตขึ้น และปริมาณก๊าซ O_2 ที่ใช้ในการหายใจ ร่วมกับปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายทางปัสสาวะ โดยค่าพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respiratory gas exchange)

Respiratory Quotient (RQ) คือสัดส่วนระหว่างปริมาตรของ CO_2 ที่ผลิตขึ้นต่อปริมาตรของ O_2 ที่ถูกใช้เพื่อการหายใจ หรือเพื่อการเผาผลาญสารอาหาร เราสามารถคำนวณหาค่า RQ ได้จาก

$$RQ = \frac{Volum\ of\ CO_2\ produced}{Volum\ of\ O_2\ consumed}$$

หรือ เนื่องจากภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ก๊าซที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน

$$RQ = \frac{Mole\ of\ CO_2\ produced}{Mole\ of\ O_2\ consumed}$$

เนื่องจากชนิดของอาหารที่กินมีผลต่ออัตราการใช้ O_2 ในการสันดาปอาหารนั้นๆในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นจึงเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอาหาร

จากค่า RQ ทำให้เราทราบว่าอาหารชนิดใดถูก Oxidized ในอัตราส่วนเท่าใด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และมีประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับ Indirect calorimetry

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ O_2 และการผลิต CO_2 ของอาหาร (RQ = CO_2 : O_2 ratio)

	Pure Carbohydrate	**Pure Fat**	**Pure Protein**
O_2 consumed / gm. (liters)	0.75	2.03	0.97
CO_2 produced / gm. (liters)	0.75	1.43	0.75
RQ	1	0.71	0.80

ที่มา : พิสิทธิ์ สุวรรณโชติ (2547)

โดยทั่วไปสัตว์ที่กินอาหารคาร์โบไฮเดรต มีค่า RQ เท่ากับ 1.0 ส่วนค่า RQ ของไขมันผสม เท่ากับ 0.7 และ RQ ของโปรตีน เท่ากับ 0.81 ในภาวะที่เกิดขึ้นจริง สัตว์จะได้รับพลังงานจากการเผาผลาญของสารอาหารหลายประเภททั้งจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน เราสามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้น และประเมินการใช้ O_2เพื่อการเผาผลาญสารอาหารแต่ละชนิดได้ โดยจำเป็นต้องทราบปริมาณ O_2 ที่ใช้เพื่อการเผาผลาญโภชนะแต่ละประเภท ในกรณีที่ทราบค่า RQ สัดส่วนของการเผาผลาญสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะสามารถตรวจสัดส่วนออกซิเจนที่ใช้ หรือสัดส่วนค่าพลังงานความร้อนได้จากตารางมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.5 แสดงค่าพลังงานความร้อนเกิดจากการเผาผลาญอาหารในร่างกาย จากการใช้ O_2 และการผลิต CO_2 โดยภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน สัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตกับไขมันจะเกิดขึ้นในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะผันแปรไปตามค่า RQ โดยทั่วไปค่า RQ มีค่าอยู่ในช่วง 0.7 – 1.0 แต่มีข้อยกเว้นในกรณีที่ RQ มีค่ามากกว่า 1.0 นั่นหมายถึงสภาวะที่สัตว์ใช้คาร์โบไฮเดรตเพื่อการสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis) หรือในกรณีที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทางการหายใจมาก ถ้าเกิดการสลายไขมันเพื่อเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบในสัตว์ขาดพลังงาน จำศีล หรือ กรณีของสัตว์ที่เกิดภาวะอาการผิดปกติ และทุพโภชนาการ เช่น การเกิดอาการโรคคีโตซีส (Ketosis) ค่า RQ จะมีค่าต่ำกว่า 1

ตารางที่ 2.5 พลังงานความร้อนจากการออกซิไดซ์สารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมัน

R.Q.	Percentage of Total Heat Produced by		Calories per Liter of O_2
	Carbohydrate	Fat	
0.70	0	100.0	4.686
0.71	1.10	98.9	4.690
0.72	4.76	95.2	4.702
0.73	8.40	91.6	4.714
0.74	12.0	88.0	4.727
0.75	15.6	84.4	4.739
0.76	19.2	80.8	4.751
0.77	22.8	77.2	4.764
0.78	26.3	73.7	4.776
0.79	29.9	70.1	4.788
0.80	33.4	66.6	4.801
0.81	36.9	63.1	4.813
0.82	40.3	59.7	4.825
0.83	43.8	56.2	4.838
0.84	47.2	52.8	4.850
0.85	50.7	49.3	4.862
0.86	54.1	45.9	4.875
0.87	57.5	42.5	4.887
0.88	60.8	39.2	4.899
0.89	64.2	35.8	4.911
0.90	67.5	32.5	4.924
0.91	70.8	29.2	4.936
0.92	74.1	25.9	4.448
0.93	77.4	22.6	4.961
0.94	80.7	19.3	4.973
0.95	84.0	16.0	4.985
0.96	87.2	12.8	4.998
0.97	90.4	9.58	5.010
0.98	93.6	6.37	5.022
0.99	96.8	3.18	5.035
1.00	100.0	0	5.047

ที่มา : Dukes, H.H. (1984)

ดังนั้นหากนำข้อมูลจากการทดลอง มาคำนวณค่าพลังงานความร้อนรวมทั้งหมดที่ผลิตขึ้น(Total heat production)ในร่างกาย จะสามารถประเมินค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต และไขมันได้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาวะจริงของเซลร่างกายในสัตว์จะไม่สามารถทำการเผาผลาญ หรือ ออกซิไดซ์ ไนโตรเจนจากโปรตีนได้อย่างสมบูรณ์ (มีสารอาหารโปรตีนบางส่วนที่ขับออกทางปัสสาวะในรูปของแอมโมเนีย หรือ ยูเรีย จากการสลายกรดอะมิโน) ดังนั้นโดยทั่วไปจะต้องทำการปรับค่าให้ถูกต้องด้วยการหักลบค่าพลังงานในส่วนที่ขับออกหรือเกิดการออกซิไดซ์ไม่สมบูรณ์

สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ก๊าซมีเทน (CH_4) ที่ผลิตขึ้นภายในรูเมน โดยจุลินทรีย์ถือเป็นอีกส่วนหนึ่งของพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการออกซิไดซ์ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงได้มีข้อตกลงและได้รับความนิยมในการใช้เพื่อการคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นในร่างกาย โดยสมการเป็นที่ตกลงและยอมรับในทางวิชาระดับนานาชาติเสนอโดย Brouwer, E. (1965) จึงเรียกว่า สมการของ Brouwer พลังงานความร้อนที่ผลิตในร่างกายทั้งหมดของสัตว์เลี้ยงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Total heat production (KJ)} = 16.18\ VO_2 + 5.02\ VCO_2 - 2.17\ CH_4 - 5.99\ N \text{ หรือ}$$

$$\text{Total heat production (Kcal)} = 3.866\ VO_2 + 1.200\ VCO_2 - 0.518\ CH_4 - 1.431\ N$$

เมื่อ VO_2 = ปริมาตรของออกซิเจนที่ใช้ (ลิตร)

VCO_2 = ปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น (ลิตร)

CH_4 = ปริมาตรของก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น (ลิตร)

N = ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมาทางปัสสาวะ (กรัม)

2.6.3 เทคนิควิธีการวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ทางอ้อมด้วยห้องวัดการหายใจ (Indirect calorimetry by the measurement of respiratory gas exchange in respiration chamber) เครื่องมือที่ใช้มีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

2.6.3.1 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบเปิด (Open – circuit respiration chamber type)

โดยระบบหมุนเวียนอากาศแบบเปิดมีหลายรูปแบบ คือ แบบใส่หน้ากาก (Face mask), แบบตู้ครอบหัว (Head box) และแบบห้องวัดการหายใจ (Chamber) อาศัยหลักการวัดความเข้มข้นของ O_2, CO_2 และ CH_4 ของอากาศก่อนเข้าไปในห้อง และค่าความเข้มข้นของอากาศ

ที่ออกจากห้องหลังจากการหายใจร่วมกับอัตราการไหลผ่านของอากาศ ดังนั้นหากคำนวณค่าความแตกต่างของความเข้มข้นก่อนและหลังจากที่ปล่อยอากาศเข้าไปในห้องหรือหน้ากาก คูณด้วยอัตราเร็วของการไหลผ่านของอากาศ เราจะได้ค่าปริมาตรก๊าซที่ใช้เพื่อการหายใจ หรือปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา เครื่องมือที่ใช้เพื่อวัดพลังงานความร้อนในตัวสัตว์ทางอ้อมด้วยการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่หายใจ (Respiratory exchange) ปัจจุบันได้รับความนิยมโดยอาศัยการออกแบบการทดลองในห้องวัดการหายใจ (Respiration chamber) สามารถแบ่งประเภทห้องวัดการหายใจได้หลายแบบดังต่อไปนี้

1) Open – circuit respiration chamber

ระบบนี้จะทำการตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบของอากาศ สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากตัวสัตว์ทั้งหมด จากค่าความแตกต่างส่วนประกอบของอากาศก่อนและหลังจากการหายใจ ระบบนี้มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงในการตรวจวิเคราะห์ นอกจากนี้แล้วยังมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่สามารถวัดอัตราการไหลเข้าออกของอากาศที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงด้วย อย่างไรก็ตามปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอินฟราเรด (Infrared analyzers) และเครื่องวัดอัตราการไหลผ่านของอากาศ (Gas flow meter) ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วทำให้สามารถออกแบบเครื่องมือที่มีราคาถูกลงมาก และไม่ต้องใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากอาจมีผลทำให้ส่วนประกอบของอากาศเปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบันระบบเปิดได้รับความนิยมสูงขึ้นมากกว่าระบบปิด

เนื่องจากมีการผลิตก๊าซมีเทนในทางเดินอาหารส่วนล่าง (ลำไส้ใหญ่/ไส้ติ่ง) จะถูกปล่อยออกทางทวาร ระบบนี้จำเป็นต้องบันทึกข้อมูลต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง (ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และอัตราการไหลออก) ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงแก้ปัญหาด้วยการเชื่อมต่อข้อมูลเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติที่เรียกว่า ดาตาลอกเกอร์ (Data logger) เพื่อช่วยเก็บข้อมูลและสามารถโอนย้ายเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

2) Open circuit calorimeter

ระบบนี้พัฒนาโดย Blaxter, K.L. (1972) ประยุกต์ต่อจากระบบ Closed circuit calorimeter โดยไม่ต้องใช้สารละลาย KOH เพื่อการดูดซับ CO_2 ใช้หลักการดูดอากาศที่ผ่านเข้าไปในห้องปิดสนิทขนาดใหญ่ภายในระยะเวลานาน ประมาณ 30 นาที แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบของอากาศเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการวัดการหายใจ สามารถเปลี่ยนถ่ายอากาศใหม่ในรอบต่อไปได้หลายครั้ง วิธีนี้มีความถูกต้องดียิ่งขึ้นเนื่องจากทราบปริมาตรอากาศที่ดูด

หมุนเวียนเข้าไปในระบบและค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นของก๊าซในอากาศก่อนและหลังผ่านเข้าไปในห้องวัดหายใจจะมีค่าสูงกว่าระบบแบบ Open circuit calorimeter

3) Open – circuit respiration with hoods / face mask – indirect calorimeter

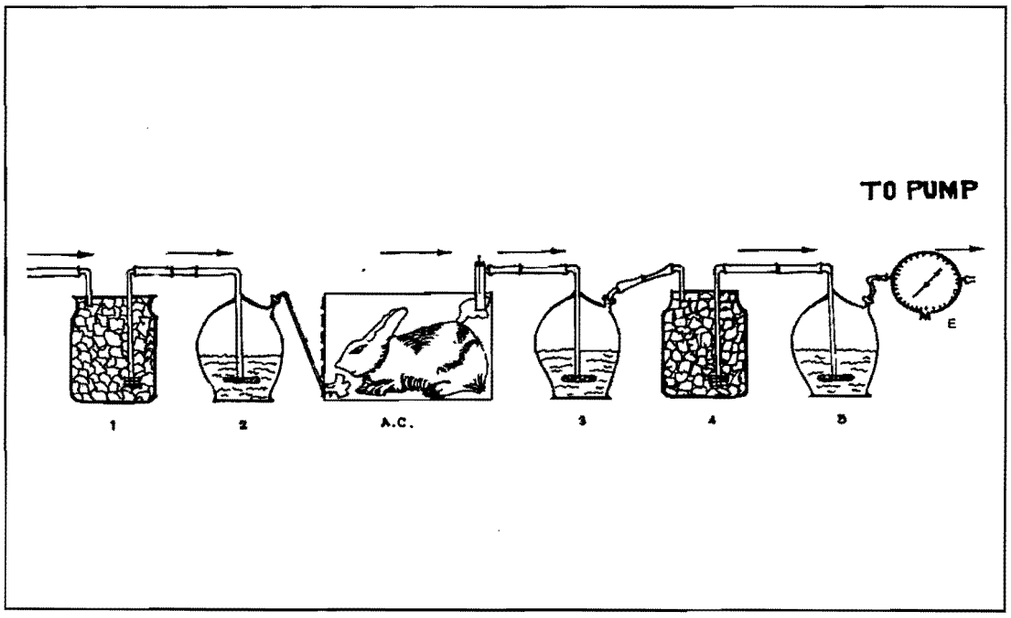
นอกเหนือจากวิธีการวัดพลังงานในตัวสัตว์ทางอ้อมโดยใช้ห้องวัดการหายใจตามวิธีที่กล่าวมาแล้ว ยังมีระบบที่ง่ายในการออกแบบก่อสร้างและมีราคาประหยัดกว่า ซึ่งใช้หลักการดูดอากาศผ่านหน้ากาก (Face mask) ที่ออกแบบให้สามารถสวมส่วนหน้ากาก (Animal face mask system) ซึ่งช่วยป้องกันการไหลย้อนกลับของอากาศที่ออกจากทางเดินหายใจ

การคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นในร่างกาย (Heat production) สามารถคำนวณได้จากการตรวจวิเคราะห์อัตราการไหลผ่านอากาศ (Flow rate) ร่วมกับความแตกต่างของส่วนประกอบอากาศที่หายใจเข้า – หายใจออกมา (ทั้ง CO_2 และ O_2) เนื่องจากความสะดวกในการควบคุมสัตว์วิธีนี้จำเป็นต้องดำเนินการวัดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ (วัดการหายใจเป็นระยะเวลานาน 5 – 10 นาทีต่อครั้ง จำนวน 10 – 12 ครั้งต่อวัน) จึงควรทำการวัดหลายครั้งในแต่ละวัน นอกจากนี้แล้วการใช้หน้ากาก (Face mask) ทำให้สัตว์ไม่สามารถกินอาหารได้เป็นปกติ จึงได้มีการพัฒนาประยุกต์เพิ่มเติมโดยการใช้หลักการของการสวมเฉพาะส่วนหัว (Head hood respiratory หรือ Head box respiratory; ดังภาพผนวกที่ ผ. 12-15) ร่วมกับ Open circuit chamber ทำให้สามารถวัดได้ตลอด 24 ชั่วโมงติดต่อกัน เนื่องจากระบบนี้ไม่ได้กักสัตว์เลี้ยงในห้องวัดการหายใจทั้งตัว ดังนั้นค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่วัดได้จึงไม่รวมส่วนที่ผลิตจากทางเดินอาหารส่วนล่าง

2.6.3.2 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปิด (Close – circuit respiration chamber type)

ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปิด (Close – circuit respiration chamber) ทดลองโดยนำเอาสัตว์เข้าไปเลี้ยงขังอยู่ภายในห้องวัดการหายใจที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ ระบบนี้ใช้หลักการหมุนเวียนอากาศในระบบปิด (Air tight) อากาศที่เข้าออกจากห้องวัดการหายใจในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง ระบบมีการใช้สารละลาย KOH หรือ Soda lime เป็นตัวดูดซับหรือจับ CO_2 ที่สัตว์หายใจออก มีวิธีการเพิ่มปริมาณออกซิเจน (O_2) เข้าไปในระบบเพื่อทดแทน CO_2 ที่จับไว้ และมีการรักษาระดับค่าความดันของอากาศภายในระบบให้คงที่ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการวัดการหายใจที่กำหนด จะทำการตรวจวิเคราะห์เพื่อวัดส่วนประกอบของอากาศที่หมุนเวียนหรือใช้เพื่อการหายใจ โดยทั่วไปจะทำการตรวจวัดการหายใจตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยการชั่งน้ำหนักออกซิเจนที่เติมเข้าไป ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วัดได้จากการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสารละลายดูดซับ (Absorbent) ส่วนก๊าซมีเทนสามารถวิเคราะห์จากส่วนประกอบของอากาศภายใน

ระบบห้องวัดการหายใจ ระบบนี้มีความแม่นยำสูง และสามารถทำได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดคือ มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติกับสัตว์ขนาดเล็กเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.6 เนื่องจากจำนวนสารละลาย KOH ที่ใช้เพื่อการจับ CO_2 ต้องใช้จำนวนมากและราคาแพง หากมีการหายใจและปล่อย CO_2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มีการผลิตก๊าซ CO_2 ออกมาจำนวนมาก กรณีในสัตว์ใหญ่ยกตัวอย่างแม่โคน้ำหนัก 500 กิโลกรัม อาจต้องใช้ KOH จำนวน 100 กิโลกรัม และใช้ Silica gel ประมาณ 250 กิโลกรัมเพื่อดูดซับน้ำ



ภาพที่ 2.6 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปิด

A.C. = animal chamber, E = meter for measuring rate of ventilation, Bottle 1 and 4 contain KOH for absorption of CO_2, Bottle 2,3 and 5 contain silica gel for absorption of water.
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ensminger, M.E. et al. (1990)

2.7 การวัดการกักเก็บพลังงานโดยวิธีการวัดค่าความสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจน (Measurement of energy retention by Carbon – Nitrogen balance technique)

พลังงานส่วนใหญ่ที่สัตว์กำลังเจริญเติบโตและสัตว์ขุนกักเก็บไว้ จะอยู่ในรูปโปรตีนและไขมัน ส่วนคาร์โบไฮเดรตจะถูกกักเก็บไว้ได้น้อยมากและปริมาณค่อนข้างคงที่ เราจะทราบปริมาณโปรตีนและไขมันที่ถูกสะสมไว้ได้โดยการหาสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจน (Carbon and Nitrogen balance) ทั้งนี้เพราะคาร์บอนเป็นส่วนประกอบของทั้งโปรตีนและไขมัน ส่วนไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโปรตีน

การหาสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจนทำได้โดยการวัดปริมาณของสารทั้ง 2 นี้ที่เข้าและออกจากร่างกาย เมื่อหักลบกันก็จะได้ปริมาณที่ถูกกักเก็บไว้ ส่วนพลังงานที่สะสมไว้ก็หาได้จากการคูณปริมาณโภชนะนั้นด้วยค่าพลังงาน (Calorific value) ของมัน

ร่างกายจะได้รับคาร์บอนและไนโตรเจนเข้าไปก็เฉพาะโดยทางอาหารเท่านั้น ซึ่งไนโตรเจนจะออกจากร่างกายได้โดยทางมูลและปัสสาวะ แต่คาร์บอนจะออกจากร่างกายได้โดยทางรูปอื่นอีก เช่น ในรูปของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ฉะนั้นในการหาสมดุลจึงต้องใช้ห้องวัดการหายใจ (Respiration chamber)

วิธีการคำนวณพลังงานที่กักเก็บไว้โดยอาศัยสมดุลของคาร์บอนและไนโตรเจนนี้ จะเห็นได้ชัดในสัตว์ที่สะสมทั้งไขมันและโปรตีน สัตว์ดังกล่าวจะกินคาร์บอนและไนโตรเจนเข้าไปมากกว่าจำนวนที่มันขับถ่ายออกมา นั่นก็คือมีสมดุลของธาตุทั้งสองเป็นบวก ปริมาณโปรตีนที่สะสมไว้หาได้โดยการคูณไนโตรเจนค่า 6.25 เพราะโปรตีนในร่างกายมีไนโตรเจนประมาณ 16% และมีคาร์บอน 51.2 % จากค่านี้จะสามารถหาปริมาณคาร์บอนที่สะสมไว้ในรูปของโปรตีนได้ ปริมาณคาร์บอนที่เหลือจะถูกสะสมไว้ในรูปไขมัน ซึ่งมีคาร์บอน 74.6% ฉะนั้นจะหาปริมาณไขมันที่สะสมได้ โดยหักคาร์บอนในโปรตีนออกจากสมดุลคาร์บอนแล้วคูณด้วย 100/74.6 ส่วนพลังงานที่สะสมไว้ในรูปไขมันและโปรตีนก็คำนวณได้โดยการคูณด้วยค่าพลังงานเฉลี่ยของเนื้อเยื่อร่างกาย (Average calorific value of body tissue) ซึ่งค่านี้จะผันแปรในสัตว์แต่ละชนิด (Species) ในโคและแกะ ใช้ค่า 9.37 Kcal ต่อกรัมของไขมัน และ 5.32 Kcal ต่อกรัมของโปรตีน ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่กักเก็บไว้และความร้อนที่ผลิตขึ้นโดยวิธีนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การคำนวณการผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานที่เก็บกักไว้ในร่างกายจากวิธีการวัดความสมดุลธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน

Results of the experiment (per 24 hours)	**C (g)**	**N (g)**	**Energy (MJ)**
Intake	684.5	41.67	28.41
Excretion in feces	279.3	13.96	11.47
Excretion in urine	33.6	25.41	1.50
Excretion as methane	20.3	-	1.49
Excretion as CO_2	278.0	-	-
Balance	73.3	2.30	
Intake of Metabolizable energy	-	-	13.95
Protein and fat storage			
Protein stored, g	(2.30 x 6.25)		14.4
Carbon stored as protein, g	(14.4 x 0.512)		7.4
Carbon stored as fat, g	(73.3 – 7.4)		65.9
Fat stored, g	(65.9 / 0.746)		88.3
Energy retention and heat production			
Energy stored as protein, MJ	(14.4 x 23.6)		0.34
Energy stored as fat, MJ	(88.3 x 39.3)		3.47
Total energy retention, MJ	(0.34 + 3.47)		3.81
Heat production, MJ	(13.95 – 3.81)		10.14

ที่มา : McDonald, P., et al. (2005)

บทที่ 3
ขอบเขตและวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองแยกจากกันอย่างอิสระ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงานของส่วนใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด

สถานที่ทดลอง: ห้องปฏิบัติการโภชนะศาสตร์ และฟาร์มสัตว์เคี้ยวเอื้อง สำนักงานไร่ฝึกทดลอง และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.1.1 วัตถุประสงค์

3.1.1.1 เพื่อทำการคัดเลือกเบื้องต้น (Screening test) ส่วนใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิด โดยใช้ส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก

3.1.2 อุปกรณ์ และ วิธีการ

3.1.2.1 พืชที่ใช้ทดลอง ได้แก่ (1) หญ้า Mulato II ปลูกที่ไร่ฝึก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีโดยใช้เมล็ด ระหว่างเดือนมิถุนายน - ตุลาคม 2549 โดยทำการตัดทุกๆ 45 วัน (จำนวน 2 ครั้ง) มีการหว่านปุ๋ย N-P-K จำนวน 200 Kg/ha เช่นเดียวกับหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (Brachiaria spp.)15 ชนิดที่ศึกษา โดยครั้งที่ 1 วันที่ 1 สิงหาคม 2549 และครั้งที่ 2 วันที่ 1 กันยายน 2549 (2)หญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (Brachiaria spp.)15 ชนิด ได้แก่ CIAT BR02/...1752, 1747, 1718, 1245, 0771, 0799, 1372, 1728, 0465, 0768, 1794, 1485, 1452 และ CIAT MX02/1423, 1263 ที่ตัดระหว่างเดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน 2548 โดยทำการตัดทุกๆ 45 วัน (จำนวน 2 ครั้ง)มีการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 วันที่ 2 สิงหาคม 2548 และครั้งที่ 2 วันที่ 19 กันยายน 2548 จำนวน 200 Kg/haทุกๆครั้งที่ตัดจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหญ้าทั้ง 15 ชนิดมาชนิดละ 4 กิโลกรัม นำมาอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 60 - 65 °C นำตัวอย่างหญ้าที่สุ่มเก็บสะสมที่อายุการตัด 45 วัน (จำนวน 2 ครั้ง) มาผสมกันจะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 15 ตัวอย่างที่ใช้ศึกษา โดยดินที่ปลูกเป็นดินชุดร้อยเอ็ดคุณภาพต่ำ การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีจะใช้เฉพาะใบ (Leaf)

3.1.2.2 สัตว์ทดลอง ได้แก่โคนมเพศผู้ตอนลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian steer) ที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะฝัง rumen fistula จำนวน 2 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 6 – 7 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 450 กิโลกรัม เลี้ยงแบบขังคอก มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และให้อาหารข้นจำนวน 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน ให้หญ้ารูซี่ที่อายุการตัด 45 วัน เป็นอาหารหยาบหลักให้กินอย่างเต็มที่

3.1.2.3 แผนการทดลอง เพื่อศึกษาการย่อยได้ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิดในกระเพาะรูเมนโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

3.1.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.1.2.5 วิธีการทดลอง

1) การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยวิธี Proximate Analysis (AOAC, 1990) และวิเคราะห์เยื่อใยโดยวิธี Detergent Analysis (Goering, V. and P.J. Van Soest, 1970) ระหว่างเดือนกันยายน – พฤศจิกายน 2549 วิเคราะห์โปรตีน ด้วยเครื่อง Dumas รุ่น FP 528 และวิเคราะห์เยื่อใย ด้วยเครื่อง Fiber Analysis รุ่น VELP scientifica

2) การประเมินค่าการย่อยได้โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon bag technique) ระหว่าง วันที่ 7 – 22 ธันวาคม 2549 โดยนำตัวอย่างหญ้าที่ศึกษาที่บดผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรมาอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 3 กรัม (W_2) ใส่ถุงไนล่อนที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (W_1) นำไปบ่ม (Incubate) ไว้ในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงบ่มต่างๆกัน คือ 4, 8, 12, 24, และ 48 ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ผ.1) เมื่อครบกำหนดเวลานำถุงออกจากกระเพาะรูเมนแล้วนำมาล้างด้วยน้ำก๊อก เพื่อให้ชิ้นส่วนอาหารที่ติดอยู่นอกถุงให้หลุดออกและยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ โดยแช่ถุงในถังบรรจุน้ำแข็งที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นนำไปล้างโดยใช้เครื่องซักผ้าเป็นเวลาประมาณ 15 นาที สำหรับที่ 0 ชั่วโมง จะนำไปแช่น้ำอุ่นที่ 39°C ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักถุงและตัวอย่างอาหารที่เหลือ คำนวณ % วัตถุแห้งที่หายไป จากสูตร

$$\%DM\ disappearance = \frac{W_1 + W_2 - W_3}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักถุง

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่เริ่มต้น

W_3 = น้ำหนักถุง + ตัวอย่างอาหารหลังอบ

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการย่อยได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY ที่พัฒนาโดย Ørskov, E.R. and P. McDonald (1979) ดังต่อไปนี้

$$P = A + B(1 - e^{-ct})$$

P = โภชนะที่หายไปที่เวลา t (Degradation at time)(%)

A = ค่าการย่อยสลายที่ชั่วโมง 0 (Y intercept) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่ละลายได้ทั้งหมด (Immediately soluble material, Soluble water)(%)

B = ค่าผลต่างระหว่างค่า Intercept (A) กับค่าการย่อยสลายที่ชั่วโมงสุดท้ายเป็นส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (%)

c = อัตราการย่อยสลายของอาหารส่วน B (Degradation rate) มีหน่วยเป็น Fraction / h

3) การประเมินการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (Organic matter digestibility) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้เทคนิคการผลิตก๊าซ (*In vitro* Gas production technique) ระหว่างวันที่ 5 – 30 มกราคม 2550

(1) ชั่งตัวอย่างอาหารที่ใช้ทดลองที่บดผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร ประมาณ 200 มิลลิกรัมวัตถุแห้งใส่ในหลอด ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกระบอกฉีดยา ขนาด 100 มิลลิลิตร ทาวาสลีนที่แกนดัน เพื่อไม่ให้แกนดันฝืด บริเวณปลายหลอดมีสายยางและคลิ๊ป พร้อมทั้งปิดคลิ๊ปบริเวณสายยาง หลังจากนั้นนำหลอดแก้วไปใส่ในตู้บ่ม (ดังแสดงในภาพผนวกที่ ผ.3) ที่อุณหภูมิ 39°C เพื่อปรับสภาพตัวอย่างให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับในกระเพาะรูเมน

(2) เตรียมสารละลายรูเมน (Rumen liquor buffer) ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Macromineral, Micromineral, Buffer, Rezasurin solution, Reduction solution, น้ำกลั่น และของเหลวจากกระเพาะรูเมน โดยใช้ของเหลวที่เก็บมาใหม่ ๆ จากกระเพาะรูเมน จำนวน 2 ตัว ที่ได้ปรับสภาพโดยให้กินอาหารข้นจำนวน 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน ให้หญ้ารูซี่อายุการตัด 45 วัน เป็นอาหารหยาบหลักอย่างเต็มที่ 2 เวลา คือ 08.30 และ 16.30 น. มีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดเวลา การเตรียมสารละลาย เตรียมในขวดรูปชมพู่แบบ 3 คอ ที่แช่ในอ่างน้ำอุ่น (Water bath) อุณหภูมิ 39°C โดยคอขวดด้านหนึ่งจะใส่สายยางลงไปเพื่อพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ลงในขวดตลอดเวลา ทำให้

สารละลายมีสภาพไร้ออกซิเจน (O_2) พร้อมกับคนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) หลังจากเตรียมสารละลายเสร็จต้องนำไปใช้ทันที (ดังแสดงในภาพผนวกที่ ผ. 4-5)

(3) ใช้ปิเปตอัตโนมัติ ปั๊มสารละลายรูเมน จำนวน 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่ชั่งอาหารใส่เตรียมไว้ ผ่านทางสายยางที่ปลายหลอด ดันแกนไซริงค์เพื่อไล่อากาศออกจากหลอดให้หมดปิดคลิ๊ป นำหลอดใส่ใน Rotator ที่ทำงานในลักษณะหมุนรอบแกนในแนวตั้งอย่างช้าๆตามเข็มนาฬิกาในตู้บ่มที่ปรับอุณหภูมิ 39°C อ่านค่าก๊าซที่ผลิตขึ้นในช่วงเวลา 2, 4, 6, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง ในการทดลองจะทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และต้องทำ Blank (ไม่ใส่ตัวอย่างอาหาร) พร้อมกับตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบค่าปริมาณก๊าซแน่นอนจำนวน 2 ตัวอย่าง คือ หญ้าแห้งและอาหารข้นทุกครั้ง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสารละลายของเหลวจากรูเมน และใช้สำหรับคำนวณค่า Correction factor

(4) วัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นในหลอด หลังจากบ่มนาน 24 ชั่วโมง คำนวณค่าก๊าซเป็นมิลลิลิตรต่อน้ำหนักอาหารแห้ง 200 มิลลิกรัม โดยได้หักปริมาณก๊าซจากหลอด Blank และปรับตัวเลขโดยใช้ค่า Correction factor ที่คำนวณจากตัวอย่างมาตรฐาน ตามวิธีการวิเคราะห์ของ Menke, K.H. and H. Steingass (1988) ดังต่อไปนี้

$$GP\ (ml./200mg.\ DM,\ 24\ hour) = [(V_{24} - V_0 - GP_0) \times 200 \times (FH + FC) / 2] / W$$

เมื่อ GP = ปริมาณก๊าซ (มิลลิลิตร) ที่เกิดขึ้นเมื่อบ่ม (Incubate) 24 ชั่วโมง (Blank)

V_0 = ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดที่อ่านได้ข้างไซริงก์ก่อน Incubate

V_{24} = ปริมาณก๊าซเมื่อ Incubate ได้ 24 ชั่วโมง

GP_0 = ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดในไซริงก์ที่เป็น Blank อ่านที่ 24 ชั่วโมง

FH = $44.43 / (GP_h - GP_0)$; Roughage correction factor

FC = $65.18 / (GP_c - GP_0)$; Concentrate correction factor

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัม วัตถุแห้ง (mg. DM)

(5) นำค่าปริมาณก๊าซจากข้อ 4 มาแทนค่าในสมการเพื่อประเมินค่า OMD, ME และ NE โดยใช้สมการของ Menke, K.H. and H. Steingass (1988) ดังต่อไปนี้

$$OMD\ (\%) = 15.38 + 0.8453\ GP + 0.0595\ XP + 0.0675\ XA \quad (R^2 = 0.91)$$

$$ME\ (MJ/kgDM) = 2.20 + 0.1357\ GP + 0.0057\ XP + 0.0002859\ (XL^2) \quad (R^2 = 0.94)$$

NE (MJ/kgDM) = 0.54 + 0.0959 GP + 0.00038 XP + 0.001733 (XL^2) (R^2 = 0.93)

โดยที่ GP = ปริมาณก๊าซ (มิลลิลิตร/นน.แห้งอาหาร 200 มก.) ที่เกิดขึ้นเมื่อ incubate 24 ชั่วโมง

XP = ปริมาณโปรตีนในอาหาร (g / kgDM)

XL = ปริมาณไขมันในอาหาร (g / kgDM)

XA = ปริมาณเถ้าในอาหาร (g / kgDM)

3.2 การทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II

สถานที่ทดลอง : ฟาร์มวิจัยและทดลอง และห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์วิจัยและพัฒนา อาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

3.2.1 วัตถุประสงค์

3.2.1.1 เพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในหญ้า Mulato II

3.2.1.2 เพื่อประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME) ในหญ้า Mulato II

3.2.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.2.2.1 พืชที่ใช้ในการทดลอง

ใช้หญ้า Mulato II แห้ง จากแปลงหญ้าของเกษตรกรผู้ปลูกหญ้า Mulato II เพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์จำหน่ายให้กับโครงการวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในจังหวัดอำนาจเจริญ โดยใช้ปุ๋ยจากมูลโค ตัดในเดือนพฤศจิกายน 2550 ที่อายุการตัดประมาณ 45 วันหลังจากเก็บเมล็ดพันธุ์ (ภาพผนวกที่ ผ.7 - ผ.8)

3.2.2.2 สัตว์ทดลอง

ใช้โคพื้นเมืองเพศผู้ที่โตเต็มที่ น้ำหนักเฉลี่ย 350 กก. อายุเฉลี่ย 3 ปี 6 เดือน จำนวน 4 ตัว ที่ได้จากฟาร์มวิจัยและทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ จังหวัดขอนแก่น ก่อนทดลองได้ถ่ายพยาธิ และฉีดวิตามิน A D และ E เลี้ยงโคแบบขังเดี่ยวในคอกทดลอง มีแร่ธาตุก้อน และน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา (ภาพผนวกที่ ผ.6)

3.2.2.3 วิธีการทดลอง

1) การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการเคมี ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

- อาหารทดลอง มูล และปัสสาวะนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) วิเคราะห์เยื่อใยโดยวิธี Detergent analysis (Goering, V. and P.J. Van Soest, 1970) และพลังงาน (Gross energy, GE) โดยใช้ Adiabatic bomb calorimeter

- คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ ค่าโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = \frac{\text{โภชนะที่กิน} - \text{โภชนะที่ขับออก}}{\text{โภชนะที่กิน}} \times 100$$

$$\% \text{ TDN} = \text{DCP} + (\text{DEE} \times 2.25) + \text{DNDF} + \text{DNFE}$$

โดยที่ค่า DCP, DEE, DNDF และ DNFE เป็นค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน ผนังเซล (Neutral detergent fiber) และไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรก (Nitrogen free extract) ตามลำดับ โดยค่าคงที่ 2.25 มาจากการที่ไขมันมีพลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า ดังนั้นต้องนำเอา 2.25มาคูณกับปริมาณไขมันที่ย่อยได้

- คำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ตามสมการที่เสนอ โดย McDonald, P., et al.(2002) ดังต่อไปนี้

$$ME = GE - FE - UE - CH_4$$

โดยที่ Metabolizable energy (ME) = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (MJ/kgDM)

Gross energy (GE) = พลังงานรวมในอาหาร (MJ/kgDM)

Feces energy (FE) = พลังงานที่สูญเสียทางมูล (MJ/ kgDM)

Urine energy (UE) = พลังงานที่สูญเสียทางปัสสาวะ (MJ/kgDM)

Methane production (CH_4) = พลังงานที่สูญเสียทางก๊าซมีเทน (MJ/kgDM)

- การแสดงผลการทดลองต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ย (Mean ± SD)

2) การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II

โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection) มีระยะเวลาทดลองรวม 21 วัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 และ 2 เป็นช่วง Preliminary period รวม 14 วัน และช่วงที่ 3 เป็นช่วง Collection period 7 วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ช่วงที่ 1 Adaptation period ใช้เวลา 10 วัน โดยให้โคกินหญ้า Mulato II แห้งอย่างเต็มที่ เพื่อปรับตัวให้คุ้นเคยกับการกินหญ้าแห้งอย่างเดียวโดยแบ่งให้กินวันละ 2 ครั้ง เวลา 09.30 น. และ 16.30 น. บันทึกปริมาณหญ้าแห้งที่โคกินได้อย่างเต็มที่ (Voluntary feed intake, VFI)

ช่วงที่ 2 Adjusting period ใช้เวลา 4 วัน โดยปรับลดปริมาณหญ้าแห้งที่ให้โคกินเหลือ 90 %ของปริมาณที่กินได้เต็มที่ เพื่อไม่มีอาหารเหลือ

ช่วงที่ 3 Collection period ใช้เวลา 7 วัน ให้โคกินหญ้าแห้ง 90 %ของปริมาณที่กินได้เต็มที่ บันทึกปริมาณอาหารที่ให้ และสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายในแต่ละวันของโคทุกตัว วันละ 2 ครั้ง คือ 09.30 และ 16.30 น. เป็นเวลา 6 วัน สำหรับภาชนะรองรับปัสสาวะจะบรรจุกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 % ประมาณครั้งละ 150 – 200 มิลลิลิตร เพื่อตรึงไนโตรเจนในปัสสาวะและช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ วัดก๊าซจากลมหายใจของโคทุกตัว ตัวละ 3 วัน ในระหว่างวันที่ 16 – 18 ของการทดลอง จะวัดก๊าซจากลมหายใจ Chamber ที่ 1 และ 3 วันที่ 19 – 21 ของการทดลอง วัดก๊าซจากลมหายใจ Chamber ที่ 2 และ 4 โดยใช้ Respiration chamber (ภาพผนวกที่ ผ.1 - ผ.2) การวัดก๊าซจากลมหายใจจะวัดอัตราการไหลของอากาศ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ทุก ๆ 4.5 นาที ตลอดทั้งวัน ยกเว้นเวลา 9.00 – 9.30 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ต้องทำความสะอาดรางน้ำ รางอาหาร และให้อาหาร พร้อมกันนี้ได้ทำการ Calibrate เครื่องมือ ด้วยก๊าซมาตรฐาน คำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) จากลมหายใจของโคแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยของการวัดทุกครั้งเป็นรายวัน

- การสุ่มเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง บันทึกและสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารที่ให้และที่เหลือเพื่อวัดปริมาณการกินได้ (Voluntary feed intake)

- บันทึกและสุ่มเก็บตัวอย่างมูล – ปัสสาวะในอัตรา 5 % นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำตัวอย่างมูลมาคลุกเคล้าผสมให้เข้ากัน ตามสัดส่วนแต่ละวันเป็นรายตัว และสุ่มตัวอย่างมูลมาตัวละ 500 กรัม เพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ส่วนปัสสาวะนำมาผสมให้เข้ากัน ตามสัดส่วนแต่ละวันเป็นรายตัว แล้วสุ่มตัวอย่างปัสสาวะมาตัวละ 1,000 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงาน

3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงานและประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

สถานที่ทดลอง : ฟาร์มวิจัยและทดลอง และ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

3.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงานและประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นเพศผู้พันธุ์พื้นเมืองไทย

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยทั้ง 2 การทดลองจะทำการทดลองต่อเนื่องกัน

3.3.2 การทดลอง

3.3.2.1 การทดลองที่ 3.1 การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคเพศผู้พันธุ์พื้นเมืองไทย

1) วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคเพศผู้พันธุ์พื้นเมืองไทย

2) อุปกรณ์และวิธีการ

- สัตว์ทดลอง

ใช้โครุ่นเพศผู้พันธุ์พื้นเมือง น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 84 กิโลกรัม (อายุอยู่ในช่วง 10 – 12 เดือน) จำนวน 18 ตัว ที่ได้จากสถานีทดสอบพันธุ์สัตว์อุบลราชธานี หน่วยบุณฑริก จังหวัดอุบลราชธานี ก่อนทดลองได้ทำการถ่ายพยาธิและฉีด ไวตามิน A, D และ E เลี้ยงโคแบบขังเดี่ยวในคอกทดลอง มีแร่ธาตุก้อนและน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา (ภาพผนวกที่ ผ.9)

- อาหารและการให้อาหารทดลอง

อาหารทดลองที่กำหนด คือ ปรับระดับพลังงานเพิ่มขึ้น 30% จากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (Maintainence, M) ตามคำแนะนำของ NRC (1996) โดยมีระดับพลังงานในอาหารที่ให้สัตว์กินแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.3 M (T1) 1.6 M (T2) และ 1.9 M (T3) ตามลำดับ เมื่อความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 477 $kJ/kgBW^{0.75}/d$ (พีรพจน์ นิติพจน์, 2549) กำหนดให้โคทุกตัวกินอาหารในปริมาณคงที่ระดับ 2 % ของน้ำหนักตัว (สัดส่วนอาหารที่ให้ คือ อาหารหยาบ 40 : อาหารข้น 60) โดยอาหารทดลองประกอบด้วยอาหารหยาบได้แก่ หญ้ารูซี่แห้ง อายุการตัด 45 วัน (ภาพผนวกที่ ผ.11 - ผ.12) และอาหารข้นประกอบด้วยกากถั่วเหลือง 34 %,

รำข้าว 19 %, มันสำปะหลัง 47 % และ แร่ธาตุ 0.5 % โดยการผสมอาหารข้น จะใช้เครื่องผสมอาหารแบบถังตั้งเกลียวคู่ (ภาพผนวกที่ ผ.10)

การให้อาหารโคทดลอง ทำโดยจัดโคเข้าคอกขังเดี่ยวให้โคแต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองที่ถูกปรับให้มีความเข้มข้นของพลังงานแตกต่างกัน โดยมีแร่ธาตุก้อนและน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา การให้อาหารจะให้อาหารข้นและหญ้ารูซี่ที่ผ่านการสับให้มีขนาด 5 – 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการเลือกกินอาหาร แบ่งให้กินวันละ 2 ครั้ง เวลา 8.30 น. และ 16.30 น. ทำการปรับปริมาณอาหารที่ให้ตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นทุกๆ สัปดาห์

- แผนการทดลอง

ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) ประกอบด้วย 3 Treatments จำนวน 6 ซ้ำ (Replications)(ใช้โคเพศผู้พันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 18 ตัว) โดยสิ่งทดลอง (treatment) ประกอบด้วยอาหารที่มีระดับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.3 M (T1) 1.6 M (T2) และ 1.9 M (T3) ตามลำดับ

- วิธีการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

(1) ระยะปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลอง (Preliminary period)

นำสัตว์เข้าคอกขังเดี่ยวเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับคอกและคนเลี้ยงเป็นระยะเวลา 14 วัน ในช่วงนี้ทำการถ่ายพยาธิและฉีดวิตามิน (AD_3E) มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และได้รับอาหารข้นสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 17 % ระหว่างวันที่ 10 ตุลาคม 2550 ถึงวันที่ 24 ตุลาคม 2550 (ภาพผนวกที่ ผ.13 - ผ.14)

(2) ระยะทดลอง (Experimental period)

ทำการเลี้ยงโคทดลอง เป็นระยะเวลา 120 วัน ระหว่างวันที่ 25 ตุลาคม 2550 ถึงวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2551 และ ในระหว่างวันที่ 5 มกราคม 2551 ถึงวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551 ทำการสุ่มโคเข้าสู่งานทดลองที่ 2 (ดังแสดงในตารางผนวกที่ ผ. 3)

- การเก็บข้อมูลและการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร

การเก็บข้อมูลปริมาณการกินได้ และการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร ทำการจดบันทึกปริมาณอาหารหยาบ อาหารข้นที่ให้ และปริมาณที่สัตว์กินเหลือ โดยการนำอาหารเก่าออกทุกครั้งก่อนการให้อาหารใหม่ในช่วงเช้าของแต่ละวันตลอดระยะเวลาทำการทดลอง พร้อมทั้งทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทุกๆ สัปดาห์เพื่อทำการวิเคราะห์ทางเคมี

นำตัวอย่างอาหารมาทำการวิเคราะห์ทางเคมี โดยการอบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM), เถ้า (Ash), โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP), ไขมัน (Ether extract, EE), เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (Nitrogen free extract, NFE) ตามวิธีของ Proximate analysis (AOAC, 1990) (ภาพผนวกที่ ผ.19) วิเคราะห์หาเยื่อใย Neutral detergent fiber (NDF), Acid detergent fiber (ADF) และ Lignin (ADL) โดยวิธี Detergent analysis (Goering, V. and P.J. Van Soest, 1970) และพลังงานรวม (Gross energy, GE)โดยใช้เครื่อง SHIMADZU Auto-calculating Bomb calorimeter (SHIMADZU CA-4PJ, SHIMADZU Corporation, Japan) (ภาพผนวกที่ ผ.20)

- การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว(FCR) มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของอาหารทดลอง ตามแผนการทดลองแบบ RCBD และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต และระดับพลังงานที่โคได้รับ โดยใช้สมการรีเกรสชั่น หุ่นจำลองแบบเส้นตรง (Simple linear regression) และสหสัมพันธ์ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.3.2.2 การทดลองที่ 3.2 การประเมินการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพื้นเมืองเพศผู้ ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ

เป็นงานทดลองต่อเนื่องจากงานทดลองที่ 3.1

1) วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมของพลังงานในโคพื้นเมืองเพศผู้ ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ

2) อุปกรณ์และวิธีการ

- สัตว์ทดลอง

โคทดลองได้จากการทดลองที่ 3.1 ซึ่งอยู่ระหว่างการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 – 14 โดยได้ทำการสุ่มโคทดลองจากการทดลองดังกล่าวมาทรีตเมนต์ละ 4 ตัวขึ้นยืนบน Metabolism cage (ภาพผนวกที่ ผ.15 - ผ.18) ประกอบด้วย ทรีตเมนต์ที่ 1 (1.3 M) โคน้ำหนักเฉลี่ย 137 กิโลกรัม ทรีตเมนต์ที่ 2 (1.6 M) โคน้ำหนักเฉลี่ย 172 กิโลกรัม และทรีตเมนต์ที่ 3 (1.9 M) โคน้ำหนักเฉลี่ย 192 กิโลกรัม ตามลำดับ

- อาหารและการให้อาหารทดลอง

อาหารทดลองในการทดลองนี้เป็นอาหารชุดเดียวกันกับการทดลองที่ 3.1

- แผนการทดลอง

ทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยจัดโคเป็น 3 กลุ่มๆละ 4 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ยของโคในกลุ่มที่ 1, 2 และ3 เท่ากับ 137, 172 และ 192 กิโลกรัม ตามลำดับ)โคแต่ละกลุ่มได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ T1) 1.3 M, T2) 1.6 M และ T3) 1.9 M ตามลำดับ โคได้รับพลังงานแตกต่างในอาหารแบบจำกัดปริมาณที่ระดับ 2 % ของน้ำหนักตัว

- วิธีการทดลอง

การประเมินค่าการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมของพลังงานเป็นการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 3.1 (Feeding trial) โดยการทดลองนี้ใช้วิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection) ใช้ระยะเวลารวม 21 วัน โดยแบ่งระยะเวลาทดลองเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ช่วงที่ 1	Adaptation period	ใช้เวลา 10 วัน
ช่วงที่ 2	Adjusted period	ใช้เวลา 4 วัน
ช่วงที่ 3	Collection period	ใช้เวลา 7 วัน

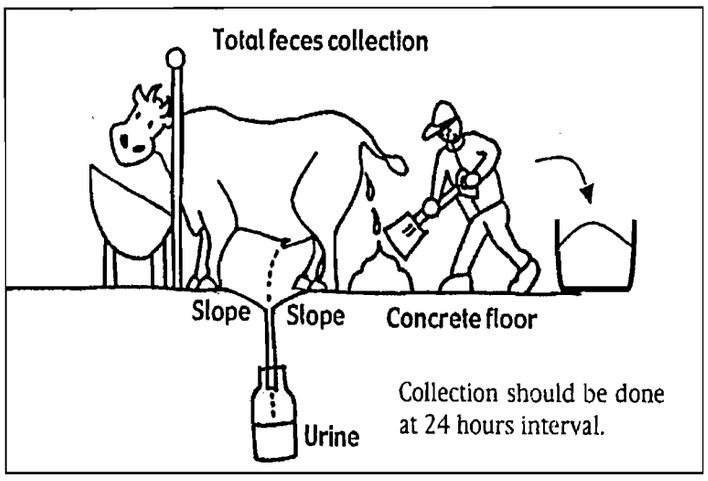
ช่วงที่ 1 – 3 นี้ โคจะได้รับอาหารและการให้อาหารทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 3.1 กล่าวคือ มีการบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายในแต่ละวันของโคทุกตัว โดยมีวิธีการทดลองและรายละเอียดการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกันกับงานทดลองที่ 2 หน้า 48

- การเก็บข้อมูลและการสุ่มเก็บตัวอย่าง

บันทึกน้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

บันทึกและสุ่มเก็บตัวอย่างที่ให้และที่เหลือเพื่อวัดปริมาณการกินได้ (Voluntary feed intake)

บันทึกและสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะโดยสุ่มวิธี Manual collection คือ อาศัยแรงงานคนในการแยกปัสสาวะและมูล ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยสุ่มเก็บมูลและปัสสาวะในแต่ละวันในอัตรา 5 % นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำตัวอย่างมูลมาคลุกเคล้าผสมกันตามสัดส่วนของแต่ละวันเป็นรายตัว แล้วสุ่มตัวอย่างมูลมาตัวละ 500 กรัม บรรจุในถุงพลาสติกทนความเย็นและเก็บที่อุณหภูมิ -15 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ส่วนปัสสาวะนำมาผสมให้เข้ากันตามสัดส่วนของแต่ละวันเป็นรายตัว แล้วสุ่มตัวอย่างปัสสาวะ มาตัวละ 1,000 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพลังงาน



ภาพที่ 3.1 Manual collection of feces and urine (Nishida, Personal communication)

- การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ / $KgBW^{0.75}$)และพลังงานที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ / $KgBW^{0.75}$) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ / $KgBW^{0.75}$) และพลังงานที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ / $KgBW^{0.75}$) โดยใช้สมการรีเกรสชั่น หุ่นจำลองแบบเส้นตรง (Simple linear regression) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4
ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงานในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด อายุการตัด45 วัน จากการทดลองได้ผลดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition)

จากส่วนประกอบทางเคมีในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) มีค่าเท่ากับ 85.82 ± 1.69 % โดยหญ้า Mulato II (T1) มีค่าอินทรียวัตถุสูงสุด เท่ากับ 88.62 % และหญ้า BR02/0768 (T11) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 81.70 % ส่วนค่าเฉลี่ย%โปรตีน (CP) มีค่าเท่ากับ 13.56 ± 0.99 % โดย หญ้า Mulato II (T1) มีค่าโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 15.37 % และหญ้า BR02/1718 (T4) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 11.32 % เนื่องจากมีการวิเคราะห์เฉพาะส่วนของใบทำให้มีค่าโปรตีนค่อนข้างสูง แต่เมื่อนำมาคำนวณหาสัดส่วนของโปรตีนของใบกับลำต้นโดยอ้างอิงข้อมูลจาก Michael, H. (Personal communication) พบว่ามีค่าเท่ากับ 11.01 % ซึ่งค่าที่ได้นี้สูงกว่าหญ้าซิกแนลตั้ง และซิกแนลนอนที่อายุการตัด 45 วัน ที่ (The working committee of thai feeding standard for ruminant, WTSR, 2008) รายงานไว้ คือ มีค่าเท่ากับ 7.9 และ7.4 % ซึ่งถือได้ว่าเป็นหญ้าอาหารสัตว์คุณภาพดีมาก มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอสำหรับใช้เป็นอาหารหยาบในการเลี้ยงสัตว์กระเพาะรวม (Milford, R. and D.J. Minson, 1966) และจากการสุ่มตัวอย่างหญ้าอาหารสัตว์ ที่เกษตรกรนิยมปลูกเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ได้แก่ หญ้าเนเปียร์, หญ้าแพงโกล่า, หญ้าขน, หญ้ากินี และหญ้าจัมโบ้ พบว่า หญ้าอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพต่ำจะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า 5 % คุณภาพปานกลางมีปริมาณโปรตีน 5 – 7 % คุณภาพดีมีปริมาณโปรตีน 7 – 10 % และคุณภาพดีมากมีปริมาณโปรตีนมากกว่า 10 % (กองอาหารสัตว์, 2538) การที่หญ้าอาหารสัตว์ในการทดลองนี้ มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง อาจมีผลเนื่องมาจากสายพันธุ์ สภาพดิน การให้น้ำ และปุ๋ย ตลอดจนอายุการตัดที่ถูกควบคุมดูแลเป็นอย่างดีในแปลงทดลองปลูกพืชอาหารสัตว์ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเยื่อใยในหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย Neutral detergent fiber (NDF) Acid detergent fiber (ADF) และ Lignin (ADL) จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเยื่อใย NDF มีค่าเท่ากับ 61.18± 2.07 % ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับหญ้ารูซี่แห้ง

อายุการตัด 45 วัน ที่ WTSR (2008) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 63.20 % และใกล้เคียงกับ Van Soest, P.J.(1994) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 65 % โดย พบว่า หญ้า BR02/1747 (T3) มีค่า NDF สูงสุดเท่ากับ 64.42 % และหญ้า BR02/1245 (T5) มีค่า NDF ต่ำสุดเท่ากับ 57.04 %

ค่าเฉลี่ยปริมาณเยื่อใย ADF มีค่าเท่ากับ 31.60 $\pm$ 2.03 % ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับหญ้ารูซี่แห้งอายุการตัด 45 วันที่ WTSR (2010) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 29.2 % พบว่า หญ้า BR02/0465 (T10) มีค่า ADF สูงสุดเท่ากับ 36.47 % และหญ้า BR02/0799 (T7) มีค่า ADF ต่ำสุดเท่ากับ 29.13 %

ค่าเฉลี่ยปริมาณ ลิกนิน (ADL) มีค่าเท่ากับ 1.55 $\pm$ 0.51 % ค่าที่ได้ต่ำกว่าหญ้ารูซี่ต้นสด อายุการตัด 45 วัน ที่ WTSR (2010) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 4.4 % พบว่า หญ้า Mulato II (T1) มีค่า ADL สูงสุด เท่ากับ 2.92 % และหญ้า BR02/1372 (T8) มีค่า ADL ต่ำสุดเท่ากับ 0.96 %

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด อายุการตัด 45 วัน (on DM basis)

	Item	DM	OM	CP	NDF	ADF	ADL
T1	Mulato II	21.78	88.62	15.37	59.39	33.12	2.92
T2	BR02/1752	20.98	86.98	14.06	61.91	29.49	1.52
T3	BR02/1747	21.06	85.40	13.14	64.42	30.93	1.99
T4	BR02/0465	20.98	85.43	11.32	59.90	30.85	2.35
T5	BR02/1718	21.52	86.86	13.34	57.04	31.04	1.41
T6	BR02/1245	22.55	84.85	12.93	63.04	30.59	1.16
T7	BR02/0771	22.60	87.10	13.62	62.61	29.13	1.62
T8	BR02/0799	22.05	86.68	14.34	58.49	32.01	0.96
T9	BR02/1372	21.14	85.76	13.47	62.07	32.08	1.32
T10	BR02/1728	22.09	84.28	13.84	61.93	36.47	1.67
T11	BR02/0768	22.76	81.70	13.59	63.36	29.37	1.17
T12	BR02/1794	21.88	86.45	12.10	60.27	30.27	1.48
T13	BR02/1485	21.46	85.96	14.08	61.69	35.20	1.22
T14	BR02/1452	21.16	88.16	15.06	58.37	30.70	1.41
T15	MX02/1423	21.48	84.38	13.16	61.41	31.37	1.04
T16	MX02/1263	22.36	84.49	13.58	62.98	32.94	1.55
Average		21.74	85.82	13.56	61.18	31.60	1.55
$\pm$ SD		0.61	1.69	0.99	2.07	2.03	0.51

DM = dry matter, OM = organic matter, CP = crude protein, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, CC = cell content (100 - NDF)

4.1.2 การประเมินการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*In sacco* techniques) พ.ศ. 2549

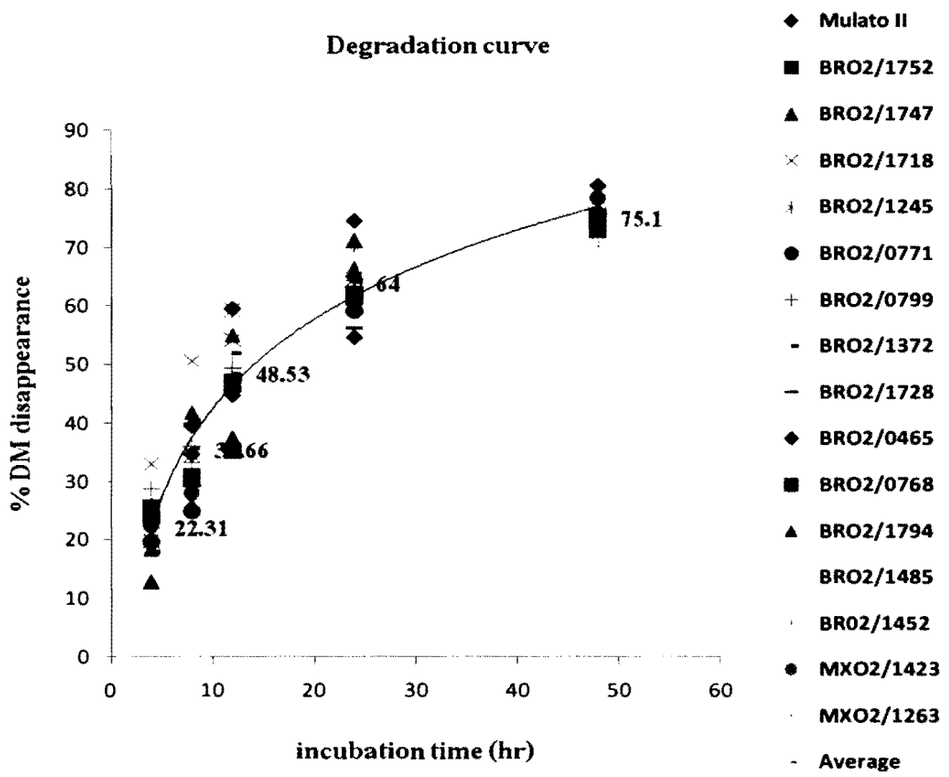
เมื่อนำในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ไปแช่ในรูเมนของโคที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน แล้วนำมาล้าง อบ ชั่ง หาวัตถุแห้งที่เหลืออยู่ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ย่อยได้ (Dry matter disappearance) ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.1 พบว่า การย่อยได้เฉลี่ยของวัตถุแห้งในหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 16 ชนิดที่ศึกษา มีค่าใกล้เคียงกันในระยะแรก (4 - 8 ชั่วโมง) และจะเริ่มเห็นความแตกต่างหลังจากชั่วโมงที่ 24 ของการแช่ถุง โดยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 16 ชนิด ที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ย่อยได้สูงสุดที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 75.10 % ค่าที่ได้สูงกว่าหญ้ารูซี่ที่ เอกสิทธิ์ สมคุณา (2541) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 63.6 % เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ย่อยได้สูงสุดของหญ้าที่ศึกษาเป็นรายชนิดที่ 48 ชั่วโมง พบว่า หญ้า Mulato II (T1) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 80.56 % และหญ้า MX02/1263 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 70.05 %

ตารางที่ 4.2 การย่อยได้ของวัตถุแห้งในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่อายุการตัด 45 วัน โดยใช้เทคนิคการย่อยในถุงไนล่อน

	Item	Incubation time (hrs)				
		4	8	12	24	48
T1	Mulato II	28.79^{b}	39.53^{cd}	59.62^{a}	74.58^{a}	80.56^{a}
T2	BR02/1752	25.33^{bc}	30.32^{h}	46.98^{ef}	61.92^{fg}	74.95^{cd}
T3	BR02/1747	12.92^{h}	25.85^{j}	37.50^{g}	74.58^{a}	74.58^{cd}
T4	BR02/0465	19.67^{f}	43.88^{a}	44.82^{f}	54.67^{i}	76.02^{cd}
T5	BR02/1718	28.82^{a}	34.57^{fg}	54.22^{c}	63.71^{defg}	75.53^{cd}
T6	BR02/1245	19.79^{f}	24.91^{j}	59.30^{a}	64.55^{cde}	74.97^{cd}
T7	BR02/0771	19.73^{f}	35.96^{ef}	35.56^{g}	59.16^{h}	76.27^{def}
T8	BR02/0799	28.82^{a}	40.28^{bc}	49.30^{de}	62.16^{efg}	76.29^{c}
T9	BR02/1372	17.89^{g}	39.72^{cd}	51.94^{cd}	64.31^{cdef}	75.96^{cd}
T10	BR02/1728	24.12^{cd}	34.70^{fg}	45.46^{f}	56.16^{i}	76.62^{fg}
T11	BR02/0768	25.86^{b}	30.91^{h}	36.27^{g}	61.46^{gh}	72.94^{efg}
T12	BR02/1794	18.41^{fg}	41.79^{b}	55.01^{bc}	66.39^{c}	76.10^{c}
T13	BR02/1485	25.50^{bc}	44.33^{a}	58.18^{ab}	64.60^{cde}	72.19^{g}
T14	BR02/1452	22.08^{e}	35.84^{ef}	44.86^{f}	71.11^{b}	76.18^{c}
T15	MX02/1423	22.46^{de}	28.06^{i}	46.63^{ef}	65.19^{cd}	78.39^{b}
T16	MX02/1263	18.75^{fg}	33.19^{g}	51.73^{cd}	64.23^{cdef}	70.05^{h}
Average		22.67	35.24	48.59	64.30	75.10
± SD		4.47	6.10	7.78	5.58	2.39

^{abcdefghi} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากภาพที่ 4.1 พบว่า ในส่วนของใบของหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดที่ศึกษา มีปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยได้ต่ำสุดในช่วง 4 ชั่วโมงแรก และมีปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยได้สูงสุดที่ 48 ชั่วโมง โดยหลังจาก 48 ชั่วโมงไปแล้วปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยได้จะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.1 ปริมาณวัตถุแห้งที่หายไปที่ชั่วโมงต่าง ๆ

เมื่อนำค่าวัตถุแห้งที่ย่อยได้ที่ชั่วโมงต่างๆ ไปคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ในการทดลองนี้ ในส่วนของใบของหญ้าทั้ง 16 ชนิด ที่ศึกษา มีค่าความสามารถในการถูกย่อยสลายได้ (Potential degradability; A+B) สูงสุดเฉลี่ย 75.10±4.87 % โดยหญ้า BR02/0771 (T7) มีค่า A+B สูงสุด เท่ากับ 85.80 % ($P < 0.05$) และหญ้า BR02/1485 (T13) มีค่า A+B ต่ำสุด เท่ากับ 70.30 % ($P < 0.05$) ซึ่งหญ้า BR02/0771 (T7) มีค่า A+B สูงกว่าหญ้ารูซี่ที่ เอกสิทธิ์ สมคุณา (2541) รายงานไว้ เท่ากับ 72.70 % ($P < 0.05$)

ค่าส่วนที่ละลายได้ทั้งหมด (Washing loss; A) พบว่า หญ้า BR02/1718 (T5) มีค่าสูงสุด เท่ากับ 27.20 % ($P < 0.05$) และหญ้า BR02/0465 (T4) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 21.40 %

($P < 0.05$) ซึ่งสูงกว่าหญ้ารูซี่ที่อายุการตัด 45 วัน ที่ สุรชัย สุวรรณลี และคณะ (2544) รายงานไว้เท่ากับ 20.88 % แสดงว่า หญ้า BR02/1718 (T5) ในการทดลองนี้มีส่วนที่สามารถละลายได้สูง (Soluble part) สังเกตได้ว่าหญ้า BR02/1718 (T5) มีค่าปริมาณ CC สูงสุดถึง 42.96 % โดยส่วนที่สามารถละลายได้นี้เป็นส่วนที่อยู่ในเซล ได้แก่ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structural carbohydrate) แต่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปอาหารสะสมของพืช ได้แก่ พวกแป้ง และน้ำตาล ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532) นอกจากนี้การที่ BR02/1718 (T5) มีส่วนที่ละลายได้สูง จะสามารถลดระยะเวลาที่จุลินทรีย์เข้าทำการย่อยสลายให้สั้นลง ทำให้มีค่า Lag Phase เท่ากับ 1.80 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าในส่วนของใบของหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดในการทดลองนี้ และมีค่าต่ำกว่าหญ้าพาสพาลัมอุบลและหญ้ารูซี่ที่อายุการตัด 45 วัน ที่ สุรชัย สุวรรณลี และคณะ(2544) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 3.3 และ 2.6 ชั่วโมง

ค่าการย่อยสลายของส่วนที่ไม่ละลาย แต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (Degradability of water insoluble, B) ในการทดลองนี้ พบว่า หญ้า BR02/0771 (T7) มีค่า B สูงสุดเท่ากับ 62.20 % ($P < 0.05$) โดยหญ้า BR02/1485 (T13) มีค่า B ต่ำสุด เท่ากับ 45 % ($P < 0.05$) โดยหญ้า BR02/0771 (T7) มีค่า B สูงกว่าหญ้าพาสพาลัมอุบลที่อายุการตัด 45 วัน ที่ สุรชัย สุวรรณลี และคณะ(2544) รายงานไว้ เท่ากับ 56.31 % แสดงว่าในส่วนของใบของหญ้าอาหารสัตว์ที่ศึกษาในครั้งนี้ มีส่วนของผนังเซลที่สามารถย่อยได้น้อย แต่เมื่อรวมกับค่า A ที่ค่อนข้างสูงดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีค่าความสามารถในการถูกย่อยสลายสูงสุด (A+B) ค่อนข้างสูง โดยหญ้า BR02/0771 (T7) มีค่า A+B สูงสุด เท่ากับ 85.80 % ($P < 0.05$) และสูงกว่าหญ้ารูซี่ จากงานทดลองของ เอกสิทธิ์ สมคุณา (2541) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 72.7 % ($P < 0.05$)

อย่างไรก็ตาม การที่อาหารชนิดใดจะมีค่า A+B สูงนั้น อาจมีผลมาจากค่า B มากกว่าค่า A เพราะค่า B คือส่วนที่ไม่ละลายในทันที แต่เมื่อเวลาผ่านไปอาหารจะถูกหมักย่อยไปเรื่อยๆไม่จำกัดเวลาในกระเพาะรูเมน ซึ่งค่า B ส่วนใหญ่จะเป็นพวกเยื่อใยที่เป็นส่วนของโครงสร้างพืชเป็นส่วนใหญ่ การย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะรูเมน จำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมน โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความจำเพาะเจาะจงต่อการย่อยสลายเยื่อใยได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของอาหารที่สัตว์ได้รับด้วย

เมื่อพิจารณาค่า c หรือ ค่าอัตราการย่อยสลาย พบว่า หญ้าทั้ง 16 ชนิดที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายสูงสุดไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 8 %ต่อชั่วโมง ($P < 0.05$) ค่าที่ได้สูงกว่าหญ้ารูซี่ที่ เอกสิทธิ์ สมคุณา (2541) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 5 %ต่อชั่วโมง ($P < 0.05$) ค่า c นี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลผ่าน (Outflow rate) ของอาหารได้ ถ้าอาหารชนิดใดมีค่า c สูง แสดงว่าอาหารนั้นมีอัตราการย่อยสลายได้มาก นอกจากนี้ค่า c ยังสามารถใช้เป็นตัวเปรียบเทียบคุณภาพ

ของอาหารแต่ละชนิดได้ดี กล่าวคือ อาหารคุณภาพดีมักมีค่าอัตราการย่อยสลายได้สูง แม้ว่าอาหารมีระยะเวลาอยู่ในรูเมน (Retention time) จำกัดคือ เฉลี่ยประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นอาหารอาจไม่ได้พักตัวในรูเมนนานจนถึง Asymptote (คือ ค่าอัตราการย่อยสลายได้สูงสุด หรือ Potential degradability, หรือค่าED ซึ่ง = A + B; หมายถึง การย่อยสลายได้สูงสุดโดยไม่จำกัดเวลาที่อาหารอยู่ในรูเมน) ก็ต้องไหลผ่านออกจากรูเมนแล้ว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีในอาหารตลอดจนประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมนและตัวสัตว์ด้วย

เมื่อพิจารณาค่า Lag phase (L) ซึ่งก็คือค่าของช่วงเวลาที่รอให้จุลินทรีย์เริ่มเข้าย่อยสลายอาหารหลังจากที่อาหารผ่านเข้าสู่รูเมนแล้ว กล่าวคือ ระยะพักตัวก่อนเกิดการย่อยสลายนั่นเอง จากการทดลองครั้งนี้พบว่า หญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดที่ศึกษา มีค่าเฉลี่ยของค่า L เท่ากับ 4.48 $\pm$ 1.28 ชั่วโมง ($P < 0.05$) ค่าที่ได้สูงกว่าหญ้าพาสพาลัมอุบลที่ สุรชัยและคณะ (2544) รายงานไว้เท่ากับมีค่าเท่ากับ 3.3 ชั่วโมง การที่หญ้าแต่ละชนิดที่ศึกษามีค่า L แตกต่างกันนั้น อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ที่เข้าไปจับอาหาร โดยจะเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของอาหารชนิดนั้นๆ ที่ต้องมีปริมาณของประชากรอยู่อย่างเพียงพอและคงที่ (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายได้สูงสุดในรูเมน (Effective degradation; ED) โดยนำค่าอัตราการไหลผ่านที่ 2 และ 5 % ต่อชั่วโมง (0.02 และ 0.05 h^{-1}) มาคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY พบว่า ในส่วนของใบของหญ้าทั้ง 16 ชนิดที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย ED ที่ 0.02 และ 0.05 h^{-1} เท่ากับ 62.56 และ 49.69 % โดย หญ้า Mulato II มีค่า ED ที่ 0.02 และ 0.05 h^{-1} สูงสุด เท่ากับ 68.70 และ 56 % ($P < 0.05$) ค่าที่ได้สูงกว่าค่า ED ที่ 0.02 และ 0.05 h^{-1} ของหญ้ารูซี่ที่ เอกสิทธิ์ สมคุณา (2541) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 57.2 และ 45.7 % และสังเกตพบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราการไหลผ่านจาก 2 เป็น 5 %ต่อชั่วโมง จะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของ ED ลดลง ซึ่งอาจมีผลเนื่องมาจากอาหารมีเวลาอยู่ในกระเพาะรูเมนน้อย ทำให้การย่อยสลายลดลง ค่า ED จึงลดลงด้วย นอกจากนี้การที่อาหารมีส่วนที่ย่อยยาก (B) สูง และมีอัตราการย่อยสลาย (c) สูง การเปลี่ยนแปลงค่า Outflow rate จะมีผลต่อค่า ED มาก ทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มค่า Outflow rate อาหารจะมีเวลาอยู่ในรูเมนลดลง จุลินทรีย์มีโอกาสย่อยสลายได้น้อยลง ค่า ED จึงลดลง

การที่เรากำหนดค่าอัตราการไหลผ่านที่ % ต่อชั่วโมง เนื่องจากในการคำนวณค่า ED นั้นจะมีค่าอัตราการไหลผ่านเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อาจเป็นเพราะว่าปริมาณอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะมีผลทำให้เกิดอัตราการไหลผ่านออกจากรูเมน กล่าวคือ ถ้าสัตว์กินอาหารมาก ทำให้มีอัตราการไหลผ่านออกจากรูเมนเร็วขึ้น โดย AFRC (1993) ได้แนะนำการวัดอัตราไหลผ่านของอาหารออกจากรูเมน มีหน่วยเป็น % ต่อชั่วโมง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 8 % ต่อชั่วโมง (0.02 - 0.08 h^{-1})

ARC (1984) ได้ประมาณอัตราการไหลผ่านที่เหมาะสม โดยค่านี้จะเกี่ยวข้องกับระดับอาหารที่สัตว์ได้รับ ได้แก่ สัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับต่ำ คือที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ จะมีค่าอัตราการไหลผ่านเป็น 2 % ต่อชั่วโมง สำหรับโคเนื้อและแกะที่ได้รับอาหารระดับต่ำกว่าระดับเพื่อการดำรงชีพ 2 เท่า จะมีอัตราการไหลผ่านเป็น 5 %ต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลผ่านจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ ซึ่งมีผลต่อปริมาณอาหารที่ถูกย่อยได้จริงในรูเมน

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่อายุการตัด 45 วัน

	Item	Fraction (%)		A+B[1/]	c (% h^{-1})	Lag	Fraction (%)		ED[2/]	
		A	B	(%)		Phase (h)	a	b	(.02 h^{-1})	(.05 h^{-1})
T1	Mulato II	25.00^{a}	56.70^{ab}	81.70^{ab}	0.10^{a}	4.10^{a}	-4.70^{d}	86.30^{a}	68.70^{a}	56.00^{a}
T2	BR02/1752	23.40^{b}	55.70^{ab}	79.10^{ab}	0.06^{a}	4.30^{a}	7.20^{ab}	71.90^{c}	61.70^{a}	47.90^{a}
T3	BR02/1747	23.40^{b}	56.60^{ab}	80.00^{ab}	0.07^{a}	6.80^{a}	-14.10^{d}	94.10^{a}	62.40^{ab}	47.60^{a}
T4	BR02/0465	21.40^{c}	60.40^{b}	81.80^{ab}	0.05^{a}	3.70^{b}	9.70^{ab}	72.20^{c}	61.10^{a}	46.00^{b}
T5	BR02/1718	27.20^{a}	47.60^{c}	74.80^{c}	0.08^{a}	1.80^{c}	19.80^{a}	55.00^{d}	64.00^{b}	54.20^{a}
T6	BR02/1245	23.90^{b}	49.60^{c}	73.50^{c}	0.12^{a}	4.80^{a}	-15.6^{d}	89.10^{a}	62.70^{ab}	51.60^{a}
T7	BR02/0771	23.60^{b}	62.20^{a}	85.80^{a}	0.04^{a}	6.30^{a}	4.60^{c}	81.20^{ab}	60.80^{c}	44.40^{b}
T8	BR02/0799	22.90^{c}	58.10^{ab}	74.30^{c}	0.05^{a}	2.20^{c}	15.50^{b}	65.50^{c}	63.50^{ab}	49.90^{a}
T9	BR02/1372	22.50^{c}	51.80^{c}	74.30^{c}	0.10^{a}	4.60^{a}	-11.00^{d}	85.30^{a}	62.40^{a}	50.60^{a}
T10	BR02/1728	26.30^{a}	48.30^{c}	74.60^{c}	0.06^{a}	4.30^{a}	11.80^{ab}	62.80^{c}	59.70^{a}	47.70^{a}
T11	BR02/0768	26.90^{a}	57.00^{ab}	83.90^{ab}	0.04^{a}	5.60^{a}	12.10^{ab}	71.90^{c}	61.30^{a}	46.40^{a}
T12	BR02/1794	23.70^{b}	50.50^{c}	74.20^{c}	0.13^{a}	4.70^{a}	-17.00^{d}	91.20^{a}	63.40^{ab}	52.30^{a}
T13	BR02/1485	25.30^{a}	45.00^{c}	70.30^{c}	0.14^{a}	4.00^{b}	-9.80^{d}	80.10^{ab}	61.70^{a}	52.60^{a}
T14	BR02/1452	22.80^{c}	56.90^{ab}	79.70^{ab}	0.07^{a}	4.40^{a}	0.80^{d}	78.90^{ab}	63.80^{ab}	50.10^{a}
T15	MX02/1423	25.10^{a}	58.50^{ab}	83.60^{ab}	0.06^{a}	5.40^{a}	3.10^{c}	80.60^{ab}	64.40^{b}	49.30^{a}
T16	MX02/1263	21.80^{c}	48.80^{c}	70.60^{c}	0.11^{a}	4.70^{a}	-11.60^{d}	82.10^{b}	59.40^{c}	48.40^{a}
	Average	24.08	53.98	75.10	0.08	4.48	0.05	78.01	62.56	49.69
	± SD	1.74	5.15	4.87	0.03	1.28	12.11	10.78	2.20	3.11

[abcd] อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

[1/] ความสามารถในการถูกย่อยสลาย (Potential degradability; A+B) ของวัตถุแห้ง

[2/] ปริมาณการย่อยสลายได้จริงของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมน (Effective degradability; ED)

A = Washing loss, B = Degradability of insoluble water, c = degradation rate, A+B = potential degradability, L = Lag phase, a = Immediately soluble part of A, b = Immediately soluble part of B, ED = Effective degradability

เมื่อนำค่า พารามิเตอร์ A, B และ c ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำนายโดยใช้สมการ Multiple regression ที่เสนอโดย Shem, M.N., et al. (1995) เพื่อทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์กินได้ (Dry matter intake; DMI) พบว่า ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด มีค่า DMI เฉลี่ยเท่ากับ 5.04 $\pm$ 0.43 กิโลกรัม/วัน ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ อารีรัตน์ ลุนผา (2548) ที่ศึกษาในหญ้าพาสพาลัมอุบลหมักที่ระยะเวลาหมัก 1 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 5.16 กิโลกรัม/ วัน และต่ำกว่ารายงานของกังวาน ธรรมแสง (2546) ที่ศึกษาในหญ้าพาสพาลัมอุบลแห้ง มีค่าเท่ากับ 6.11 กิโลกรัม/ วัน เมื่อนำค่า DMI มาใช้จัดลำดับคุณภาพอาหารหยาบ พบว่า หญ้าที่ศึกษามีคุณภาพดีเยี่ยม 5 อันดับแรก ได้แก่ Mulato II (T1), BR02/ 1794 (T12), BR02/ 1485 (T13), MX02/ 1423 (T15) และ BR02/ 0768 (T11) มีค่าเท่ากับ 5.91, 5.82, 5.51, 5.42 และ 5.39 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Grant, R. (2000) อ้างโดยกังวาน ธรรมแสง (2546) ที่ใช้ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI, %BW) ในการจัดอันดับคุณภาพอาหารหยาบดังต่อไปนี้

	DMI (%BW)
คุณภาพเยี่ยม	2.86 - 3.16
คุณภาพดี	2.40 - 2.61
คุณภาพปานกลาง	1.95 - 2.22
คุณภาพพอใช้	1.50 - 1.73
คุณภาพต่ำ	1.27

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการใช้ค่า DMI ดังกล่าวในจัดลำดับคุณภาพอาหารหยาบ พบว่า หญ้าที่มีค่า DMI ต่ำสุด 5 อันดับสุดท้ายของหญ้าทุกชนิดที่ศึกษา ล้วนเป็นหญ้าที่มีคุณภาพดีเยี่ยมเช่นกัน

สำหรับการทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (Digestible dry matter intake; DDMI) พบว่า ในส่วนของใบของหญ้าทุกชนิดที่ศึกษามีค่า DDMI เฉลี่ยเท่ากับ 3.92 $\pm$ 0.1 กิโลกรัม/ วัน ค่าที่ได้ต่ำกว่าหญ้ารูซี่อายุการตัด 45 วัน ที่สุรชัย สุวรรณลี และคณะ (2544) รายงานไว้ จากการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 4.34 กิโลกรัม/ วัน

การทำนายอัตราการเจริญเติบโต/ วัน (Growth rate, GR) พบว่า หญ้าทุกชนิดที่ศึกษามีค่า GR เฉลี่ย 0.39 $\pm$ 0.1 กิโลกรัม /วัน ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับหญ้ารูซี่อายุการตัด 45 วัน ที่สุรชัย สุวรรณลีและคณะ (2544) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 0.33 กิโลกรัม/ วัน

ส่วนการทำนายค่า Index value ที่ใช้จัดลำดับ หรือเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์ พบว่า ในส่วนของใบของหญ้าทุกชนิดที่ศึกษามีค่า Index value เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 49.92 ±1.63 ค่าที่ได้นี้ใกล้เคียงกับหญ้ารูซี่อายุการตัด 45 วัน ที่สุรชัย สุวรรณลี และคณะ (2544) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 53.94 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI), ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กิน (DDMI), อัตราการเจริญเติบโต (GR) และ ค่าดัชนีบ่งชี้ (Index value) ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่ได้จากสมการ Multiple regression ที่เสนอโดย Shem, M.N., et al.(1995)

	Item	A	B	c	DMI[1/] (Kg/d)	DDMI[2/] (Kg/d)	GR[3/] (Kg/d)	Index value[4/]
T1	Mulato II	25.00	56.80	0.10	5.91	4.82	0.50	53.21
T2	BR02/1752	23.40	55.70	0.06	4.67	3.42	0.32	48.56
T3	BR02/1747	23.40	56.60	0.07	4.94	3.74	0.36	49.57
T4	BR02/0465	27.20	47.60	0.08	5.23	4.09	0.41	50.62
T5	BR02/1718	23.90	49.60	0.12	5.25	4.50	0.52	50.74
T6	BR02/1245	23.60	62.20	0.04	5.04	3.50	0.28	49.90
T7	BR02/0771	22.90	58.10	0.05	4.61	3.26	0.27	48.31
T8	BR02/0799	22.50	51.80	0.10	4.74	3.88	0.43	48.84
T9	BR02/1372	26.30	48.30	0.06	4.70	3.47	0.32	48.65
T10	BR02/1728	21.40	60.40	0.05	4.44	3.12	0.27	47.68
T11	BR02/0768	26.90	57.00	0.04	5.39	3.81	0.31	51.22
T12	BR02/1794	23.70	50.50	0.13	5.82	4.77	0.56	51.55
T13	BR02/1485	25.30	45.00	0.14	5.51	4.92	0.59	51.72
T14	BR02/1452	22.80	56.90	0.07	4.81	3.63	0.35	49.08
T15	MX02/1423	25.10	58.50	0.06	5.42	4.02	0.36	51.33
T16	MX02/1263	21.80	48.80	0.11	4.44	3.73	0.44	47.67
	Average ± SD	24.08±1.74	53.98±5.15	0.08±0.03	5.04±0.43	3.92±0.56	0.39±0.10	49.92±1.63

DMI = dry matter intake, DDMI = digestible dry matter intake, GR = Growth rate

DMI[1/] (Kg/d) = -8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696 (r = 0.90)

DDMI[2/] (Kg/d) = -7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191 (r = 0.93)

Growth rate[3/] (Kg/d) = -0.649 + 0.017A + 0.006B + 3.87c (r = 0.93)

Index value[4/] = A + 0.38B + 66.6c

4.1.3 การประเมินค่าการย่อยได้ของ อินทรียวัตถุ และพลังงานโดยใช้เทคนิคการผลิตก๊าซ (Gas production technique)

การประเมินค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ด้วยวิธี Hohenhiem gas production technique ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็นหญ้าที่มีคุณภาพสูง ประเมินจากปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นจากการบ่มอาหารกับสารละลายรูเมน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) เท่ากับ 54.63 $\pm$ 3.10 % โดยหญ้าที่มี OMD มากกว่า 55 %ได้แก่ BR02/0799, BR02/1452, Mulato II, BR02/1794, BR02/1728, BR02/1485 และ BR02/1245 ส่วนที่เหลือมีค่า OMD อยู่ระหว่าง 50-55% ได้แก่ หญ้า BR02/1372, BR02/1718, BR02/0771, BR02/0768 และ หญ้า MX02/1263 ซึ่งสูงกว่า หญ้ารูซี่ที่บุญล้อม ชีวะอิสระ(2540) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 48.30 % ยกเว้นหญ้า BR02/1747, BR02/1423 และ BR02/1752 มีค่า OMD อยู่ระหว่าง 47-51 %

พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.35 $\pm$ 0.51 MJ/KgDM โดยพบว่าหญ้า BR02/1452, BR02/0799, Mulato II, BR02/1728 และ หญ้า BR02/1485 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 9.01, 9.08, 8.92, 8.61 และ 8.59 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$) รองลงมาคือ หญ้า BR02/0465, BR02/1245, BR02/1372, BR02/1718 และ BR02/0771 มีค่าเท่ากับ 8.46, 8.42, 8.39, 8.34 และ 8.14 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$) โดยหญ้า BR02/1747, MX02/1263 และ BR02/1752 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.68, 7.67 และ 7.29 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานสุทธิ (NE) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.26 $\pm$ 0.66 MJ/KgDM โดยพบว่าหญ้า Mulato II, BR02/1794, MX02/1263, BR02/0799, BR02/0768, BR02/0465, BR02/1245, BR02/1485, BR02/1752 และ MX02/1423 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.24, 6.07, 5.96, 5.89, 5.81, 5.59, 5.51, 5.36, 5.06 และ 4.43 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$) รองลงมาคือ หญ้า BR02/1452, BR02/0771 และ BR02/1747 มีค่าเท่ากับ 5.52, 4.80 และ 4.51 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$)โดยหญ้า BR02/1372, BR02/1718 และ BR02/1728 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.47, 4.43 และ 4.15 MJ/KgDM ตามลำดับ ($P<0.05$) จะเห็นได้ว่า ค่า ME และ NE จากการทดลองครั้งนี้ ใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ที่ NRC (1998) รายงานไว้มีค่า ME อยู่ระหว่าง 7.99 - 8.37 MJ/KgDM และมีค่า NE อยู่ระหว่าง 4.94 - 5.15 MJ/KgDM

จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า หญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีค่า%ของวัตถุแห้งอยู่ระหว่าง 20.98 - 22.76 %, อินทรียวัตถุมีค่าระหว่าง 81.70-88.62 %, โปรตีนมีค่าระหว่าง 11.32 - 15.37 % ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ สุรชัย สุวรรณลี และคณะ (2540) รายงานไว้ มีค่าระหว่าง 5.24 - 15.13 % โดยหญ้า Mulato II มีค่าโปรตีนสูงสุด 15.35 %, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) พบว่ามีค่าระหว่าง 57.04 - 64.42 %, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด

(ADF) พบว่า มีค่าระหว่าง 30.59 - 36.47 % และลิกนิน (ADL) พบว่า มีค่าระหว่าง 0.51-2.92 % ตามลำดับ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า หญ้าในสกุล Brachiaria ทุกชนิดที่ศึกษา มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง จัดเป็นหญ้าอาหารสัตว์คุณภาพดีมาก ซึ่งอยู่ในช่วง (Range) กับการรายงานของกองอาหารสัตว์ (2538) ที่ระบุว่าหญ้าอาหารสัตว์คุณภาพดีมากจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่า 10 % คุณภาพปานกลางจะมีปริมาณโปรตีน 5 - 7 % และคุณภาพต่ำจะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า 5 % สำหรับค่าการย่อยได้สูงสุด (Potential degradability, A+B) ของหญ้าที่ศึกษามีค่าระหว่าง 70.30 - 85.80 % และค่าศักยภาพการย่อยสลายได้สูงสุดในรูเมน (Effective degradation, ED) ที่ 2 และ 5 ชั่วโมงมีค่าอยู่ระหว่าง 59.40 - 68.70 % และ 44.40 - 56.00 % เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ที่ได้จากการย่อยโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนไปคำนวณค่า DMI, DDMI และ Growth rate พบว่า หญ้าทุกชนิดที่ศึกษามีค่า DMI, DDMI และ Growth rate อยู่ระหว่าง 4.44-5.91, 3.12-4.82 และ 0.1-0.59 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ค่าต่างๆเหล่านี้มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และคณะ(2541) ที่พบว่าหญ้ารูซี่มีค่า DMI, DDMI และ Growth rate เท่ากับ 3.56, 2.53 และ 0.25 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (Organic matter digestibility, OMD) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) พบว่า หญ้าทุกชนิดที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 50.52-59.10 % และ7.29 - 9.08 MJ/ kgDM ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เนื่องจากการศึกษาหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ยังมีข้อมูลน้อยมากในประเทศไทย ดังนั้นการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินคุณค่าทางโภชนะและความต้องการพลังงานในสัตว์

ตารางที่ 4.5 การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่อายุการตัด 45 วัน

	Item	Gas Production (ml/200mg)	Crude ash (g/Kg)	Crude Protein (g/Kg)	ME MJ/ KgDM	NE MJ/ KgDM	OMD (%)
T1	Mulato II	48.34	133.80	153.70	8.92^{a}	6.24^{a}	57.93^{a}
T2	BR02/1752	36.51	137.46	140.60	7.29^{c}	5.06^{a}	47.95^{c}
T3	BR02/1747	39.50	146.00	131.40	7.68^{c}	4.51^{b}	50.53^{c}
T4	BR02/0465	44.50	145.70	138.40	8.34^{b}	4.43^{c}	54.65^{b}
T5	BR02/1718	44.93	131.40	113.20	8.42^{b}	5.51^{a}	55.04^{a}
T6	BR02/1245	42.89	151.51	133.40	8.14^{b}	4.80^{b}	53.42^{b}
T7	BR02/0771	49.74	129.08	129.30	9.08^{a}	5.89^{a}	59.10^{a}

ตารางที่ 4.5 การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ในส่วนของใบของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria 15 ชนิด ที่ อายุการตัด 45 วัน (ต่อ)

	Item	Gas Production (ml/200mg)	Crude ash (g/Kg)	Crude Protein (g/Kg)	ME MJ/ KgDM	NE MJ/ KgDM	OMD (%)
T8	BR02/0799	44.61	133.23	136.20	8.39^{b}	4.47^{c}	54.85^{b}
T9	BR02/1372	46.32	142.42	143.40	8.61^{a}	4.15^{c}	56.29^{a}
T10	BR02/1728	45.16	157.20	134.70	8.46^{b}	5.59^{a}	55.44^{a}
T11	BR02/0768	42.33	138.30	135.90	8.07^{b}	5.81^{a}	53.21^{b}
T12	BR02/1794	47.71	135.50	121.00	8.78^{a}	6.07^{a}	57.34^{a}
T13	BR02/1485	46.15	140.40	140.80	8.59^{a}	5.36^{a}	56.17^{a}
T14	BR02/1452	49.08	138.48	150.60	9.01^{a}	5.52^{b}	58.56^{a}
T15	MX02/1423	40.00	156.20	131.60	7.67^{c}	4.83^{a}	50.52^{c}
T16	MX02/1263	42.35	155.21	135.00	8.08^{a}	5.96^{a}	53.04^{b}
	Average ± SD	44.38 ± 3.66	141.98 ± 9.11	135.58 ± 9.89	8.35 ± 0.51	5.26 ± 0.66	54.63 ± 3.10

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2 การทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II แห้ง

4.2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition)

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี พบว่า หญ้า Mulato II แห้งที่อายุการตัด 45 วัน มีค่าปริมาณโปรตีน เยื่อใย NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 7.3, 75.58, 42.78, และ 6.62 % ตามลำดับ โดยมีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 15.58 MJ/ KgDM ดังแสดงในตารางที่ 4.6

จากรายงานของ Panichpol, V., et al. (2008) พบว่า หญ้า Mulato II แห้งที่อายุการตัด 45 วัน มีค่าโปรตีน, ไขมัน และเยื่อใยหยาบ เท่ากับ 7.76, 1.2 และ 29.65 % ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ และ มีค่า NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 71.75, 35.76 และ 3.34 % ตามลำดับ โดยมีโปรตีน, ไขมัน และ เยื่อใยหยาบ ใกล้เคียงกับหญ้า Mulato II แห้งที่ใช้ในการทดลองนี้ แต่มีค่า NDF, ADF และ ADL ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจมีผลมาจาก สภาพภูมิอากาศ พื้นที่ปลูก และ การจัดการแปลงหญ้าที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน (on DM basis)

Chemical composition	%
Dry matter (DM)	90.73
Ash	6.28
Organic matter (OM)	93.72
Crude protein (CP)	7.30
Ether extract (EE)	1.19
Crude fiber (CF)	32.30
Nitrogen free extract (NFE)	52.93
Non fiber carbohydrate (NFC)	9.64
Neutral detergent fiber (NDF)	75.58
Acid detergent fiber (ADF)	42.78
Acid detergent lignin (ADL)	6.62
Gross Energy (GE; MJ/ KgDM)	15.58

4.2.2 ปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินได้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 พบว่า ปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินหญ้า Mutato II แห้งได้เฉลี่ยเท่ากับ 4.75 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็น 1.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือเท่ากับ 64.64g/ $KgBW^{0.75}$ โดยหญ้า Mutato II แห้ง เมื่อเทียบกับรายงานของ Grant, R. (2000) อ้างอิงจาก กังวาน ธรรมแสง (2546) พบว่า จัดเป็นอาหารหยาบคุณภาพพอใช้ โดยมีปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้อยู่ระหว่าง 1.50 – 1.73 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และเมื่อนำปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินหญ้า Mutato II แห้งมาเปรียบเทียบกับ NRC (1984) ที่ระบุว่า โคเนื้อรูปร่างปานกลาง น้ำหนักตัวประมาณ 320 กิโลกรัม (700 ปอนด์) ถ้าต้องการให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 227 กรัม (0.5 ปอนด์) ต้องกินอาหารคิดเป็นปริมาณวัตถุแห้ง วันละ 6.76 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 2.11 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่า การกินได้ของโคต่ำกว่าที่ NRC กำหนด โดยอาจมีผลเนื่องมาจากหญ้า Mulato II แห้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีเยื่อใยและความฟ่ามค่อนข้างสูง โดยเฉพาะส่วนที่เป็นผนังเซล หรือ NDF เท่ากับ 75.5 % ทำให้สัตว์มีอาหารตกค้างอยู่ในกระเพาะรูเมนนาน และมีจำนวนมากจึงเป็นข้อจำกัดต่อการกินได้ ทำให้โคกินอาหารได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ วรพงษ์ สุริยภัทร (2549) ที่ระบุว่าสัตว์จะกินอาหารได้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเยื่อใย คือ NDF หรือ Cell wall constituent (CWC) ที่มีอยู่ในอาหารโดยกรณีที่อาหารนั้นมีปริมาณของ CWC ประมาณ 50 %หรือสูงกว่า สัตว์จะกินอาหารได้น้อย ทั้งนี้ปริมาณการกินอาหารหยาบจะถูกควบคุมโดยความจุของกระเพาะ

(Rumen fill) ซึ่งเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับอัตราการไหลผ่าน (Rate of passage) ของอาหารจากรูเมน ถ้าอาหารมีเยื่อใยสูงการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะจะช้า ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินหญ้า Mulato II แห้งได้ ที่อายุการตัด 45 วัน

			Intake		
	BW (kg)	**$BW^{0.75}$(kg)**	**Kg/d**	**% BW**	**g/ $kgBW^{0.75}$**
Average	307.75	73.48	4.75	1.54	64.64
± SD	34.50	6.94	0.52	0.03	2.16

4.2.3 ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และความสมดุลของ ไนโตรเจนหรือโปรตีน

ค่าโภชนะที่ย่อยได้ของหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน พบว่า ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน ไขมัน และ NFC มีค่าเท่ากับ 60.86±1.42, 64.06±1.14, 53.00±2.30 , 51.00±2.19 และ 61.73±5.79 % ตามลำดับ

ค่าการย่อยได้ของเยื่อใย NDF และ ADF มีค่าเท่ากับ 63.05 และ 53.72 % นอกจากนี้ยังพบว่า หญ้า Mulato II แห้ง เป็นอาหารประเภท Bulky feed คือ มีปริมาณเยื่อใย NDF และ ADF ค่อนข้างสูงและมีน้ำหนักน้อย ทำให้ความจุของกระเพาะเต็มเร็วอัตราการย่อยได้ของเยื่อใยในรูเมน เป็นไปอย่างช้าๆอาหารพักตัวในรูเมนนาน (Ørskov, E.R., 1987) จึงมีผลต่อปริมาณการกินได้ (Voluntary feed intake, VFI) และการย่อยได้ของโค

อย่างไรก็ตาม ค่าการย่อยได้ของโภชนะยังขึ้นอยู่กับปริมาณ Lignin ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ วรพงษ์ สุริยภัทร (2549) ที่ระบุว่า Lignin นอกจากเป็นสารที่ย่อยไม่ได้แล้ว ยังเป็นตัวทำให้การย่อยได้ของสารเยื่อใยอื่นๆ โดยเฉพาะ Cellulose และ Hemicellulose ลดลง โดยกลไกที่ Lignin ไปลดการย่อยสารเยื่อใยเชื่อว่าเป็นไปได้ 2 ทาง คือ ทางกายภาพ (Physical) และทางเคมี (Chemical) ทางกายภาพ หมายถึง Lignin อาจเป็นตัวห่อหุ้ม (Encrust) ที่รอบๆ ผิวของ Cellulose และ Hemicellulose ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าย่อยได้ สำหรับทางเคมี นั้นเชื่อว่าโมเลกุลของ Lignin อาจเชื่อมโยงโดย Chemical bond กับสารเยื่อใยอื่นๆ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถจะย่อยได้ สำหรับค่า Lignin ของหญ้า Mulato II แห้ง ในตารางที่ 4.6 มีค่าเท่ากับ 6.62 % มี Cellulose เท่ากับ 36.16 % คิดเป็นสัดส่วนของ Lignin ต่อ Cellulose เท่ากับ 0.18 ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Van Soest (1994) ที่ระบุสัดส่วนของ Lignin ต่อ Cellulose ของหญ้าในเขตร้อนที่มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.24 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

4.2.4 ความสมดุลของไนโตรเจน

ค่าปริมาณไนโตรเจนกักเก็บ (Nitrogen retention) ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้งอย่างเดียว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่กินได้ของหญ้า Mulato II ที่มี CP 7.3 % มีค่าเท่ากับ 55.34± 2.63 กรัม/วัน หรือคิดเป็น 0.86 gN/ $kgBW^{0.75}$ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรายงานของ Khuamankgorn, P., et al. (2008) พบว่าโคมีปริมาณไนโตรเจนที่กินได้ในงานทดลองนี้ มีค่าสูงกว่า โคที่กินหญ้ากินนีสีม่วง (CP = 6.7%) แต่ต่ำกว่าโคที่กินหญ้าโร๊ดที่มี CP 8.23 % คือมีค่าเท่ากับ 49.32 และ 72.54 กรัม/วัน ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางมูล และ ปัสสาวะมีค่าเท่ากับ 25.89±3.51 และ 18.09± 3.08 กรัม /วัน คิดเป็น g/ $kgBW^{0.75}$ มีค่าเท่ากับ 0.40 และ 0.27 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง Khuamankgorn, P., et al.(2008) ที่พบว่า ค่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับออก ทางมูลของโคลูกผสม บราห์มัน ที่กินหญ้ากินนีสีม่วง มีค่าเท่ากับ 26.04 กรัม/วัน และต่ำกว่าโคที่กินหญ้าโร๊ด มีค่าเท่ากับ 30.89 กรัม/วัน สำหรับค่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะ มีค่าใกล้เคียงกับโคที่กินหญ้าโร๊ด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.59 กรัม/วัน

ปริมาณไนโตรเจนกักเก็บ มีค่าเท่ากับ 11.36 ± 0.44 กรัม/วัน คิดเป็น 0.17 g/ $kgBW^{0.75}$ ต่ำกว่าค่าที่ได้รับจากงานทดลองที่ให้โคกินหญ้าโร๊ดของ Khuamankgorn, P., et al.(2008) มีค่าเท่ากับ 21.07 กรัม /วัน

จากการทดลองให้โคกินหญ้า Mulato II แห้ง (CP = 7.3 และ TDN = 58.84 %) ครั้งนี้ และจากการทดลองให้โคกินหญ้าโร๊ด (CP = 8.23 และ TDN = 58.88%) ของ Khuamankgorn, P., et al. (2008) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนกักเก็บในร่างกายไม่มีค่าเป็นลบ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Kawashima, T., et al.(2000a) ที่ระบุว่า การให้โคพื้นเมืองกินหญ้ารูซี่แห้งคิดเป็น 1.5 %ของน้ำหนักตัว (CP = 2.1 และ TDN = 52 %) เพียงอย่างเดียว จะทำให้โคมีการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย มีค่าเป็นลบ (-) คือมีค่าเท่ากับ - 0.114 g/ $kgBW^{0.75}$

ความแตกต่างที่พบ อาจมีสาเหตุมาจาก คุณภาพของโปรตีนในอาหารที่กิน โดยพบว่า งานทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000b) มีค่าโปรตีน (CP) และโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) ในหญ้ารูซี่แห้งค่อนข้างต่ำ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่กินน้อยกว่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับออก ทำให้โคต้องดึงไนโตรเจนสำรอง (Nitrogen reserve) จากเนื้อเยื่อพวกที่มีโปรตีน Labile ซึ่งพบในตับ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532) ออกมาใช้ในการเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงาน สภาวะเช่นนี้มีผลทำให้ค่าการกักเก็บไนโตรเจนเป็นลบ (-) ในทางตรงกันข้ามกับโคพื้นเมืองที่กินหญ้า Mulato II แห้งจากการทดลองครั้งนี้ มีค่าการกักเก็บไนโตรเจนเป็นบวก (+) แสดงว่าไนโตรเจนที่กินเข้าไปมีปริมาณมากกว่าปริมาณที่ขับออกมา ทำให้โคได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการ และสามารถกักเก็บไว้ใช้ประโยชน์ในร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การย่อยได้ของโภชนะ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และความสมดุลของไนโตรเจนหรือโปรตีนของหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน

Nutrient	
Nutrients digestibility (%)	
Dry matter	60.86 ± 1.42
Organic matter	64.06 ± 1.14
Crude protein	53.00 ± 2.30
Ether extract	51.00 ± 2.19
Non fiber carbohydrate	61.73 ± 5.79
Neutral detergent fiber	63.05 ± 1.82
Acid detergent fiber	53.72 ± 2.39
Total digestible nutrient, %	58.80 ± 1.23
N Balance (g/d)	
N intake	55.34 ± 2.63
Fecal N	25.89 ± 3.51
Urinary N	18.09 ± 3.08
N retention	11.36 ± 0.44

4.2.5 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน ประเมินด้วยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection) สำหรับช่วง Collection period ของการทดลอง จะมีการวัดก๊าซมีเทน (CH_4) จากลมหายใจสัตว์ด้วย Respiration chamber ควบคู่กันไปด้วย

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลของการวิเคราะห์เมตาบอลิซึมพลังงานในตัวโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน พบว่า มีเมตาบอลิซึมของพลังงานต่อไปนี้

พลังงานรวมที่กินได้ (GE intake, GEI)ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง มีค่าเท่ากับ 1,004.04 ± 8.06 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ใกล้เคียงกับหญ้าโร๊ด (Rhodes grass) และหญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum* TD58) ที่ Khuamankgorn, P., et al.(2008) ได้รายงานไว้ (ในตารางที่ 4.10) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,035.87 และ 1,019.24 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d โดยพลังงานรวมที่กินได้ (GE intake, GEI) มีการสูญเสียพลังงานทางการขับถ่ายมูล ปัสสาวะ และความร้อน

พลังงานที่ขับถ่ายในมูล (Feces excretion, FE) มีค่าเท่ากับ 387.04 ± 3.85 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d คิดเป็น 38.54 % ของพลังงานรวมที่กินได้ ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ต่ำกว่า การ

ทดลอง Kawashima, T., et al.(2000b) ที่ได้ศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และไนโตรเจนของโคพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยหญ้ารูซี่แห้ง เสริมกากถั่วเหลืองระดับต่างๆ พบว่า โคพื้นเมืองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ารูซี่แห้ง 100 % มีพลังงานที่ขับถ่ายในมูล เท่ากับ 478 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d คิดเป็น 49.89 % ของพลังงานที่กินได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

อย่างไรก็ตาม บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2532) ได้ระบุว่า ค่า GE intake ไม่ได้บ่งบอกถึงพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึง พลังงานที่สูญเสียไปในการย่อยและการเมตาบอไลซ์ เมื่อสัตว์กินอาหารพลังงานส่วนแรกที่หายไป คือพลังงานในมูล พลังงานที่สูญเสียไปในมูล นับว่าเป็นส่วนที่มากที่สุด ในโคและแกะ อาจสูงถึง 40 - 50 % ถ้ากินอาหารหยาบ แต่ถ้ากินอาหารข้นจะสูญเสียพลังงานประมาณ 20 - 30 %

พลังงานย่อยได้ที่กินได้ (DE intake, DEI) คำนวณได้จากการนำพลังงานที่สูญเสียจากการขับถ่ายมูล (FE) มาหักลบออกจากพลังงานที่กินได้ (GE intake, GEI) มีค่าเท่ากับ 617.17$\pm$ 4.63 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ใกล้เคียงกับ การทดลองของ Khuamankgorn, P., et al.(2008) ที่ได้ศึกษาในหญ้าโร๊ด และหญ้ากินนีสีม่วง ในโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน พบว่า มีพลังงานย่อยได้ที่กินได้ เท่ากับ 641.17 และ 525.5 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ตามลำดับ

พลังงานที่ขับออกในปัสสาวะ (Urine excretion, UE) และพลังงานในรูปของก๊าซมีเทน (Methane production) มีค่าเท่ากับ 20.10 $\pm$ 0.95 และ 68.59 $\pm$ 0.04 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับหญ้าโร๊ด ที่ Khuamankgorn, P., et al.(2008) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 19.64 และ 87.24 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (ME intake, MEI) คำนวณได้จากการนำพลังงานที่สูญเสียจากการขับถ่ายปัสสาวะ (UE) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) มาหักลบออกจากพลังงานย่อยได้ (DE) มีค่าเท่ากับ 528.31$\pm$3.22 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ใกล้เคียงกับ หญ้าโร๊ดที่ Khuamankgorn, P., et al.(2008) รายงานไว้มีค่าเท่ากับ 534.29 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d

พลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน (Heat production, HP) ในโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง (CP = 7.30%) มีค่าเท่ากับ 361.32 $\pm$ 0.18 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d สูงกว่าโคพื้นเมืองที่กินหญ้ารูซี่แห้ง 100 % (CP = 7.30 %) จากงานทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000a) มีค่าเท่ากับ 311 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d และใกล้เคียงกับกระบือปลักที่กินหญ้ารูซี่แห้ง 92.1 % เสริมกากถั่ว 7.9 % (CP = 6.11%) จากงานทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000b) มีค่าเท่ากับ 357 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d จากผลการทดลองครั้งนี้ ตลอดจนการทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000a) และ Kawashima, T., et al.(2000b) พบว่า พลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน จะเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2532) ระบุว่า พลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน จะแปรผันตามชนิดของสัตว์ ประเภทของอาหาร ระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับ ตลอดจนความสมดุลของโภชนะในอาหารนั้น กล่าวคือ ถ้ามีความสมดุลมาก ร่างกายจะใช้อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ค่า Metabolic rate ลดลง จึงพอสรุปได้ว่า ในบรรดาโภชนะที่ให้พลังงานทั้ง 3 ประเภท จะเกิดพลังงานที่สูญเสียในรูปของความร้อน ตามลำดับ ดังนี้ โปรตีน > คาร์โบไฮเดรต > ไขมัน

พลังงานกักเก็บ (Energy retention) ของโคพื้นเมืองที่กินหญ้า Mulato II แห้ง คำนวณได้จากการนำค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน (HP) มาหักลบออกจากพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) มีค่าเท่ากับ 166.99 $\pm$ 3.04 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ต่ำกว่า งานทดลองของ Khuamankgorn, P., et al.(2008) ที่ให้โคกินหญ้าโร็ด และหญ้ากินนีสีม่วง มีค่าเท่ากับ 425.45 และ 279.65 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d และจากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าโคพื้นเมืองไทย มีพลังงานกักเก็บสูงกว่าโคอินเดีย และใกล้เคียงกับโคยุโรป ที่ Tangitwattanachai, N., et al. (2008) ได้ทำนายประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ เพื่อการเจริญเติบโตไว้ โดยวิธี Meta – analysis มีค่าเท่ากับ 109 $\pm$ 13.86 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d และ 167.68 $\pm$ 13.19 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ

พลังงานรวม (Gross energy, GE), พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE), พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า (Metabolizable energy, ME) และโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) ของหญ้า Mulato II แห้ง มีค่าเท่ากับ 15.58, 9.59, 6.77 MJ/KgDM และ 58.8 % ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่ารายงานของพิมพาพร พลเสน และคณะ (2552) ที่พบว่า หญ้า Mulato II แห้ง มีค่า GE, DE, MEและ TDN เท่ากับ 17.95, 11.10, 8.74 MJ/KgDM และ 60.20 % ตามลำดับ ทั้งนี้อาจจะมีผลจากคุณภาพของหญ้าที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในรายงานของพิมพาพร พลเสน และคณะ(2552) มีคุณภาพดีกว่าในการทดลองครั้งนี้ โดยมีค่า โปรตีนเท่ากับ 7.76 % VS 7.30 %, เยื่อใย NDF เท่ากับ 71.75 % VS 75.60 %, ADF เท่ากับ 35.76 % VS 42.80 % และ ADL เท่ากับ 3.34 % VS 6.60 %

ประสิทธิภาพของพลังงาน (Energy efficiency) พบว่า DE/GE = 0.61, ME/GE = 0.52, ME/DE = 0.85, Methane energy/GE = 0.06 และ Urine energy/GE = 0.02 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ใกล้เคียงกับ หญ้าโร็ดที่ Khuamankgorn, P., et al.(2008) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 0.61, 0.51, 0.83, 0.08 และ 0.01 ตามลำดับ โดยค่า ME/DE จากงานทดลองครั้งนี้ และจากการทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000a) ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีค่าสอดคล้องกับ AFRC(1993) ที่ระบุว่า พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) จะแปรผันตามพลังงานย่อยได้ (DE) ในอาหาร โดยมีค่า ME /DE อยู่ระหว่าง 0.81- 0.86 สำหรับ ค่า HP/GE มีค่าเท่ากับ 0.36 ใกล้เคียงกับงานทดลองของ Kawashima, T., et al.(2000a) ที่ได้ศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และไนโตรเจนของโคพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วย

หญ้ารูซี่แห้งเสริมกากถั่ว ระดับต่างๆ ซึ่งพบว่า โคพื้นเมืองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ารูซี่แห้ง 100 % มีค่า HP/GE เท่ากับ 0.33

ตารางที่ 4.9 เมตาบอลิซึมของพลังงานในตัวโคที่กินหญ้า Mulato II แห้ง อายุการตัด 45 วัน

Parameters	
Energy balance (kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ± SD)	
GE intake	1,004.04 ± 8.06
Feces excretion	387.04 ± 3.85
DE intake	617.00 ± 4.21
Urine excretion	20.10 ± 0.95
Methane production	68.59 ± 0.04
ME intake	528.31 ± 3.22
Heat production (HP)	361.32 ± 0.18
Energy retention (ER)	166.99 ± 3.04
Energy content (MJ/kgDM)	
Gross energy	15.58 ± 0.22
Digestible energy	9.59 ± 0.36
Metabolizable energy	6.77 ± 0.24
Energy efficiency	
DE/GE	0.61
ME/GE	0.52
Methane energy /GE	0.06
Urine excretion /GE	0.02
ME /DE	0.85
HP /GE	0.35

ตารางที่ 4.10 เมตาบอลิซึมพลังงานในโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ และกระบือ

Parameters	(This study)	Khuamankgorn, P., et al. (2008)		Kawashima,T., et al. (2000a)	Kawashima T., et al. (2000b)
Feed	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Animal	**(1)**	**(1)**	**(1)**	**(1)**	**(2)**
Energy balance(kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ± SD)					
GE intake	1,004.04	1,035.87	1,019.24	958	1,172
Feces excretion	387.04	394.70	493.69	478	553
DE intake	617.00	641.17	525.55	480	619
Urine excretion	20.10	19.64	22.95	13	28
Methane production	68.59	87.24	99.62	50	53
ME intake	528.31	534.29	402.99	416	539
Heat production (HP)	361.32	108.83	123.34	311	357
Energy retention (ER)	166.99	425.45	279.65	105	182
Energy efficiency (kJ/ kgBW$^{0.75}$/d)					
DE/GE	0.61	0.62	0.51	0.50	0.52
ME/GE	0.52	0.52	0.39	0.43	0.46
Methane energy /GE	0.06	0.09	0.09	0.05	0.04
Urine excretion /GE	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
ME/DE	0.85	0.83	0.76	0.08	0.86
HP/GE	0.35	0.11	0.12	0.32	0.34

Feed ; A = Mulato II hay (cutting 45 day), B = Rhodes grass hay, C = Purple guinea grass hay, D = Ruzi hay 100 %, E = Ruzi hay + soybean meal 7.9 %

Animal ; (1) = Thai native cattle, (2) = Swamp buffalo

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

การประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ ทำการทดลองระหว่างวันที่ 25 ตุลาคม 2550 ถึง 22 กุมภาพันธ์ 2551 ของ Feeding trial จากนั้นทำการสุ่มโคจำนวน 12 ตัวจากโคทั้งหมด 18 ตัว เข้าสู่งานทดลอง Metabolism trial เพื่อประเมินเมตาบอลิซึมพลังงาน ในระหว่างวันที่ 5 มกราคม ถึง 6 กุมภาพันธ์ 2551 (ดังแสดงในตารางผนวกที่ ผ. 3)

การทดลองที่ 3 แบ่งออกเป็น 2 ผลการทดลอง ดังนี้

4.3.1 การทดลองที่ 1 การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในช่วง 12 สัปดาห์แรกของ Feeding trial

4.3.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

จากตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ทั้งอาหารข้น และหญ้ารูซี่แห้ง (อาหารหยาบ) พบว่า อาหารข้นที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน NDF ADF และ พลังงานรวม (GE) มีค่าเท่ากับ 90.03, 17.00, 5.86, 28.40, 11.13 % และ 18.21 MJ/ KgDM ตามลำดับ

สำหรับหญ้ารูซี่แห้งที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า มีปริมาณวัตถุแห้ง, โปรตีน, ไขมัน, NDF, ADF และ พลังงานรวม (GE) เท่ากับ 90.00, 4.82, 1.46, 65.42, 47.21 % และ 15.52 MJ/KgDM ตามลำดับ จากรายงานของ WTSR (2008) พบว่า หญ้ารูซี่แห้งที่อายุการตัด 60 วัน มีค่า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใยหยาบ มีค่าเท่ากับ 5.6 1.0 และ33.9 % ตามลำดับ และมีค่าเยื่อใย NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 70.8, 42.4 และ 6.3 % ตามลำดับ ค่าดังกล่าวนี้ มีค่าใกล้เคียงกับหญ้ารูซี่แห้ง ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ แต่ค่า NDF มีค่าสูงกว่า และค่า ADF มีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้น่าจะมาจาก การจัดการแปลงหญ้า และ การทำหญ้าแห้ง รวมถึงรอบของการตัดหญ้า เพื่อนำมาทำหญ้าแห้ง โดยหญ้ารูซี่แห้งที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นหญ้าแห้งที่จัดซื้อจากสถานีวิจัยอาหารสัตว์เชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เป็นหญ้าในช่วงปลายฤดูปลูก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว Van Soest, P.J.(1987) ได้ระบุว่าหญ้าที่ได้จากการตัดครั้งแรกของฤดูปลูก จะมีคุณภาพดีกว่าหญ้าที่ตัดในรอบต่อๆมา โดยจะมีปริมาณของผนังเซล และลิกนินต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.11 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารข้นและหญ้ารูซี่ (on DM basis)

Chemical composition	**Concentrate(1)** (60%)	**Ruzi grass hay(2)** (40%)
Dry Matter (DM)	90.03	90.00
Ash	93.33	89.17
Organic Matter (OM)	83.36	79.17
Crude protein (CP)	17.00	4.82
Ether extract (EE)	5.86	1.46
Crude Fiber (CF)	4.82	32.43
Nitrogen free extract (NFE)	65.65	50.46
Neutral detergent fiber (NDF)	28.40	65.42
Acid detergent fiber (ADF)	11.13	47.21
Acid detergent lignin (ADL)	2.01	6.47
GE (Gross Energy, MJ/ KgDM)	18.21	15.52

(1) Concentrate feed, ingredient including 34% of soybean meal, 19 % of rice barn, 47% of cassava chip and 0.5% of mineral mixtures respectively.

(2) Ruzi hay

4.3.1.2 ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้เฉลี่ยแตกต่างกันตามระดับพลังงานที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ1.3 M, 1.6 M และ1.9 M ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 2.08 $\pm$ 0.08, 2.64 $\pm$ 0.08, และ3.30 $\pm$ 0.19 Kg./head/d ตามลำดับ คิดเป็น%น้ำหนักตัว (%BW) มีค่าเท่ากับ2.01$\pm$ 0.08, 2.35$\pm$ 0.08 และ 2.68$\pm$ 0.08 ตามลำดับ หรือในรูป Metabolic weight (g/ kg$BW^{0.75}$/d) มีค่าเท่ากับ 64.18 $\pm$ 2.10, 76.46 $\pm$ 2.30 และ 88.95 $\pm$ 3.00 ตามลำดับ ความแตกต่างของปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ในการทดลองนี้มีผลเนื่องมาจาก แผนการทดลองที่วางไว้ข้างต้น กำหนดให้โคทดลองได้รับพลังงานแตกต่างกัน ตามทรีตเมนต์ที่กำหนด โดยค่าพลังงานที่โคได้รับในแต่ละทรีตเมนต์จะสูงกว่าระดับเพื่อการดำรงชีพ ตามคำแนะนำของ NRC (1996)

จากรายงานของ พีรพจน์ นิติพจน์(2549) ที่ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME) ในโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ตอน จำนวน 4 ตัว

น้ำหนักตัวเฉลี่ย 185 ± 16 กิโลกรัม โดยโคได้รับปัจจัยการทดลอง 4 สูตรได้แก่ 1) หญ้าแพงโกล่า 98.69 % + ยูเรีย 1.31% (T1), 2) หญ้าแพงโกล่า 40.00 % + มันเส้น 58.34 % + ยูเรีย 1.66 % (T2), 3) หญ้าแพงโกล่า 30.00 % + มันเส้น 54.81 % + กากเบียร์ 15.00 % + ยูเรีย 0.19 % (T3), และ 4) หญ้าแพงโกล่า 20.00 % + มันเส้น 21.12 % + กากมันสำปะหลัง 57 % + ยูเรีย 1.88 % (T4) โดยให้โคได้รับอาหารแบบจำกัดปริมาณที่ระดับ 1.5 % ของน้ำหนักตัว พบว่า มีค่าปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้ของหญ้าแพงโกล่า 20 % + มันเส้น 21.12 % + กากมันสำปะหลัง 57 % + ยูเรีย 1.88 % (T4) สูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.3 M แต่ต่ำกว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานเฉลี่ย 1.6 M และ 1.9 M จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 2.27 ± 0.03 กก./ตัว/วัน ($P<0.05$) คิดเป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักตัว (% BW) มีค่าเท่ากับ 1.26 ± 0.02 ($P>0.05$) หรือในรูป Metabolic weight (g/ $kgBW^{0.75}$/d) มีค่าเท่ากับ 46 ± 0.59 ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณวัตถุแห้งที่โคพื้นเมืองกินได้ในช่วง 12 สัปดาห์ของการทดลอง เพื่อวัดการตอบสนอง ด้านการเจริญเติบโต

Parameters	**1.3 M±SD (T1)**	**1.6 M±SD (T2)**	**1.9 M±SD (T3)**
No. of animal, N	6	6	6
Feed intake (Kg/h/d)			
Roughage	0.82 ± 0.03	1.04 ± 0.03	1.31 ± 0.07
Concentrate	1.26 ± 0.05	1.60 ± 0.05	1.99 ± 0.12
Total	2.08 ± 0.08	2.64 ± 0.08	3.30 ± 0.19
Feed intake (%BW)			
Roughage	0.79 ± 0.03	0.93 ± 0.03	1.06 ± 0.03
Concentrate	1.22 ± 0.05	1.42 ± 0.05	1.62 ± 0.06
Total	2.01 ± 0.08	2.35 ± 0.08	2.68 ± 0.08
Feed intake (g/ $KgBW^{0.75}$)			
Roughage	25.30 ±0.09	30.12 ± 1.00	35.31 ± 1.20
Concentrate	38.88 ±1.20	46.34 ± 1.40	53.64 ± 1.90
Total	64.18 ±2.10	76.46 ± 2.30	88.95 ± 3.00

หมายเหตุ : ไม่ได้เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจากเป็นการกำหนดปริมาณที่ให้โคกินแต่ละ treatment

4.3.1.3 การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยในช่วง 12 สัปดาห์ของโคทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกัน โดยโคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.9 M มีการเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ 1.6 M และ1.3 M (71.68^{a}± 3.66 กับ 61.08^{b}± 3.15 และ 51.35^{c}± 3.56 กิโลกรัม) ตามลำดับ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนักตัวของโคทดลอง ในช่วง 12 สัปดาห์ (84 วัน)

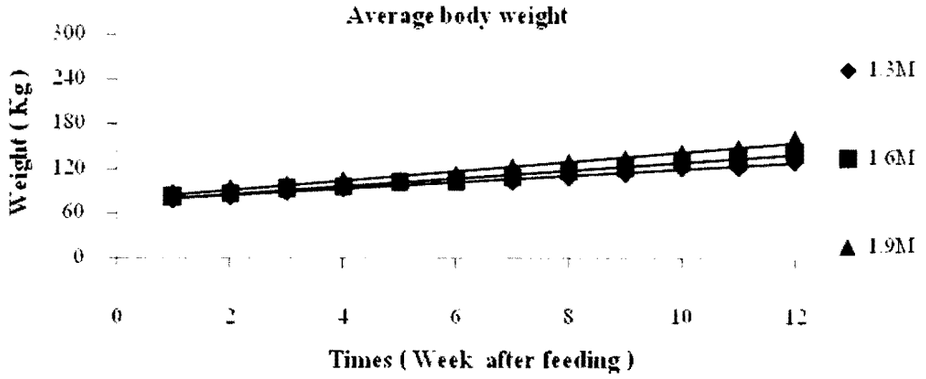
	ระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ NRC (1996)		
Parameters	**1.3 M±SD**	**1.6 M±SD**	**1.9 M±SD**
	(T1)	**(T2)**	**(T3)**
No. of animal, N	6	6	6
Initial weight, kg	76.80 ± 2.84	81.92 ± 1.30	87.92 ± 4.20
Final weight, kg	128.1 ± 5.53	143.0 ± 3.13	159.6 ± 7.10
Weight gain, kg	51.35^{c} ± 3.56	61.08^{b} ± 3.15	71.68^{a} ± 3.66
Total feed intake, kg	174.30 ± 10.37	221.76 ± 3.56	279.72 ± 3.56
Average daily gain, kg/d	0.61^{c} ± 0.04	0.73^{b} ± 0.03	0.85^{a} ± 0.04
Feed conversion ratio	3.40^{c} ± 0.23	3.64^{b} ± 0.19	3.86^{a} ± 0.13

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

1) อัตราการเจริญเติบโต (Average daily gain, ADG)

จากภาพที่ 4.2 เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทย พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดในแผนการทดลอง ซึ่งกำหนดให้โคได้รับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ (1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) พบว่า โคที่ได้รับพลังงานระดับ 1.9 M มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด รองลงมาคือ โคที่ได้รับพลังงานระดับ 1.6 M และ 1.3M (0.85 ± 0.04 , 0.73 ± 0.03 และ 0.61 ± 0.04 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ)(P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ อิทธิพล เผ่าไพศาล และสำราญ วิจิตรพันธ์(2549) ได้ศึกษาผลของระดับโปรตีนและพลังงานที่กินต่อสมรรถนะทางการเจริญเติบโต ระยะเวลาการเลี้ยง ต้นทุนค่าอาหาร และคุณภาพซากของโคพื้นเมืองที่ได้รับโปรตีนและพลังงานที่ย่อยได้(กก./ตัว/วัน) 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (0.51 gCP/ kgBW$^{0.}$

^{75} และ 2.19 gTDN/ kgBW$^{0.75}$) ระดับกลาง (0.63 gCP/ kgBW$^{0.75}$และ 2.82 gTDN/ kgBW$^{0.75}$) และระดับสูง (0.69 gCP/ kgBW$^{0.75}$และ 3.00 gTDN/ kgBW$^{0.75}$) ตามลำดับ โดยพบว่าโคที่ได้รับโภชนะสูง มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด รองลงมาคือ โคที่ได้รับโภชนะระดับกลางและระดับต่ำ (0.81 กับ 0.78 และ 0.64 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ)(P<0.05) จากผลการทดลองในครั้งนี้ และจากการทดลองของ อิทธิพลเผ่าไพศาล และสำราญ วิจิตรพันธ์ (2549) สอดคล้องกับ Poppi, D.P. and S.R. Mclennon(1995) ที่ระบุว่า การที่โคได้รับสัดส่วนของพลังงาน และโปรตีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามระดับพลังงาน ทำให้เกิดสมดุลของพลังงานและไนโตรเจน เนื่องจากการที่โคได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นนั้น จะมีผลอย่างมากต่อกระบวนการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานจากแหล่งของ carbon skeleton เพียงพอกับปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่อการย่อยได้ของโภชนะ การใช้ประโยชน์จากอาหารและอัตราการเจริญเติบโต จากการทดลองครั้งนี้ ยังใกล้เคียงกับ อัตราการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยหญ้าสดหรือฟางหมักยูเรีย และมีการเสริมด้วยอาหารข้น ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 0.60 - 0.93 กิโลกรัม (ฉายแสง ไผ่แก้ว และคณะ, 2534; อ้างอิงจาก จีระวัชร์ เข็มสวัสดิ์ และคณะ, 2548)



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักตัวของโคที่เพิ่มขึ้นเป็นรายสัปดาห์ในช่วง 12 สัปดาห์ของการทดลอง

2) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio, FCR)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของโคพื้นเมืองไทย ที่ได้รับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ (1.3 M, 1.6 M, 1.9 M) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า โคได้รับพลังงานที่ระดับ 1.9 M มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงสุด รองลงมาคือ ระดับ 1.6 M และ 1.3 M (3.86 $\pm$ 0.13 กับ 3.64 $\pm$ 0.19 และ 3.40 $\pm$ 0.23 ตามลำดับ)(P<0.05) การที่อัตราการ

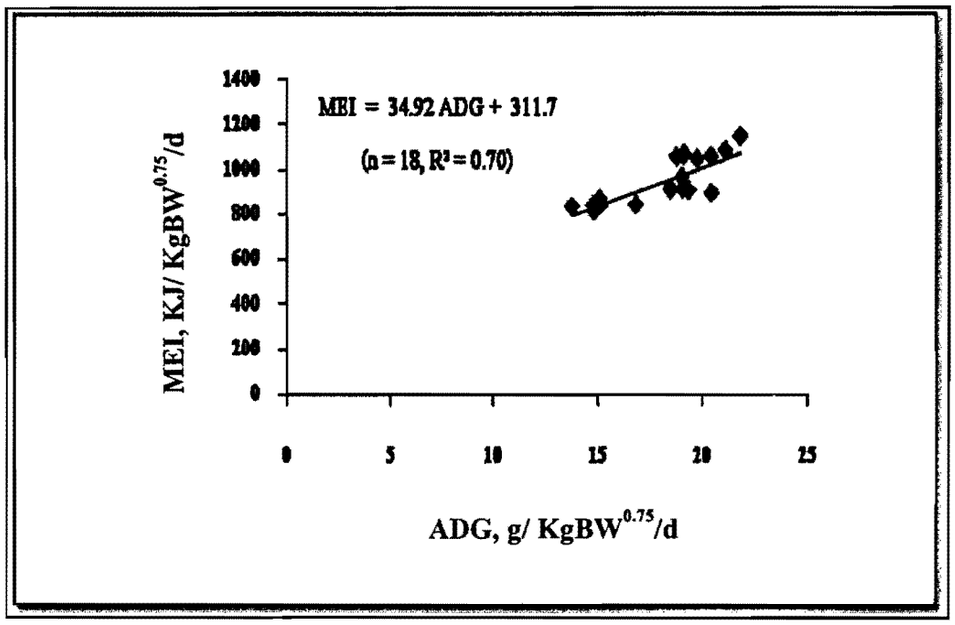
เปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของการทดลองครั้งนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ อาจมีสาเหตุมาจากโภชนะที่โคได้รับ โดยพบว่าก่อนการทดลองโคมีขนาดรูปร่างค่อนข้างเล็ก เนื่องจากถูกเลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มตามทุ่งหญ้าธรรมชาติคุณภาพต่ำ แม้ว่าจะมีการเสริมอาหารข้นให้กับโคทุกๆ วันหลังจากกลับเข้าสู่โรงเรือนในเวลา 17.00น. แต่โคยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับการจัดการด้านการให้อาหารที่ถูกต้อง โดยสังเกตได้จากไม่ได้มีการจัดกลุ่มให้กับโค ทำให้เกิดการแก่งแย่งอาหาร โคเล็กหรือลูกโคมักได้รับอาหารน้อยกว่าโคขนาดใหญ่ ทำให้โคเล็กมีการเจริญเติบโตช้าเนื่องจากได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย เกิดภาวะขาดอาหาร (Undernutrition) ทั้งพลังงาน และโภชนะที่สำคัญบางอย่าง โดยบุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2532) ระบุว่า การขาดอาหารจะมีผลรุนแรงต่อการเจริญเติบโตแค่ไหนขึ้นอยู่กับว่า ขาดอะไร ขาดมากน้อยเพียงใด ขาดนานเท่าใด และขาดในระยะใด เช่น ถ้าขาดพลังงานและ/หรือโปรตีน จะทำให้สัตว์ผอมมีน้ำหนักน้อยมีขนาดตัวเล็ก (โตช้า) และมีผลต่อการเกิดเมตาบอลิซึมในร่างกาย โดยในลูกโคจะได้รับผลกระทบจากการขาดอาหารมากกว่าโคโต

Maynard, L.A. and J.K. Loosli (1965) ได้อ้างถึงผลการทดลองของ Waters (1908, 1910) ที่ศึกษาถึงผลของการขาดอาหารระดับต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคเพศผู้ตอน โดยให้โคได้รับอาหารในระดับที่ทำให้น้ำหนักตัวคงที่ จากนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง พบว่า แม้ว่าน้ำหนักตัวจะคงที่ แต่โคยังมีการเจริญเติบโตได้โดยการเพิ่มความยาวและความสูง และโคจะผอมมากเนื่องจากมีการดึงไขมันที่สะสมมาใช้ และจากการตรวจเอกสารของ O'Donovan, P.B. (1984) and W.J. Ryan(1990) พบว่า สัตว์ที่ขาดอาหารมักผอม เนื่องจากเกิดการเผาผลาญไขมันที่เก็บสะสมไว้ที่เนื้อเยื่อตับและกระเพาะอาหาร ทำให้สัตว์มีการชะงักการเจริญเติบโตระยะหนึ่ง แต่เมื่อสัตว์ได้รับอาหารเต็มที่ มันจะเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าปกติ คือมีการโตชดเชย (Compensatory growth) จากรายงานที่กล่าวข้างต้น พบว่ามีความสอดคล้องกับงานทดลองครั้งนี้ โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ โคก่อนที่จะนำมาทดลองมีขนาดค่อนข้างผอม เมื่อให้โคได้รับโภชนะต่างๆ ครบตามความต้องการ โดยเฉพาะพลังงานในอาหารที่กำหนดให้มีระดับพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้นจากความต้องการ เพื่อการดำรงชีพตามคำแนะนำของ NRC (1996) ทำให้เกิดความสมดุลของพลังงานในอาหารที่มีความสัมพันธ์กับการทำงานของจุลินทรีย์ ที่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้สูง มีการย่อยได้ของโภชนะและมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น

3) การประเมินความต้องการพลังงาน จากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจริญเติบโต และ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/ $kgBW^{0.75}$/d) เป็นตัวแปรตาม (X) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน

(MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d) เป็นตัวแปรอิสระ (Y)โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย (Simple linear regression) ได้สมการ **คือ MEI = 34.92 ADG+ 311.7 (n =18, R^2 = 0.70)** (ดังแสดงในภาพที่ 4.3) จากสมการนี้ พบว่า ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโคพื้นเมืองเพศผู้ เท่ากับ 311.7 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d (โดยแทนค่า ADG = 0 กล่าวคือ ค่า MEI เมื่อไม่มีการเจริญเติบโต) ซึ่งต่ำกว่า รายงานของคณะทำงานจัดทำมาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของประเทศไทย (2552) ที่ระบุว่าค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโคพื้นเมืองไทย มีค่าเท่ากับ 483.60 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/ kgBW$^{0.75}$/d) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน (MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d)

4.3.2 การทดลองที่ 2 การประเมินการย่อยได้ของโภชนะ และเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพื้นเมือง เพศผู้ที่ได้รับพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้นจากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ ตามคำแนะนำของ NRC (1996)

4.3.2.1 อาหาร และ โภชนะที่โคกินได้ (Feed and nutrient intake)

จากการทดลอง พบว่า โคที่ได้รับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ (1.3 M, 1.6 M และ1.9 M) มีปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้ (DM intake) แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 2.45 $\pm$ 0.16, 3.32 $\pm$ 0.13 และ 4.21 $\pm$ 0.28 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ ($P<0.05$) คิดเป็น % น้ำหนักตัว (% BW) มีค่าเท่ากับ 1.82 $\pm$ 0.04 , 1.95 $\pm$ 0.05 และ 2.22 $\pm$ 0.01 ตามลำดับ หรือในรูป Metabolic weight

(g/ kgBW$^{0.75}$/d) มีค่าเท่ากับ 61.18 $\pm$ 3.89, 70.96 $\pm$ 2.96 และ 82.26 $\pm$ 5.39 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ความแตกต่างของปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้ เป็นไปตามแผนการทดลองที่กำหนดให้โคได้รับพลังงานแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ ซึ่งจากการทดลองของ อิทธิพล เผ่าไพศาล และ สำราญ วิจิตรพันธ์ (2549) ได้เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ ปริมาณโภชนะย่อยได้ทั้งหมดต่ออาหารที่กินของโคกลุ่มที่ได้รับโภชนะระดับสูง จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโภชนะระดับกลาง และต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณอินทรียวัตถุที่โคกินได้ (OM intake)(g/ kgBW$^{0.75}$/d) ต่ออาหารที่กินมีค่าแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ที่กำหนด (1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) พบว่า อินทรียวัตถุที่โคกินได้มีค่าเท่ากับ 55.67 $\pm$ 1.03, 65.05 $\pm$ 3.31 และ 75.01 $\pm$ 4.92 ตามลำดับ

ปริมาณโปรตีนที่โคกินได้ (CP intake)(g/ kgBW$^{0.75}$/d) ต่ออาหารที่กินมีค่าแตกต่างกัน ตามทรีตเมนต์ที่กำหนด(1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) พบว่าโปรตีนที่โคกินได้มีค่าเท่ากับ 6.92 $\pm$ 0.21, 8.62 $\pm$ 0.47 และ 10.17 $\pm$ 0.60 ตามลำดับ ($P<0.05$)

ปริมาณ NDF ที่โคกินได้ (NDF intake)(g/ kgBW$^{0.75}$/d) มีค่าแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ที่กำหนด (1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) พบว่า NDF ที่โคกินได้มีค่าเท่ากับ 26.42 $\pm$ 0.70, 30.82 $\pm$ 1.64 และ 35.55 $\pm$ 2.38 ตามลำดับ ($P<0.05$)

4.3.2.2 พลังงานใช้ประโยชน์ (Energy utilization)

พลังงานรวมที่โคกินได้ (GE intake) คิดเป็น Metabolic weight (kJ/ kgBW$^{0.75}$/d) มีค่าแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ที่กำหนด (1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า พลังงานรวมที่โคกินได้ (GE intake) มีค่าสูงสุดที่ระดับ 1.9 M (T3) เท่ากับ 1,416.88 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d รองลงมา คือที่ระดับ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 1,209.41 และ 1,077.16 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานย่อยได้ที่โคกินได้ (DE intake) มีค่าสูงสุดที่ระดับ 1.9 M (T3) เท่ากับ 1,140.05 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d รองลงมา คือ ที่ระดับ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 956.55 และ 841.88 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่กินโคกินได้ (ME intake) มีค่าสูงสุดที่ระดับ 1.9 M (T3) เท่ากับ 992.91 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ รองลงมา คือ ที่ระดับ 1.6 M (T2) และ1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 827.23 และ 717.31 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ ($P<0.05$)

จากการทดลองครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า พลังงานรวมที่โคกินได้ (GE intake) พลังงานย่อยได้ที่โคกินได้ (DE intake) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่โคกินได้ (ME intake) จะแปรผันตามน้ำหนักตัวของโคที่เพิ่มขึ้น โดยโคที่ได้รับพลังงานระดับ 1.9 M (T3) มีน้ำหนักตัว

เฉลี่ยสูงสุด 189.50 ± 1.12 กก. จะมีความต้องการพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักสูงสุด และโคที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำสุด 134.75 ± 3.49 กก. ได้รับพลังงาน 1.3 M (T1) จะมีความต้องการพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับกับการทดลองของ Missouri อ้างอิงจาก บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2532) ที่เลี้ยงโคโดยกำหนดให้โคมีอัตราการเจริญเติบโต 3 ระดับ คือ 0.8, 0.45 และ 0.35 กก./วัน แล้วฆ่าเมื่ออายุ 1 เดือน จนถึง 4 ปี นำซากมาวิเคราะห์ พบว่า มีการสะสมพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์โตขึ้น

จากรายงานของ Chaokaur, A., et al.(2008a) ได้ศึกษาค่าความต้องการพลังงาน และโปรตีนเพื่อการดำรงชีพของโคบราห์มัน ให้ได้รับอาหารระดับต่างๆ กัน ในเขตร้อน โดยให้โคได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 4 ระดับ (1 M, 1.4 M , 1.8 M, และ *Ad lib*) พบว่า พลังงานรวมที่โคกินได้, พลังงานย่อยได้ที่โคกินได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่โคกินได้ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยโคกลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานแบบเต็มที่ (*Ad lib*) จะมีพลังงานรวม, พลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่โคกินได้สูงสุด มีค่าเท่ากับ 1,516, 1,077 และ 943 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ตามลำดับ รองลงมา คือกลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานระดับ 1.8 M มีค่าเท่ากับ 1,291, 911 และ 789 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d ตามลำดับ ซึ่งพลังงานรวม,พลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้งานประโยชน์ได้ที่โคกินได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองครั้งนี้ กล่าวคือ มีความต้องการพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อสัตว์โตขึ้น และพบว่า พลังงานรวมที่โคกินได้ ระหว่างโคพื้นเมือง จากการทดลองนี้สูงกว่าโคบราห์มันที่ได้รับพลังงาน (*Ad lib*) จากรายงานของ Chaokaur, A., et al.(2008a) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก โคพื้นเมืองที่นำมาทดลอง เป็นโคเนื้อระยะรุ่น หรืออยู่ในระหว่างกำลังเจริญเติบโต ที่สามารถปรับตัวเข้ากับอาหารทดลองได้ดีโคกินอาหารได้หมด อีกทั้งยังปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมได้ดี

พลังงานที่สูญเสียในมูล (kJ/ $kgBW^{0.75}$) มีค่าแตกต่างกัน ตามทรีตเมนต์ที่กำหนด(1.3 M, 1.6 M และ1.9 M) พบว่า พลังงานที่สูญเสียในมูลมากที่สุดคือ 1.9 M (T3) รองลงมาคือ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 276.83 ± 3.03, 252.86 ± 3.79 และ 235.98 ± 4.23 kJ/ $kgBW^{0.75}$ ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะ (kJ/ $kgBW^{0.75}$) มีค่าความแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ที่กำหนด (1.3 M, 1.6 M และ 1.9 M) พบว่า พลังงานที่ในปัสสาวะมากที่สุด คือ 1.9M (T3) รองลงมาคือ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 30.11 ± 3.32, 24.37 ± 5.81 และ 25.26 ± 7.03 kJ/ $kgBW^{0.75}$ ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานที่สูญเสียในรูปก๊าซมีเทน พบว่า พลังงานที่สูญเสียในรูปก๊าซมีเทนมากที่สุด คือ 1.9 M (T3) รองลงมาคือ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 117.03 $\pm$ 2.82, 104.95 $\pm$ 2.24 และ 98.61 $\pm$ 3.12 kJ/ kgBW$^{0.75}$ ตามลำดับ ($P<0.05$)

พลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน พบว่า ระดับพลังงานที่ 1.6 M (T2) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 635.60 $\pm$ 0.48 kJ/ kgBW$^{0.75}$รองลงมา คือ ระดับพลังงานที่ 1.3 M (T3) และ1.9 M (T3) มีค่าเท่ากับ 594.48 $\pm$ 2.82 และ 664.37$\pm$ 0.56 kJ/ kgBW$^{0.75}$ ตามลำดับ ($P<0.05$)

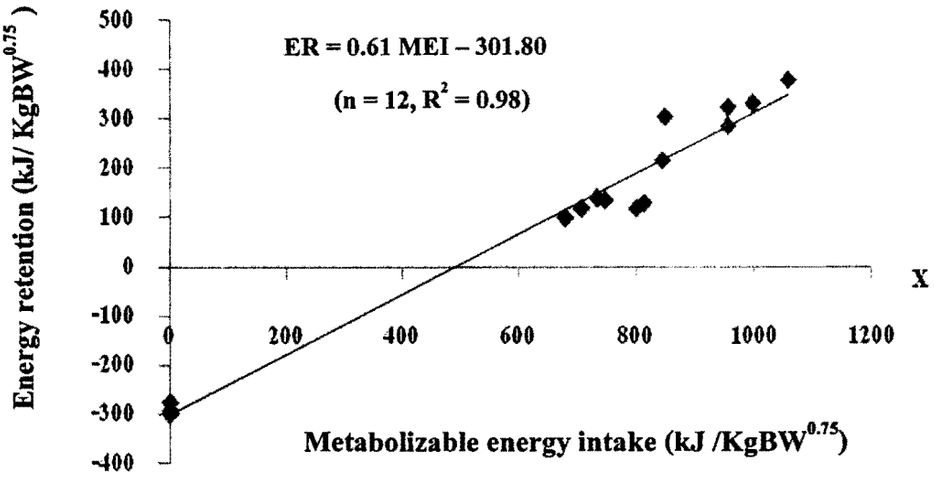
จากรายงานของ Chaokaur, A., et al.(2008a) พบว่า โคมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$)โดยโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานแบบเต็มที่ (*Ad lib*) มีค่าเท่ากับ 665 kJ/ kgBW$^{0.75}$ รองลงมาคือ กลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานระดับ 1.8 M, 1.4 M และ1 M มีค่าเท่ากับ 601, 537 และ 436 kJ/ kgBW$^{0.75}$ ตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อนใกล้เคียงกับงานทดลองครั้งนี้ และจากการทดลองครั้งนี้สังเกตพบว่า พลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Pond, W.G., et al. (2005) และ พิสิทธิ์ สุวรรณโชติ (2547) ที่ระบุว่า ขนาดตัว เมื่อพิจารณาที่ความร้อนโดยรวม (Total heat production หรือ Absolute heat production) สัตว์ที่มีร่างกายขนาดใหญ่จะสร้างความร้อนมากกว่าสัตว์ขนาดเล็ก แต่ถ้าพิจารณาความร้อนที่เกิดขึ้นต่อหน่วยน้ำหนัก (Mass – specific metabolic rate) ซึ่งคิดต่อหน่วย Body surface area พบว่า สัตว์เล็ก มีค่า Basal metabolic rate (BMR) สูงกว่า โดยพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

พลังงานที่กักเก็บ (Energy retention) คำนวณโดยการหักลบพลังงานที่สูญเสียในรูปของมูล, ปัสสาวะ, ก๊าซมีเทน และ ความร้อน (HP) จากพลังงานในอาหาร พบว่าโคที่ได้รับอาหารพลังงานที่ 1.9M (T3) มีพลังงานกักเก็บสูงสุด รองลงมาคือ 1.6M (T2) และ 1.3M(T1) มีค่าเท่ากับ 328.54 $\pm$ 2.50, 191.63 $\pm$ 2.64 และ 112.83 $\pm$ 0.28 kJ/ kgBW$^{0.75}$ ตามลำดับ ($P<0.05$) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$) เป็นตัวแปรอิสระ (X) และพลังงานที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ/ kgBW$^{0.75}$) เป็นตัวแปรตาม (Y)โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย Simple linear regression ได้สมการ คือ **ER = 0.61 MEI – 301.80 (n =12, R^2 = 0.98)**(ดังแสดงในภาพที่ 4.4) จากสมการนี้ พบว่า ความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_m) เพื่อการดำรงชีพของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยมีค่าเท่ากับ 494.70 kJ/ KgBW$^{0.75}$/d (โดยแทนค่า ER = 0 กล่าวคือ ค่า MEI เพื่อการดำรงชีพ = 301.80 ÷ 0.61 = 494.70) ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ที่ NRC (1996) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 501 kJ/ kgBW$^{0.75}$/d

ตารางที่ 4.14 น้ำหนักตัว โภชนะที่กิน และ เมตาบอลิซึมพลังงาน

Parameters	ระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ NRC (1996)		
	1.3 M ± SD (T1)	1.6 M ± SD (T2)	1.9 M ± SD (T3)
No. of animal, N	4	4	4
Average Body weight (kg)	134.75 ± 3.49	170.50 ± 6.60	189.50 ± 1.12
$BW^{0.75}$	39.01	47.18	51.07
Feed and nutrient intake			
DM intake (kg/d)	2.45^{c} ± 0.16	3.32^{b} ± 0.13	4.21^{a} ± 0.28
DM intake (%BW)	1.82 ± 0.04	1.95 ± 0.05	2.22 ± 0.01
DM intake (g/ $kgBW^{0.75}$)	61.18 ± 3.89	70.96 ± 2.96	82.26 ± 5.39
OM intake (g/ $kgBW^{0.75}$)	55.67 ± 1.02	65.05 ± 3.31	75.01 ± 4.92
CP intake (g/ $kgBW^{0.75}$)	6.92^{c} ± 0.21	8.62^{b} ± 0.47	10.17^{a} ± 0.60
NDF intake (g/ $kgBW^{0.75}$)	26.42^{c} ± 0.70	30.62^{b} ± 1.64	35.50^{a} ± 23.8
Energy intake (MJ/d)			
Gross energy	42.02^{c} ± 0.74	57.06^{b} ± 0.65	72.36^{a} ± 2.60
Digestible energy	32.56^{c} ± 0.69	45.14^{b} ± 2.54	58.06^{a} ± 2.12
Metabolizable energy	26.46^{c} ± 0.57	40.82^{b} ± 2.12	53.35^{a} ± 2.10
Metabolizable energy (MJ/KgDM)	10.80± 0.37	12.29 ± 1.12	12.67 ± 1.19
Energy balance (kJ/ $kgBW^{0.75}$)			
GE intake	$1,077.16^{c}$ ± 0.71	$1,209.41^{b}$ ± 0.65	$1,416.88^{a}$ ± 2.60
DE intake	841.18^{c} ± 0.48	956.55^{b} ± 2.34	$1,140.05^{a}$ ± 2.63
ME intake	717.31^{c} ± 0.88	827.23^{b} ± 1.71	992.91^{a} ± 1.90
Fecal Excretion	235.98^{c} ± 3.03	252.86^{b} ± 3.79	276.83^{a} ± 4.23
Urine Excretion	25.26^{c} ± 7.03	24.37^{b} ± 5.81	30.11^{a} ± 3.32
Methane production	98.61^{c} ± 3.12	104.95^{b} ± 2.24	117.03^{a} ± 2.82
Heat production	594.48^{c} ± 3.92	635.60^{b} ± 0.48	664.37^{a} ± 0.56
Energy retention	112.83^{c} ± 0.28	191.63^{b} ± 2.64	328.54^{a} ± 2.50
Energy efficiency			
DE/GE	0.78	0.79	0.80
ME/GE	0.67	0.68	0.70
Methane energy /GE	0.08	0.08	0.08
Urine excretion/GE	0.02	0.02	0.02
ME/DE	0.85	0.86	0.87
Heat production /GE	0.55	0.53	0.47

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/ $KgBW^{0.75}$) และพลังงานที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ/ $KgBW^{0.75}$)

ประสิทธิภาพของพลังงานในอาหาร (Energy efficiency) พบว่า สัดส่วนของ DE ต่อ GE ที่ระดับพลังงาน 1.9 M (T3) และ1.6 M (T2) มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.80 และ 0.79 โดยที่ระดับพลังงาน 1.3 M (T1) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.78 สำหรับสัดส่วนของ ME ต่อ DE พบว่า ที่ระดับพลังงาน 1.9 M (T3) และ1.6 M (T2) มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.70 และ0.68 และ1.3 M l) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.67 ตามลำดับ จากการทดลองครั้ง พบว่า ประสิทธิภาพของพลังงานในอาหารในเทอมของ DE ต่อ GE, ME ต่อ GE และME ต่อ DE จะเพิ่มขึ้นตามระดับพลังงานที่สูงขึ้น สำหรับสัดส่วนของ Urine excretion ต่อ GE, Methane energy ต่อ GE และ Heat production ต่อ GE พบว่าทุกทรีตเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระดับพลังงานที่ 1.9 M (T3) มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.85 และ 0.55 ตามลำดับ ระดับพลังงานที่ 1.6 M (T2) มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.86 และ 0.53 ตามลำดับ และที่ระดับพลังงานที่ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.87 และ 0.47 ตามลำดับ

4.3.2.3 โภชนะที่ย่อยได้ และ ปริมาณไนโตรเจนกักเก็บ (กรัม/วัน)

ตารางที่ 4.15 โภชนะที่ย่อยได้ และปริมาณไนโตรเจนกักเก็บ

Parameters	ระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากความต้องการเพื่อการดำรงชีพ NRC (1996)		
	1.3 M ± SD (T1)	1.6 M ± SD (T2)	1.9 M ± SD (T3)
No. of animal, N	4	4	4
Average body weight	134.75 ± 3.49	170.50 ± 6.60	189.50 ± 1.12
$BW^{0.75}$	39.01	47.18	51.07
Nutrient digestibility, % DM			
Dry matter	70.44^{b} ± 0.60	70.42^{b} ± 4.72	74.19^{a} ± 1.21
Crude protein	69.45^{b} ± 5.98	69.40^{b} ± 6.01	76.59^{a} ± 2.12
Neutral detergent fiber	50.13 ± 2.20	57.85 ± 7.73	59.76 ± 1.07
Acid detergent fiber	51.94 ± 1.76	54.55 ± 1.89	57.89 ± 1.10
N Balance, g N/ d			
N intake	44.06^{c} ± 3.28	64.71^{b} ± 2.50	84.04^{a} ± 4.70
Fecal N	9.21 ± 0.27	11.88 ± 2.36	14.31 ± 0.56
Urinary N	11.68 ± 4.30	14.32 ± 2.40	16.71 ± 0.42
N retention	23.17^{c} ± 0.23	38.50^{b} ± 0.44	53.02^{a} ± 0.56
N Balance, g N/ $kgBW^{0.75}$			
N intake	1.10^{c} ± 0.19	1.41^{b} ± 0.10	1.63^{a} ± 0.05
Fecal N	0.23 ± 0.06	0.25 ± 0.09	0.28 ± 0.09
Urinary N	0.29 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.32 ± 0.01
N retention	0.58^{c} ± 0.01	0.85^{b} ± 0.01	1.03^{a} ± 0.01

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.15 พบว่า โคที่ได้รับพลังงานในอาหารระดับ 1.9 M มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีน สูงสุด มีค่าเท่ากับ 74.19 และ 76.59 % ($P<0.05$) โดยมีค่าการย่อยได้ของ NDF และ ADF ไม่แตกต่างกัน ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่าต่ำกว่างานทดลองของ Chantiratikul, A and S, Chumpawadee(2009) ได้ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในโครุ่นพื้นเมืองไทยเพศเมีย โคทดลองหนัก 132 ± 11.71 กิโลกรัม ให้โคได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 6, 9, 12

และ15 % พบว่า โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนในอาหาร 15 % มีค่าการย่อยได้ของโปรตีนสูงสุด เท่ากับ 88.88 % ($P<0.05$) ขณะที่การย่อยได้ของ วัตถุแห้ง NDF และ ADF มีค่าไม่แตกต่างกัน

4.3.2.4 ความสมดุลของไนโตรเจน (nitrogen balance)

ปริมาณไนโตรเจนที่กิน มีค่าแตกต่างกันตามทรีตเมนต์ที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า โคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.9 M (T3) มีปริมาณไนโตรเจนที่กินได้สูงสุด มีค่าเท่ากับ 84.04 $\pm$ 2.95 (กรัม/วัน) รองลงมาคือ 1.6 M (T2) และ1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 64.71$\pm$2.55 และ44.06$\pm$3.2 (กรัม/วัน)($P<0.05$)

ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางมูล (กรัม/วัน) พบว่าโคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.6 M (T2) และ 1.9 M (T3) มีปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางมูลใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 14.31 $\pm$ 0.56 และ 11.88 $\pm$ 2.36 กรัม/วัน และพลังงานที่ระดับ 1.3 M (T1) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.21 $\pm$ 0.27 กรัม/วัน($P<0.05$)

ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะ(กรัม/วัน) พบว่า มีค่าแตกต่างกัน โดยโคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.9 M (T3) มีปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะสูงสุด มีค่าเท่ากับ 16.71 $\pm$ 0.42 กรัม/วัน รองลงมา คือ 1.6 M (T2) และ 1.3 M (T1) มีค่าเท่ากับ 14.32 $\pm$ 0.63 และ 11.68 $\pm$ 0.60 ($P<0.05$)

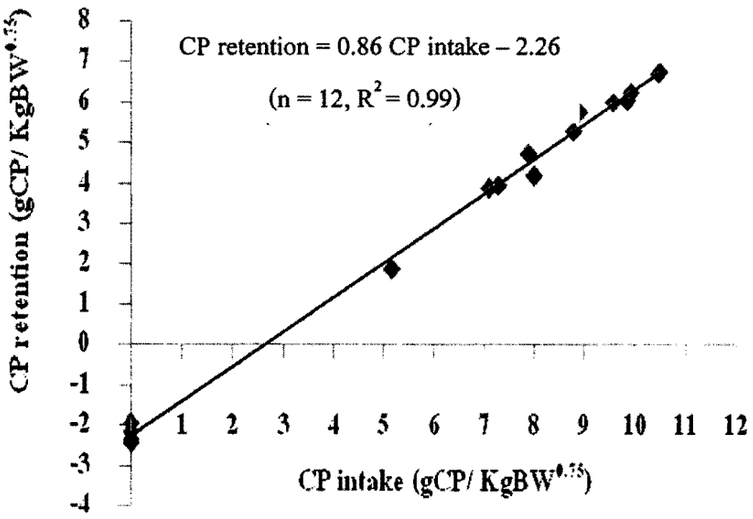
การกักเก็บไนโตรเจน (กรัม/วัน) ของโคที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ (1.3 M, 1.6 M, 1.9 M) มีค่าแตกต่างกัน ตามทรีตเมนต์ที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า โคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.9 M (T3) มีการกักเก็บไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 53.02 $\pm$ 0.56 กรัม/วัน หรือ 1.04 g/ $kgBW^{0.75}$ รองลงมาคือ 1.6 M (T2) มีค่าเท่ากับ 38.50 $\pm$ 0.44 กรัม/วัน หรือ 0.75 g/ $kgBW^{0.75}$ และโคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 1.3 M (T1) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 23.17 $\pm$ 0.23 กรัม/วัน หรือ 0.45 g/ $kgBW^{0.75}$ จะสังเกตเห็นได้ว่า โคทุกกลุ่ม มีการกักเก็บไนโตรเจนเป็นบวก แสดงว่ามีปริมาณไนโตรเจนที่กินเข้าไปมากกว่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมา หรือได้รับไนโตรเจนมากกว่าความต้องการเพื่อการดำรงชีพแล้วเหลือกักเก็บไว้ใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532; วรพงษ์ สุริยภัทร, 2535) สภาพเช่นนี้ทำให้สัตว์มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางมูล, ปัสสาวะ และไนโตรเจนกักเก็บเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่กินได้ (N intake) ที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองของ Chaokaur, A., et al.(2008a) ในโครุ่นพันธุ์บราห์มันที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 178 $\pm$ 27 กิโลกรัม โดยให้โคได้รับอาหารที่มีโปรตีนและพลังงานระดับต่ำและสูงแตกต่างกัน 4 ระดับได้แก่ ระดับ LL, LH, HL และ HH ตามลำดับ โคทดลองทุกกลุ่ม มีปริมาณ N intake อยู่ระหว่าง 0.72-2.52 g/ $kgBW^{0.75}$/d และ ME intake อยู่ระหว่าง 694 – 1,007 kJ/ $kgBW^{0.75}$/d

โดยมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ ที่มีปริมาณ N intake อยู่ระหว่าง 1.1-1.63, g/ kgBW$^{0.75}$/d และ ME intake อยู่ระหว่าง 717 – 993, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d พบว่า โคมีแนวโน้มของการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกายเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าเป็นบวก (+) โดยค่า N retention ในโครุ่นพันธุ์บราห์มัน มีค่าเท่ากับ คือ 0.16, 0.38, 1.21 และ1.48 g/ kgBW$^{0.75}$/d และโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่ได้รับพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.3 M, 1.6 M และ1.9 M จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.58, 0.85 และ 1.03 g/ kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ ($P<0.05$)

การวิเคราะห์ความสหสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่กินได้ (Crude protein intake, gCP/ kgBW$^{0.75}$) เป็นตัวแปรอิสระ(X) และโปรตีนที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (Crude protein retention, g/ kgBW$^{0.75}$) เป็นตัวแปรตาม (Y) โดยใช้สมการเส้นตรงอย่างง่าย simple linear regression ได้สมการ คือ **CP retention = 0.86 CP intake – 2.26** (ดังแสดงในภาพที่ 4.5) จากสมการนี้ พบว่า โครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทย มีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (CP_m) เท่ากับ 2.64 gCP/ kgBW$^{0.75}$/d หรือคิดในรูป gN/ kgBW$^{0.75}$/d มีค่าเท่ากับ 0.42 (โดยแทนค่า CP retention = 0 กล่าวคือ ค่า CPI เพื่อการดำรงชีพ = 2.26 ÷ 0.86 = 2.64) ซึ่งต่ำกว่าค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (CP_m) ที่ Chaokaur *et al.*(2008) รายงานไว้ สำหรับโคพันธุ์บราห์มัน มีค่าเท่ากับ 3.20 gCP/ kgBW$^{0.75}$/d หรือคิดในรูป gN/ kgBW$^{0.75}$/d มีค่าเท่ากับ 0.51

จากผลการทดลองครั้งนี้ และจากการทดลองของ Chaokaur, A., et al. (2008b) พบว่า ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (CP_m) ต่ำกว่า ที่ NRC (1996; update, 2000) อ้างโดย Senarath, S., et al. (2008) และ ARC (1980) รายงานไว้ มีค่าเท่ากับ 5.3 และ 4.42 gCP/ kgBW$^{0.75}$/d หรือคิดในรูป gN/ kgBW$^{0.75}$/d มีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.71 ตามลำดับ ภาพที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่กินได้ (CP intake, gCP/ kgBW$^{0.75}$) และโปรตีนที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (CP retention, gCP/ kgBW$^{0.75}$)



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่กินได้ (CPI, gCP / $KgBW^{0.75}$) และโปรตีนที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (CP retention, gCP / $KgBW^{0.75}$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การทดลองที่ 1 : การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงานของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิด

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสม Brachiaria 15 ชนิด ที่อายุการตัด 45 วัน พบว่า หญ้า Mulato II มีค่า โปรตีนสูงสุดเท่ากับ 15.35% และมีเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) เท่ากับ 59.39 %

ค่าการย่อยได้สูงสุดของวัตถุแห้ง (Potential degradability, A+B) พบว่า BR02/0771 มีค่า 85.80, BR02/0768 มีค่า 83.90, MX02/1423 มีค่า 83.60, BR02/0465 มีค่า 81.80 และ Mulato II มีค่า 81.70%

ค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (OMD) พบว่า หญ้า BR02/0771 มีค่า 59.10, BR02/1452 มีค่า 58.56, Mulato II มีค่า 57.93, BR02/1794 มีค่า 57.34 และ BR02/1372 มีค่า 56.29 %

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) พบว่า หญ้า BR02/0771 มีค่า 9.08, BR02/1452 มีค่า 9.01 และ Mulato II มีค่า 8.92 MJ/ KgDM

ค่าดัชนีบ่งชี้ (Index value) พบว่า หญ้า BR02/0771 มีค่า 5.91, BR02/1372 มีค่า 5.82, BR02/1794 มีค่า 5.51, มีค่า 5.42, BR02/0799 มีค่า 5.35 และ Mulato II มีค่า 5.25

จากการศึกษาเบื้องต้น (Screening test) เกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนะและพลังงานของหญ้า Mulato II และหญ้าลูกผสมสกุล Brachiaria (*Brachiaria spp.*) 15 ชนิดในครั้งนี้พอสรุปคุณภาพของหญ้าที่ดีที่สุด 5 อันดับแรก ที่ได้จากการคำนวณค่าดัชนีบ่งชี้ (Index value) ได้แก่ หญ้า BR02/0771, BR02/1372, BR02/1794, MX02/1263 และ BR02/0799 ตามลำดับ

เนื่องจากการศึกษาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ยังมีข้อมูลน้อยมากในประเทศไทย ดังนั้นการทดลองครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินคุณค่าทางโภชนะและความต้องการพลังงานในสัตว์

5.2 การทดลองที่ 2 : การประเมินคุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของหญ้า Mulato II

พบว่า ในหญ้า Mulato II มีปริมาณโปรตีน, เยื่อใย NDF, ADF และADL เท่ากับ 7.30, 75.58, 42.78 และ6.62% มีการย่อยได้ของโภชนะอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง คือ มีค่าการย่อยได้

ของ โปรตีน, เยื่อใย NDF, ADF และ TDN เท่ากับ 53.00, 63.05,53.72 และ 58.80 % สำหรับพลังงานรวม (Gross energy, GE), พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) มีค่าเท่ากับ 15.58, 9.65 และ6.77 MJ/KgDM

5.3 การทดลองที่ 3 : การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินความต้องการพลังงานเพื่อ การเจริญเติบโต ของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

<u>การทดลองที่ 3.1</u> : การประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้

พบว่า ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของของโคพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ เท่ากับ 311.7 kJ/KgBW$^{0.75}$/d

<u>การทดลองที่ 3.2</u> : การประเมินการย่อยได้ของโภชนะและเมตาบอลิซึมพลังงานของโคพันธุ์พื้นเมืองไทยเพศผู้ที่ได้รับอาหารพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ

พบว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/ KgBW$^{0.75}$/d) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ที่กินได้ (MEI, kJ/KgBW$^{0.75}$/d) เฉลี่ยต่อวันได้สมการดังต่อไปนี้

MEI = 34.92 ADG + 311.7 (n = 18, R^2 = 0.82) จากสมการนี้ พบว่าโคพื้นเมืองมีความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 311.70 kJ/KgBW$^{0.75}$/d

ความสัมพันธ์ ระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, kJ/KgBW$^{0.75}$/d) และพลังงานที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (ER, kJ/KgBW$^{0.75}$/d) ได้สมการดังต่อไปนี้

ER = 0.61 MEI - 301.80 (n = 12, R^2 = 0.98) โดยความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_m) เพื่อการดำรงชีพของโครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทย เท่ากับ 495 kJ/KgBW$^{0.75}$/d

ความสัมพันธ์ ระหว่างโปรตีนที่กินได้ (CP intake, gCP/KgBW$^{0.75}$/d) และโปรตีนที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ได้ (CP retention, g/ KgBW$^{0.75}$) ได้สมการดังต่อไปนี้

CP retention = 0.86 CP intake – 2.26 (n=12, R^2 = 0.99) จากสมการนี้ พบว่า โครุ่นพันธุ์พื้นเมืองไทย มีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (CP_m) เท่ากับ 2.64 gCP/KgBW$^{0.75}$/d หรือคิดในรูป gN/KgBW$^{0.75}$/d เท่ากับ 0.42

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การประเมินคุณค่าทางอาหาร และพลังงาน โดยอาศัยเทคนิคการวัดการผลิตก๊าซเป็นวิธีการที่ดีสามารถทำได้ทีละหลายๆตัวอย่างในระยะเวลาสั้นๆ แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของตัวอย่างอาหารมาตรฐาน ทั้งอาหารข้น และ อาหารหยาบ ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แม้ว่ามีหลายๆ มหาวิทยาลัยและหน่วยงานภาครัฐในประเทศไทยได้มีการวิจัยเพื่อให้ได้ตัวอย่างอาหารมาตรฐาน แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จ ในการนำมาใช้อ้างอิงเป็นตัวอย่างอาหารมาตรฐานได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ตัวอย่างอาหารมาตรฐาน ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยในโอกาสต่อไป

5.4.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตในโคพื้นเมือง ที่มี อายุ เพศ และ น้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ให้ครบทุกภาคในประเทศไทยเพื่อยืนยันผลการทดลองในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการสร้างสมการทำนายความต้องการพลังงานในโคพื้นเมืองของประเทศไทยในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. (2538). เทคนิคการให้อาหารโคนม. กรุงเทพมหานคร : กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กังวาน ธรรมแสง. (2546). การประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด เพื่อทำนายผลผลิตของโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

กฤตพล สมมาตย์. (2550). โภชนะพลังงานศาสตร์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตว์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

คณะทำงานการจัดทำมาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของประเทศไทย. (2551). ความต้องการโภชนะของโคเนื้อในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

จีระวัชร์ เข็มสวัสดิ์ โอสถ นาคสกุล และสมจิตร อินทรมณี. (2548). การศึกษาเบื้องต้นในการใช้อาหารผสมเสร็จอัดก้อนเลี้ยงโคเนื้อ. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เทอดชัย เวียรศิลป์. (2540). โภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2532). โภชนะศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2540). โภชนะอาหารสัตว์เล่ม1. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และทิพวรรณ ปริพัฒนานนท์. (2531). "คุณค่าทางอาหารและการใช้เปลือกและต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารสัตว์", รายงานการประชุมสัมมนาวิชาการ การใช้วัสดุท้องถิ่นเป็นอาหารสัตว์. ณ จังหวัดเชียงราย. 25-27 พฤษภาคม.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

บุญเสริม ชีวะอิสระกุล และคณะ. (2542). "การย่อยได้และพลังงานสุทธิจากการทดลองของเปลือกฝักถั่วเหลืองในโคและแกะ", รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการสาขาสัตวบาล/สัตวศาสตร์/สัตวแพทย์ การควบคุมคุณภาพในการผลิต : โภชนะศาสตร์สุขศาสตร์ การจัดการและ ผลิตภัณฑ์. สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 8 -10 ธันวาคม.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์.(2539). หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 : หลักโภชนะศาสตร์และการประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิยาลัยเชียงใหม่.

พิจิตร พันธ์ศรี และคณะ. (2536). "ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตและคุณค่าทางอาหารของหญ้าไข่มุก ข้าวฟ่างอู่ทอง 203 และหญ้าจัมโบ้ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์", รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สาขาสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 10. หน้า 346-354.

พิมพาพร พลเสน, รำไพร นามสีลี และสรายุทธ์ ไทยเกื้อ. (2552). "การประเมินคุณค่าทางโภชนะของถั่วท่าพระสไตโลแห้ง", รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี 2552. กรมปศุสัตว์ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิสิทธิ์ สุวรรณโชติ.(2547). "Energy Metabolism and Temperature regulation". เอกสารประกอบการสอนวิชา " Veterinary Physiology II (712 312) ". ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พีรพจน์ นิติพจน์.(2549). "เมตาบอลิซึมของพลังงานและความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อพื้นเมือง", รายงานวิชาสัมมนาสัตวศาสตร์ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์.(2533). โภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

รัชนีวรรณ วรจินดา พิจิตร พันธ์ศรี และประพัฒน์ศรี พันธ์ศรี. (2536). "การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิต และคุณค่าทางอาหารของหญ้าไข่มุก ข้าวฟ่างอู่ทอง 203 และหญ้าจัมโบ้ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์", รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สายเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 10 สาขาสัตวศาสตร์. น. 337-345. ลำปาง : สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง.

วรพงษ์ สุริยภัทร. (2535). "เยื่อใยในอาหารสัตว์", เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สายัณห์ ทัดศรี. (2540). พืชอาหารสัตว์เขตร้อน การผลิตและการจัดการ. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรชัย สุวรรณลี และคณะ. (2546). "การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอนและการผลิตก๊าซ". รายงานการเสวนาวิชาการงานแสดงเทคโนโลยีการเกษตรเพื่ออินโดจีน. คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. (2541). การเสริมฟางข้าวและหญ้ารูซี่ด้วยใบกระถินที่มีผลต่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนวัดโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อนันท์ เชาว์เครือ และ กฤตพล สมมาตย์. (2551). "ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานในโคเนื้ออินเดียและโคเนื้อยุโรป", วิทยาสารกำแพงแสน. 6 (1): 11- 18.

อนันท์ เชาว์เครือ และคณะ. (2551). "การประเมินค่าพลังงาน ที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคเนื้อในเขตร้อน", รายงานการประชุมวิชาการเกษตร ครั้งที่ 4 ประจำปี 2551. คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อารีรัตน์ ลุนผา. (2548). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของพืชหมักในถังพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อิทธิพล เผ่าไพศาล และสำราญ วิจิตรพันธ์. (2549). "ผลของปริมาณโปรตีนและพลังงานที่กินต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมือง", รายงานผลงานวิจัย กองอาหารสัตว์ ประจำปี พ.ศ. 2549. น. 204-220. กรุงเทพมหานคร : กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เอกสิทธิ์ สมคุณา. (2541). การใช้เทคนิคถุงไนล่อนเพื่อประเมินค่าการสลายตัวของอาหารหยาบและอาหารข้นในกระเพาะหมักของโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

AFRC. (1993). Energy and Protein Requirement of Ruminant. UK: CAB INTERNATIONAL, Wallingford.

Allden, W.G. (1970). "The effects of nutritional deprivation on the subsequent productivity of sheep and cattle", Nutr. Abstr. Rev. 40:1167.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15thEd. Wasington, DC. AOAC.

ARC. (1980). The Nutrient Requirement of ruminant Livestock. UK: Agric. Res. Counc., CAB International, Wallingford.

ARC. (1984). "Report of the protein group of the Agricultural Research Council Working party on nutrient requirement of ruminant", in A supplementary report to chapter 4 of the nutrient requirements of ruminant livestock. London: RAC.

Blaxter, K.L., (1969). The Energy Metabolism of Ruminant. London, UK: Hutchinson Sciencetific and Technical.

Blaxter, K.L. (1972). Energy Metabolism in animal and man. UK: Cambridge University Press.

Brouwer, E. (1965). "Report of subcommittee on constants and factors in Energy Metabolism", Proceeding of the 3rd symposium on Energy metabolism, European Association of Animal Production Publication. New York: EAAP Publ. Acad. Press.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Chaokaur, A. (2008). "Metabolizable energy and Crude protein requirement for growing Brahman cattle offered verying energy and protein intake", JIRCAS working report on Establishment of a Feeding Standard for Beef Cattle and a Feed Database for the Indochinese peninsula. Japan International Research Center for Agricultural Sciences: Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Chaokaur, A. et al. (2008). "Metabolizable energy and Crude protein requirement for maintenance of Brahman cattle offered varying levels of feed intake under tropical", Proceeding of International symposium on Establishment of a feeding Standard of Beef cattle and a Feed Database for the Indochinese peninsulá. August 6-7, Khon kaen: Thailand.

Chantiratikul, A. and Chumpawadee, S. (2009). "Protein requirement of yearing female Thai-indigenous cattle", JIRCAS working report on Establishment of a Feeding Standard for Beef Cattle and a Feed Database for the Indochinese peninsula. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Dukes, H.H. (1984). Duke's Physiology of Domestic Animal. 10th Ed. USA: Cornell University Press, Ithaca.

Ensminger, M.E., J.E. Oldfield and W.W.Heinemann. (1990). Feed & Nutrition digest. 2nd Ed. California, USA: Ensminger publishing company.

Fonseca, A.J.M., A. Dias-da-silva and E.R. Ørskov. (1998). "*In sacco* degradation characteristic as predictors of digestibility and voluntary intake of roughages by mature ewes", Anim. Feed Sci. Technical, 72: 205-219.

Goering, V. and P.J. Van Soest. (1970). Forage Fiber Analysis. Washington DC: US Dept. Agriculture.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Grant, R. (2000). Evaluating the feeding value of fibrous feed for dairy cattle. http://www.ianr.unl.edu/pubs/ Dairy/g91-1034.htm. May 19,2010.

Huntington, J.A. and Givens, D.I. (1997). "Studies on in situ degradation of feeds in the rumen : Effect of species, bag mobility and incubation sequence on dry matter disappearance", Anim. Feed Sci. Tech. 64: 227-241.

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: E27-38.

Kawashima, T. et al. (2000a). "Energy and nitrogen metabolism of Thai native cattle given Ruzi grass 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.

_____. (2000b). "Comparative study on energy and nitrogen metabolism between Brahmann cattle and swam 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.

Khuamankgorn, P. et al. (2008). "Determination of metabolizable energy of Rhodes grass (chloris gayana) and Purple guinea grass(Panicum maximum TDn58) in beef cattle", Proceeding of international symposium on Establishment of a feeding Standard of Beef cattle and a Feed Database for the Indochinese peninsula. August 6-7, Khon kaen, Thailand.

Lofgren, G. P. and Garrett, W. N. (1968). "A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle", J. Anim. Sci. 27: 793–806.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Maynard, L.A. and J.K. Loosli. (1965). Animal nutrition. 6th Ed. New York: McGraw-Hill Book Company.

McDonald, P. et al. (1995). Animal Nutrition. 5thEd. New York: Long man Scientific & Technical.

McDonald, P. et al. (2005). Animal nutrition. 6thEd. New York: Longman Scientific and Technical.

Menke, K.H. and H. Steingass. (1988). "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid", Anim. Res. Devel. 28: 7-55.

Menke, K.H. et al. (1979). "The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro", J. Agri. Sci. camb. 93: 217-222.

Milford, R and D.J. Minson. (1996). Tropical Pastures. London: Farber and Farber.

NRC.(1988). Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 6th Ed. Washington. D.C.: National Academy Press.

_____. (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle. Washington. D.C.: National Academic Press.

_____. (2000). Nutrient Requirement of beef cattle. 7th revised eds. Washington D.C.: National Academic press.

O' Donovan, P.B. (1984). "Compensatory gain in sheep and cattle". Nutr. Abstr. Rev. Ser. B. 54 : 389.

Odai. M. et al. (2005). "Feeding value of round-baled wrapping silage with sweet corn storage for dairy cows". Final report of collaborative research Project between Japan International Research Center for Agriculture Sciences. Japan and Department of livestock Development, Thailand.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Ørskov, E.R. (1992). Protein nutrition in ruminant. London: Academic press, Harcohurt brace javanovich publisher.

_____. (1985). "Evaluation of crop residues and agro-industrial by product using the nylon bag method", Better utilization of crop residues and by product in animal feeding : Research guidelines. สถานที่พิมพ์, pp. 153-162.

_____. (1987). "The feeding of ruminants principle and practice", Published in Great Britain by Chalcombe Pubblication. 13 Highwoods Drive, Marlow Bottom, Bucks SL7 3PU.

Ørskov, E.R., M. Hughes-Jones and M.E. Elimem. (1983). "Studies on degradation and outflow rate of protein supplements in the rumen of sheep and cattle", Livest. Prod. Sci. 10: 17-24.

Panichpol, V. et al. (2008). "Nutritive Value of Dry Stylo 184 leaves and Purple Guinea Grass Hay", Annual Meeting: Establishment of Feeding standard of Beef cattle and a Feed Database for the Indochinese Penisula. December 18-19. Klungnanavithaya Press, Khon kaen, Thailand.

Poppi, D.P. and S.R. Mclennan, (1995). "Protein and Energy utilization by ruminant at pasture", J. Anim. Sci. 73(1): 278-290.

Pond, W.G., D.C.Church, K.R. Pond and Schoknecht. (2005). Basic animal nutrition and Feeding. 5th Ed. U.S.A: John Wiley & Sons, Inc.

Quin, J.I., J.G. Van der Wath, and S. Myburgh. (1938). "Studies on alimentary tract of Merino sheep in south Africa. 4. Description of experimental technique. Onderstepoort", J. Vet. Sci. Anim. Ind. 11: 341-360.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Ryan, W.J. (1990). "Compensatory gain in sheep and cattle", Nutr. Abstr. Rev. Ser. B. 60: 653.

Senarath, S., Thummasaeng, K. and Suriyapat, W. (2008). "Protein requirement for maintenance of yearling Thai native cattle", Annual Meeting: Establishment of Feeding standard of Beef cattle and a Feed Database for the Indochinese Penisula. December 18-19, Klungnanavithaya Press, Khon kaen, Thailand.

Shem, M.N., Ørskov, E.R. and kinambo, A.E. (1995). "Prediction of voluntary dry matter intake, digestible dry matter intake and growth rate of cattle from the degradation characteristics of tropical foods", J. Animal Science. 60: 65-74.

Sitthiwong, J., K.Thummàsang, M.D. Hare and W. Suriyapat. (2007). "Preliminary study on nutritive values of brachiaria hybrids", Forages - A Pathway to Prosperity for Smallholder Farmers. March 5-7. Faculty of Agriculture Ubon Ratchathani University, Thailand.

Suriyajantratong, W. (1978). Effects of maturity and storage methods on availability of fiber,protein and macro minerals of alfalfa. Ph.D Thesis: University of Minesota., U.S.A.

Tangitwattanachai, N., M. Otsuuka and K. Sommart. (2008). "Efficiency of metabolizable energy for maintenance and growth of Boss indicus and Bos Taurus beef cattle: A meta-analysis", Proceeding of International symposium on "Establishment of a feeding Standard of Beef cattle and a Feed Database for the Indochinese peninsula. August 6-7. Khon kaen, Thailand.

Taylor, St. C. S., Thiessen R. B. and Murray, J. (1986). "Interbreed relationship of maintenance efficiency to milk yield in cattle", J. Anim. Prod. 43: 37.

Tilley, J.M.A. and R.A.Terry. (1963). "A two stage technique for *in vitro* digestion of forage crops", Journal of the British Grassland Society. 18: 104-111.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Van Soest, P.J. (1994). "Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition", J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.

Van Soest, P.J. (1987). Nutritional Ecology of the Ruminant. New York, U.S.A: Cornell University Press.

Vanzant, E.S. et al. (1996). "*In vivo* and *in situ* measurement of forage protein degradation in beef cattle", J. Anim Sci. 93: 553-562.

Wanapat, M. (1996). "Dairy Cattle Feeding and Nutrition", The FAO Training Course. Organized by Khon Kaen University in collaboration with DPO and DLD.

Wilkerson, W.A., D.P. Casper and D.R.Mertens.(1995). "The prediction of methane production of Holstein cows by several equation", J. Dairy. Sci. 78: 2402-2414.

WTSR. (2008). Nutrient Requirments of Beef Cattle in Thailand. 1st Edition. Bangkok: Department of livestock Development Ministry of Agriculture Thailand.

ภาคผนวก

วิธีการวัดการหายใจโดยวิธีอ้อม (Indirect Calorimeter) ด้วยวิธีวัดก๊าซจากลมหายใจ (Respiration Trial)

การเตรียมความพร้อมก่อนการทดลองวัดก๊าซจากลมหายใจ (Preparation before respiration trial)

	Place	Equipment
- Change the stocking filter (2 layer) at the every place.	Outside	
- Check the water level in the drain bottle. Throw out the drained water, when water level is over 500 ml. * Drained water flow back to the sampling gas tube, when drained water level is too high. - Change the paper filter that state between pump and cooler every period.	Inside	- Air cooling unit
- Turn on Flow meter, every pumps & cooling unit. - Turn on a switch of O_2, CO_2 & CH_4 gas analyzer at the day before of analysis. * Warm up gas analyzer around 24 hours before collection period	Inside	- Power switch board

Checking of equipments

Flow meter

- Flow rate should be in the range of 400 – 500 L/min

Flow gauge for sample gas.

- Over 5 L/min

O_2 analyzer

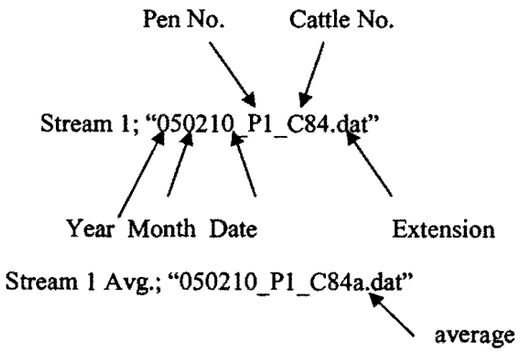
- Gas flow rate should be around 0.7 L/min (Check at the flow gauge).

CO_2 & CH_4 analyzer

- Gas flow rate should be around 0.5L/min (Check the flow gauge on the gas analyzer)

* We have to adjust CO_2 concentrate in the head cage with the adjustment of flow rate. Adequate range is in 0.1% - 1.0 %.

วิธีวัดก๊าซจากลมหายใจ (During respiration trial)

9:00	- Stop the Data logging program "TEST_HEAD4" by changing the mode on menu bar from "Mode-Run" to be "Mode-Edit" and then close the file recorder window. - Stop the Data logging program for chewing activity "Pico Log" by pushing the stop button on the control menu.	Inside	PC1 PC2
	Turn on the blower on the first day of trial. - Open the door of head cage - Collect the all residue - Close the lower door of the head cage - Check the hood, too tight or too loose - Collect all feaces & urine on the stall - Change the feaces box & urine tank to new one - Record the water gauge.	Inside Outside	
	- Set "GAS SELECT CONTROLLER" Stream 1; "OFF" Stream 2; "OFF" AIR; "MAN (Manual)"	Inside	Gas selector
	- Start calibration (see Calibration)	Inside	- Gas analyzer - PC1
	- Run the Data logging program "TEST_HEAD4" - Make new files, for example;  	Inside	- PC1

	Air, "050210_AIR.dat" * There are 7 files made new that included; 3 files of extension": _P... (1st), _P.....(2nd) and _AIR file; 3 files of "average": _P...a (1st), _P.....a (2nd) and _AIRa file; and 1 of calibration file, ...Cal.dat. - Select " O_2 calibration file" to gain oxygen calibration data made in the same day. (from Calibration section)		
	- Check the drained water in the bottle from air-cooling unit, never let its' level more than 500 ml.	Inside	- Air cooling unit
	- Check the respiratory gas flow (around 450L/min). * The meter showing the volume "45" (x10L/min) * During the measurement, do not adjust which one valve that the gas select controller lamp is light on.	Inside Outside	- Flow cell - Brower Valve
9.30	- Feed roughage & concentrate. * Confirm operator in the analysis room calibration was finished or not. - Mix well roughage & concentrate. - Close the door as soon as possible after feeding.	Outside	- Head cage
	- Set "GAS SELECT CONTROLLER", as follows; (1) AIR; "LINK" ←Set this switch at the 1st (2) Stream 1; "LINK" (3) Stream 2; "LINK"	Inside	Selector
	- Push "Start", immediately, to start data logging by "TEST_HEAD4" - Push Record button on the window "Pico Log" ดังแสดงในภาพที่ ผ.1 ระบบวิเคราะห์การหายใจ (Respiratory analysis system)	Inside	-PC1 -PC2

CALIBRATION

*Conduct calibration every morning during no measurement, form 9:00 to 9:30.

*Be sure to do calibration with SPAN gas at the first, and then with ZERO gas. Not fail this order.

*Finish calibration as soon as possible,

For example of gas concentration of SPAN and ZERO gas

SPAN Gas

O_2 ; 20.81% (Never excess 21%, but over 20.8%)

CO_2; 1.802% (Never excess 2%, but over 1.800%)

CH_4; 1809 ppm (Never excess 2000 ppm, but over 1800 ppm)

N_2 ; Balance

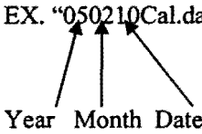
ZERO Gas

O_2 ; 19.06%

CO_2; 0%

CH_4; 0%

N_2 ; Balance

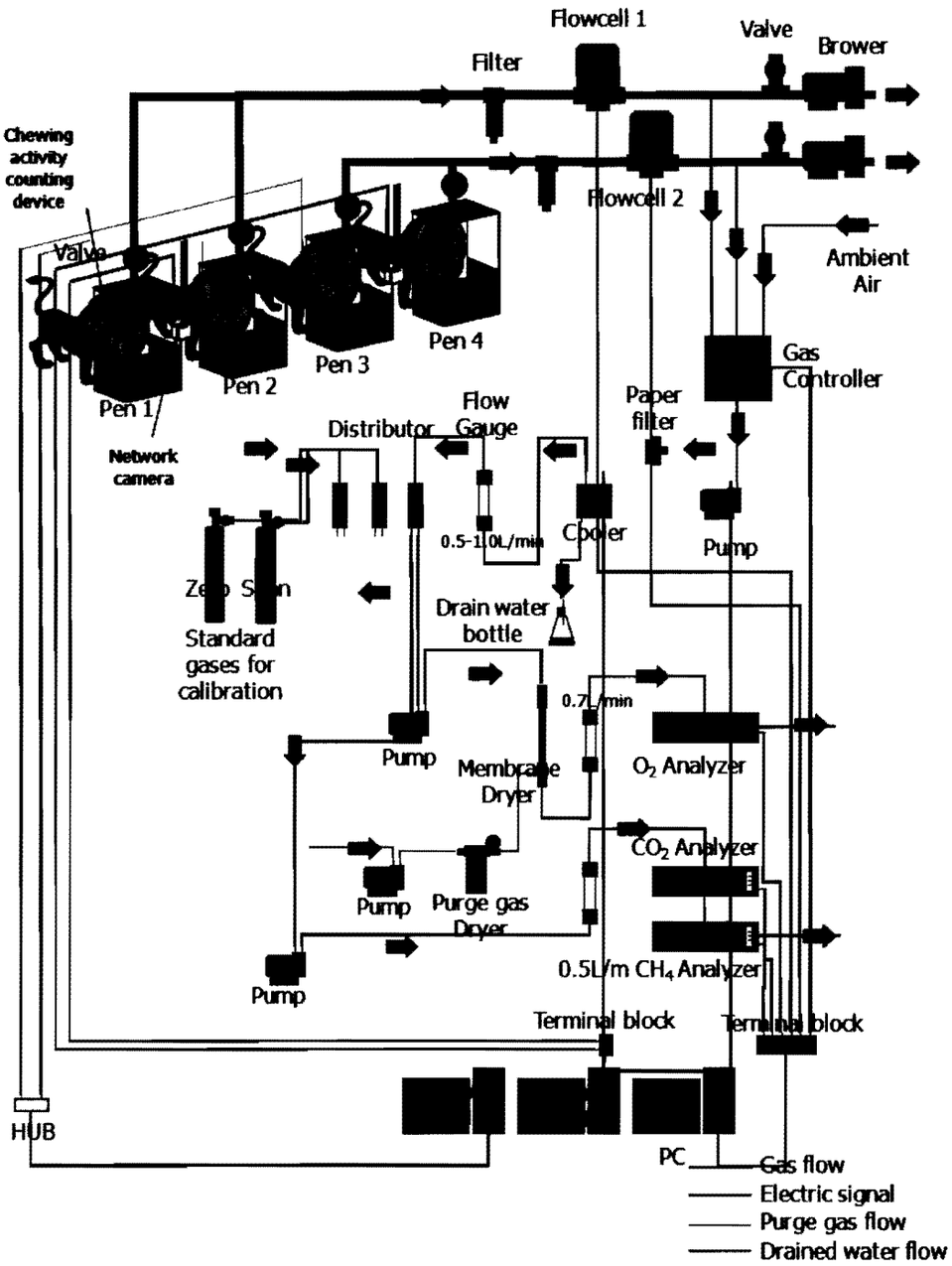
Calibration	Procedure	Equipment
SPAN	- Start calibration in the order, select "File" → "Open", the menu box showing the program list. - Run the program for O_2 calibration, "Cal.tst" → push "OK" button. ** Changing the mode on menu bar from "Mode-Edit" to be "Mode - Run" - Make the O_2 calibration file. Type file name in the fill box. For example, EX. "050210Cal.dat" ←Extension  Year Month Date - Push the "Start" button. *The program indicates the oxygen concentrate and voltage continuously. - Set the concentrate of SPAN gas and ZERO gas. *see the label on the standard gas bottles.	- PC1
	- Insert enough deep both O_2 & CO_2 - CH_4 gas sampling tube to the distributor of SPAN gas. - Flow the SPAN gas at around 2 L/min * Open the main valve (on the right hand) → the middle valve → the flow controller valve (on the left hand)	- Gas distributor - SPAN gas bottle
	- Input the SPAN gas concentrate to the O_2 analyzer (see O_2 conc. on SPAN gas bottle) - Push "Menu"→Select "Manual cal" →Enter password "4000" →Select "High cal" → Enter O_2 gas conc. → Push "OK", when indicated value shows stable → Wait, until monitor change automatically → push "MEASURE" button.	- O_2 analyzer

Calibration	Procedure	Equipment
	- Input the SPAN gas concentrate to the CO_2 analyzer (see CO_2 conc. on SPAN gas bottle), push the "DISP" button to check set value. If it is the same value, do not need to set it again, but if it is different can be setting by push "DIGIT" button to choose the position, and "SET" button to select the number. - Input the SPAN gas concentrate to the CH_4 analyzer (see CH_4 conc. on SPAN gas bottle) in the same way as CO_2 analyzer. - Push "SPAN" button on the CO_2 and CH_4 analyzer, when the indicators show stable value.	- CO_2 analyzer - CH_4 analyzer - CO_2, CH_4 analyzer
	- Select "Yes" at the monitor of O_2 analyzer	- O_2 analyzer
	- Push "Span" button, and then "Calibration" lamp lights on during calibration around 15 sec. *The program logs the voltage during 15 sec.	- PC1
	- Stop SPAN gas flow *Close the flow controller valve (on the left hand) $\rightarrow$ the middle valve $\rightarrow$ the main valve (on the right hand)	- SPAN gas tank
ZERO	- Insert, enough deep, both O_2 & CO_2-CH_4 gas sampling tube to the tube of ZERO gas - Flow the ZERO gas at around 4 L/min *Open in the same way as SPAN gas bottle.	- Gas distributor - SPAN gas bottle
	- Push "ZERO" on the CO_2 and CH_4 analyzer, when indicator shows stable value. ** For "ZERO" gas do not need to set gas concentrate on the O_2, CO_2 and CH_4 analyzer again. *Increase zero gas flow more, if indicated value on the CO_2 or CH_4 is far from 0.	

Calibration	Procedure	Equipment
	- Confirm that it is same the concentrate of ZERO gas on a monitor as ZERO gas concentrate on the label. - Push "Zero" button, and then "Calibration" lamp lights on during calibration around 15 sec. - Finish the program "Cal.tst" by changing the mode on menu bar from "Mode-Run" to be "Mode-Edit" and then close the file recorder window.	- PC1
	- Stop ZERO gas flow. *Close in the same way as SPAN gas bottle. - Return the both CO_2 & CO_2-CH_4 gas sampling tube to the distributor.	- SPAN gas bottle - Gas distributor

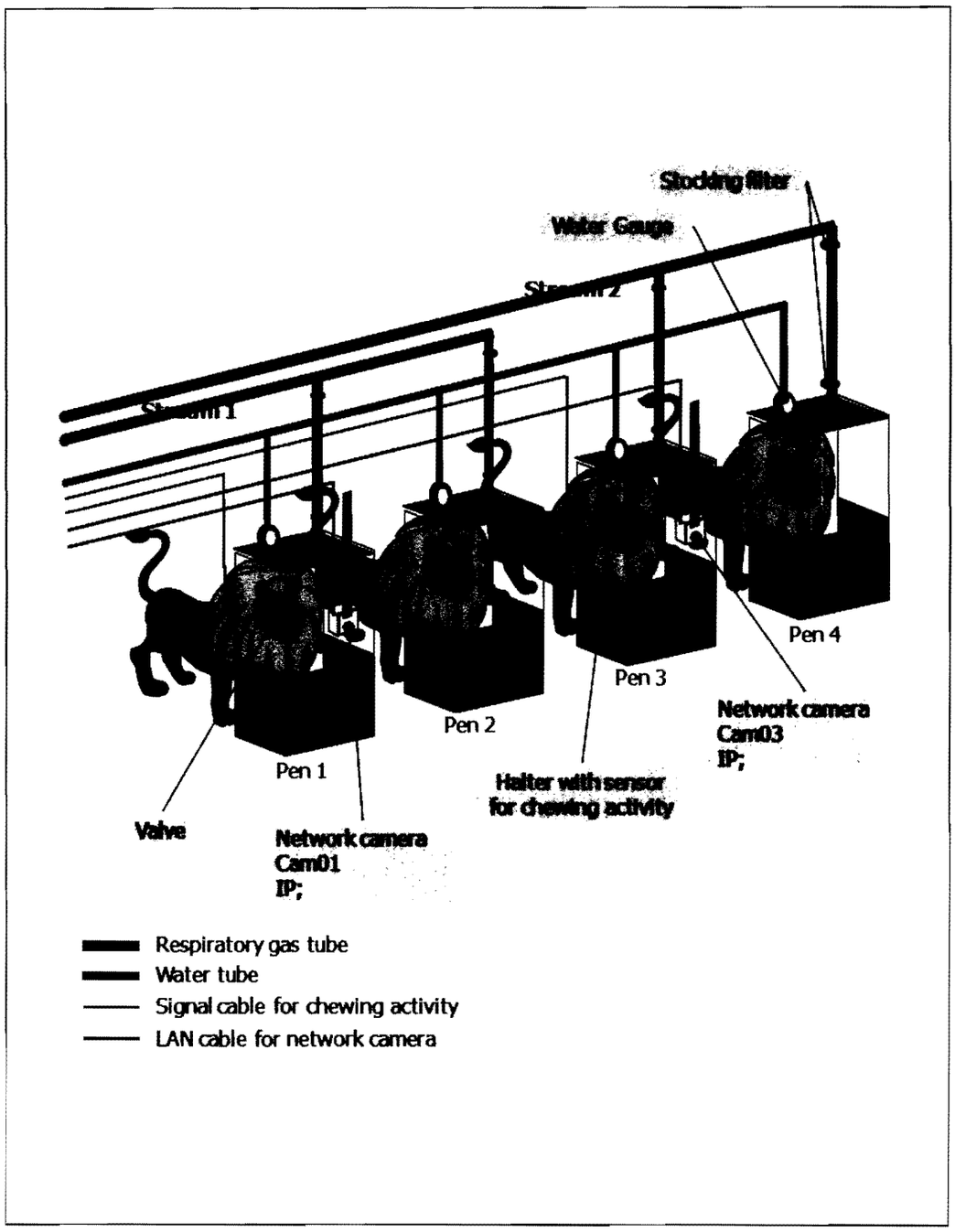
The day changing measurement

9:00	- Stop the Data logging program "TEST_HEAD4." - Stop the Data logging program for chewing activity "Pico Log".	Inside	- PC1 - PC 2
	- Open the door of head cage. - Collect the all residue. - Close the lower door of the head cage. - Change the stream by the valve. - Head cage 1 → Head cage 2 - Head cage 3 → Head cage 4 * Never close both valves at the same time on the stream, to prevent low pressure in the stream tube. - Remove the halters and attach them to the next cattle. - Move the Network cameras to the front of next head cage. - Check the hood, too tight or too loose. - Collect all Feaces & urine on the stall. - Change the Feaces box & urine tank to new one.	Outside	



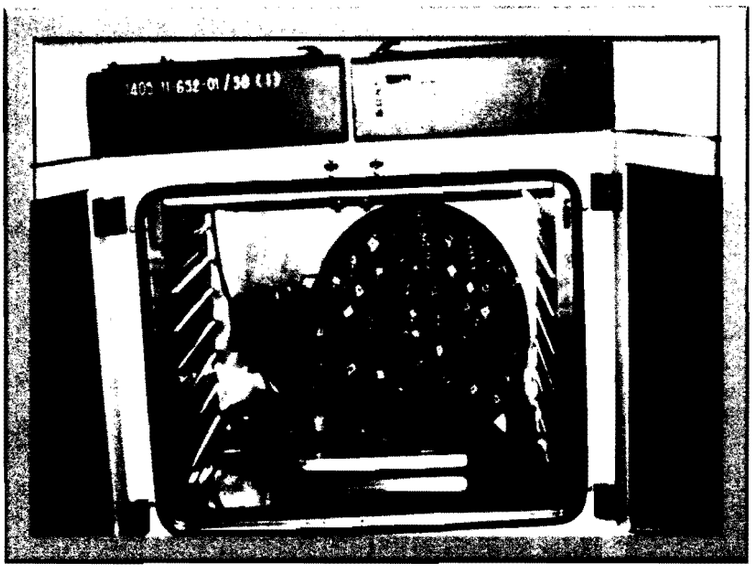
ภาพที่ ผ. 1 ระบบวิเคราะห์การหายใจ (Respiratory analysis system)

ที่มา : Department of Livestock Development (DLD), Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)

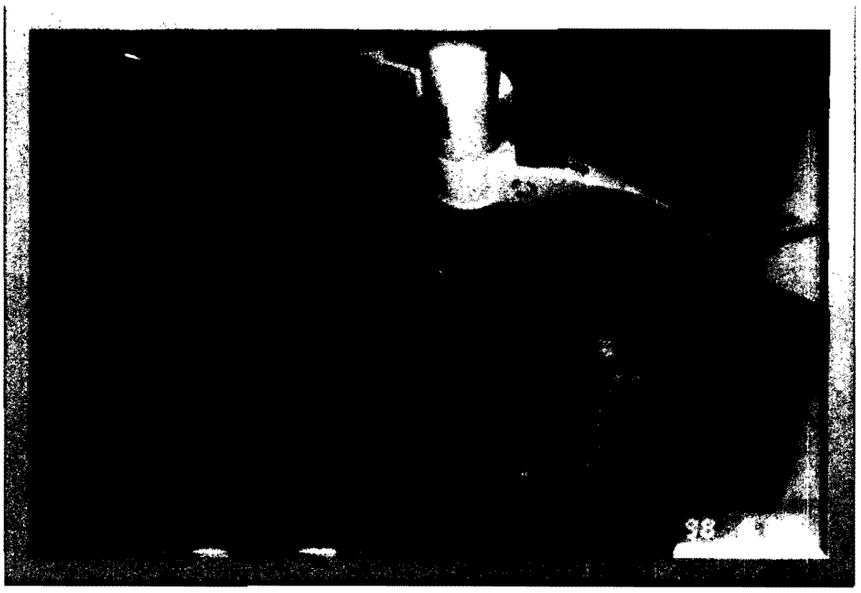


ภาพที่ ผ.2 การติดตั้งระบบท่อวัดก๊าซจากลมหายใจ ท่อน้ำ เครื่องตรวจวัดจำนวนครั้งของการเคี้ยวอาหาร และ กล้องวงจรปิด

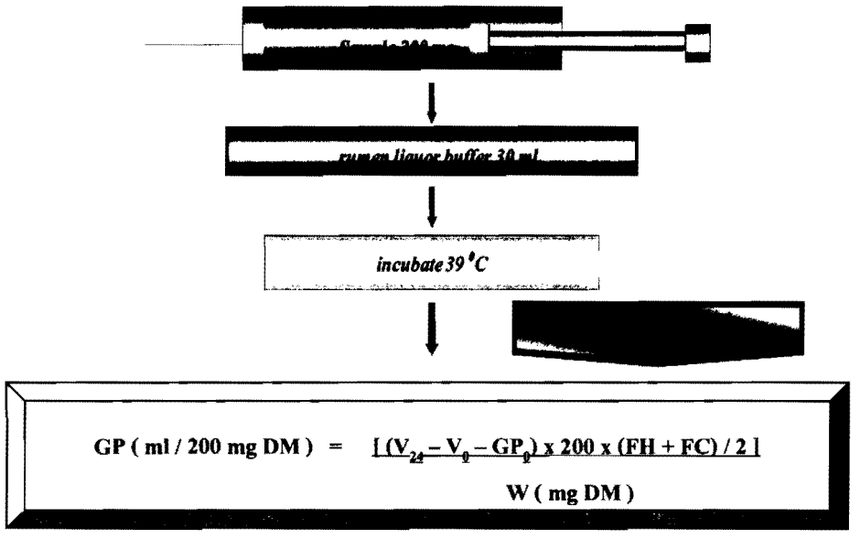
ที่มา : Department of Livestock Development (DLD), Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)



ภาพที่ ผ.3 ตู้บ่ม (Incubator)

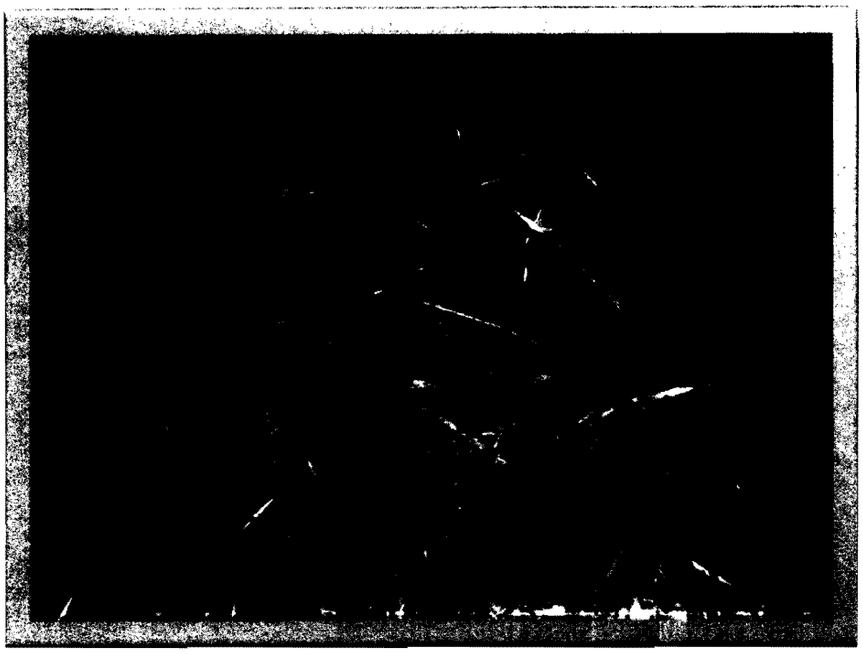


ภาพที่ ผ.4 สารละลาย (media mixture solution)



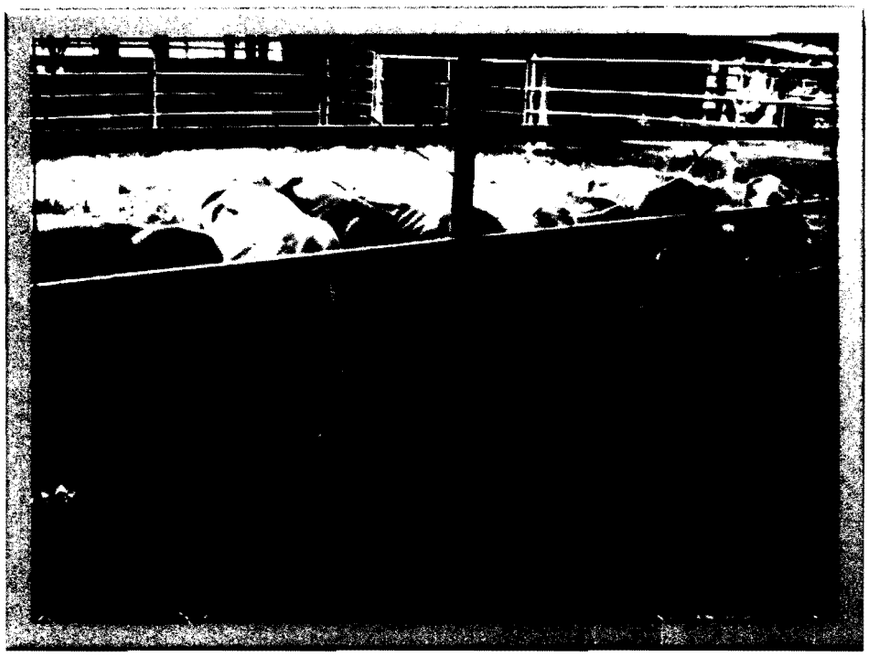
ภาพที่ ผ.5 ขั้นตอน เทคนิคการวัดการผลิตก๊าซ (Gas production technique)

ภาพที่ ผ.6 โคพื้นเมืองไทยเพศผู้ โตเต็มที่ อายุ 3 ปี 6 เดือน



ภาพที่ ผ.7 หญ้า Mulato II แห้ง ที่อายุการตัด 45 วัน

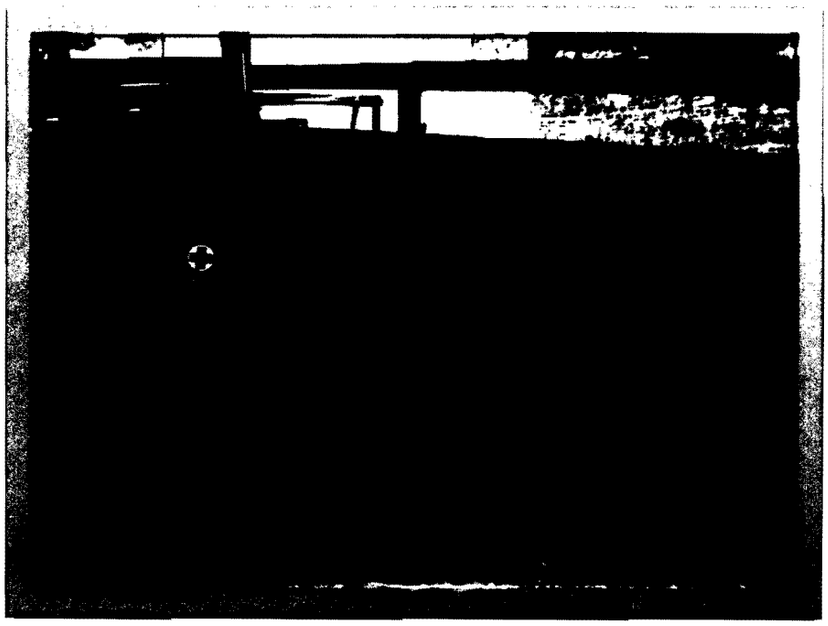
ภาพที่ ผ.8 การสับหญ้า Mulato II แห้งโดยอาศัยเครื่องจักรกล



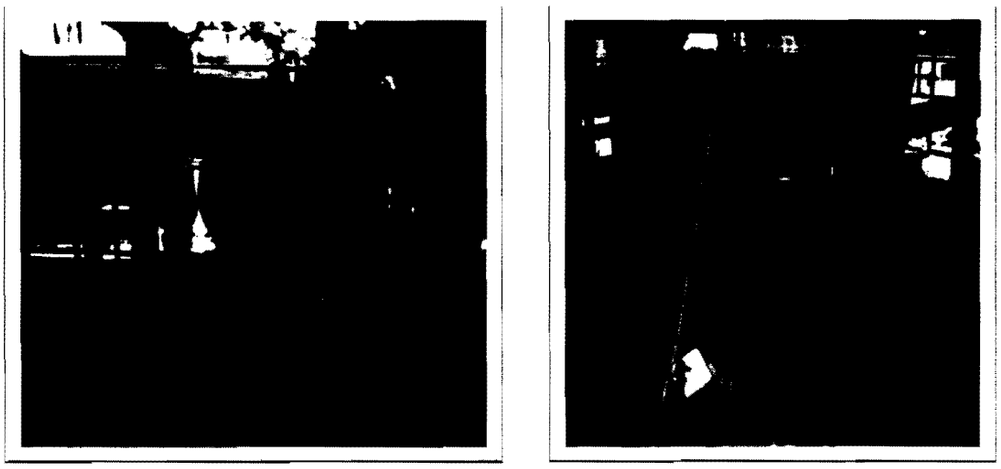
ภาพที่ ผ.9 โคพื้นเมืองไทย เพศผู้ อายุ 12 - 15 เดือน

ภาพที่ ผ.10 การผสมอาหารข้น โดยอาศัยเครื่องผสมอาหาร แบบถังตั้งเกลียวคู่

ภาพที่ ผ.11 การลำเลียงหญ้ารูซี่แห้ง จากสถานีพัฒนาอาหารสัตว์มหาสารคาม ถึง ฟาร์มโคทดลอง ศูนย์วิจัย และพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

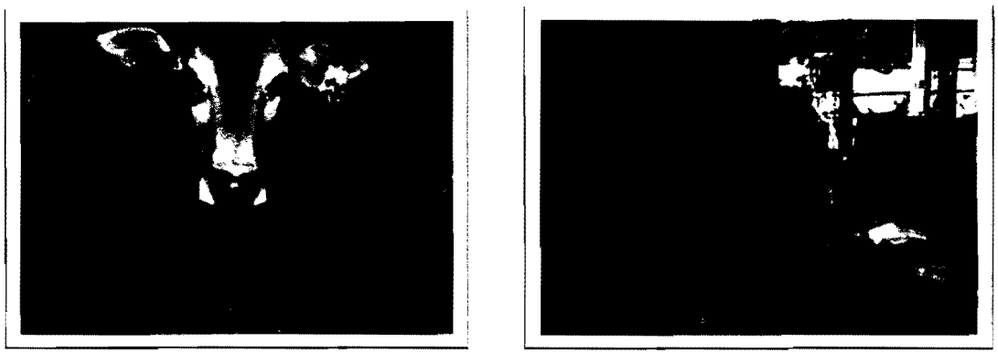


ภาพที่ ผ.12 การสับหญ้ารูซี่แห้ง โดยอาศัยเครื่องจักรกล



ภาพที่ ผ.13 การชั่งน้ำหนักโคทดลอง ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ภาพซ้ายและภาพขวา)

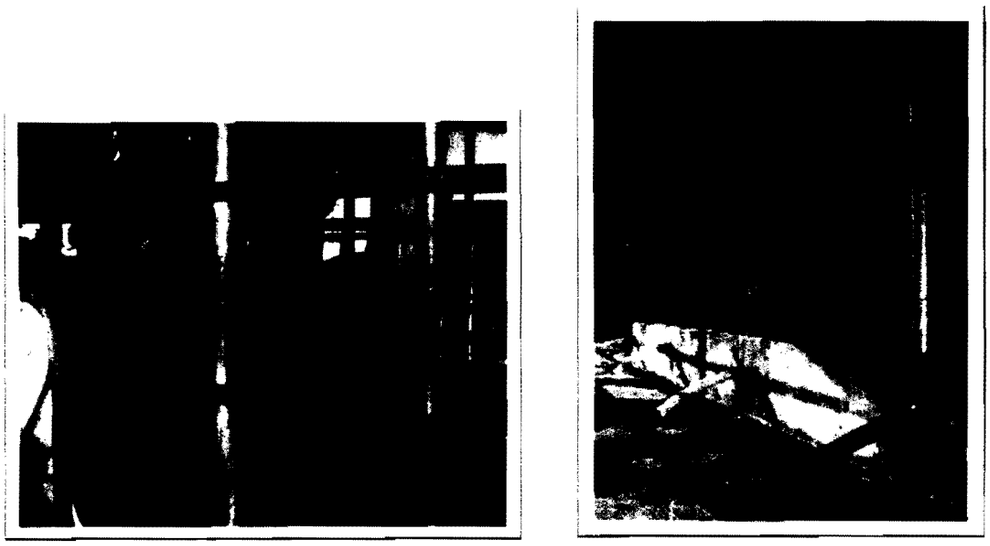
ภาพที่ ผ.14 โคทดลอง เลี้ยงในซองขังเดี่ยว



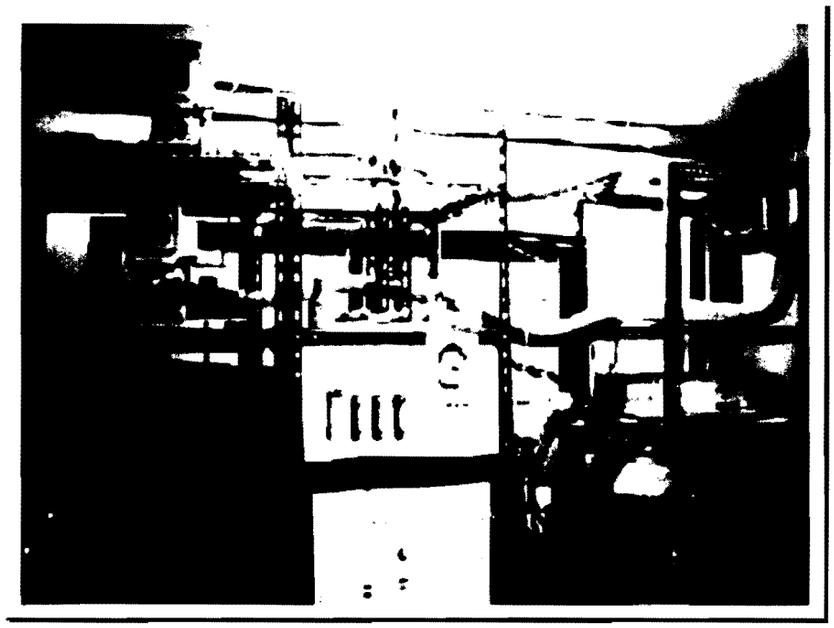
ภาพที่ ผ.15 ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า - ออก (ส่วนหน้า) จะถูกนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) (ภาพซ้ายและภาพขวา)

ที่มา : ห้องวัดก๊าซจากลมหายใจ ฟาร์มโคทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ภาพที่ ผ.16 ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า - ออก (ส่วนหน้า)

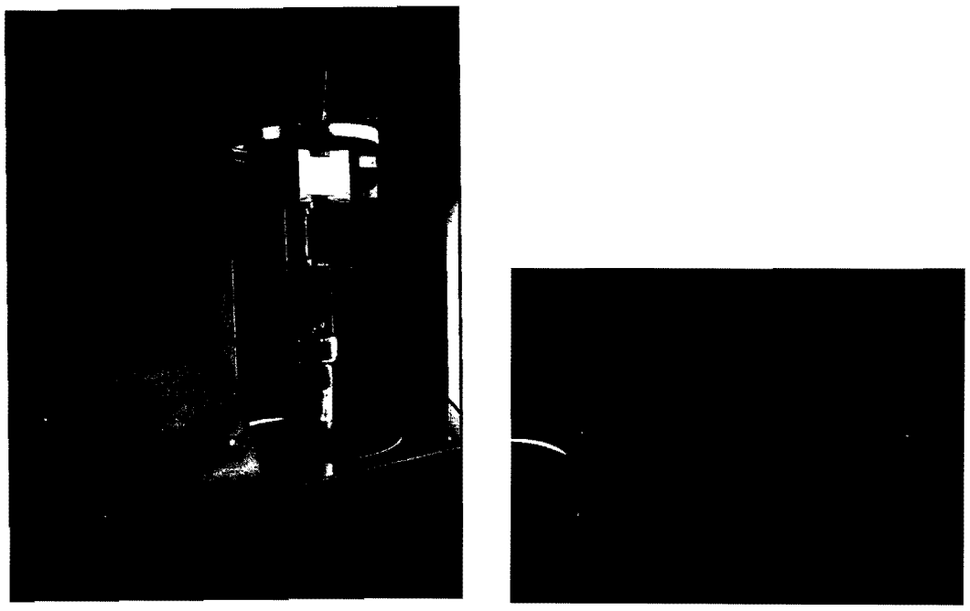


ภาพที่ ผ.17 ระบบห้องวัดการหายใจแบบ Head cage respiration ที่หายใจเข้า – ออก (ส่วนหลัง) (ภาพซ้าย และ ภาพขวา)



ภาพที่ ผ.18 หน่วยวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzing unit) ฟาร์มโคทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ภาพที่ ผ.19 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical analysis)



ภาพที่ ผ.20 การวัดพลังงานในอาหาร และ มูล ด้วยเครื่อง SHIMADZU auto calculating adiabatic bomb calorimeter (SHIMADZU CA – 4PJ, SHIMADZU Corporation, Japan)

ตารางที่ ผ.1 แผนการแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะรูเมน

วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
	1.00	1.00
	2.00	2.00
	3.00	3.00
	4.00	4.00
	5.00	5.00
	6.00	6.00
	7.00	7.00
	8.00	**8.00* (12 hr)**
	9.00	9.00
	10.00	10.00
	11.00	11.00
	12.00	**12.00* (8 hr)**
	13.00	13.00
	14.00	14.00
	15.00	15.00
	16.00	**16.00* (4 hr)**
	17.00	17.00
	18.00	18.00
	19.00	19.00
20.00* (48 hr)	**20.00* (24 hr)**	**20.00 ** เก็บ**
21.00	21.00	21.00
22.00	22.00	22.00
23.00	23.00	23.00
24.00	24.00	24.00

*หย่อนถุงที่ต้องการแช่เป็นเวลา 48, 24, 12, 8 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

**เอาถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะรูเมน

รูปแบบการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน

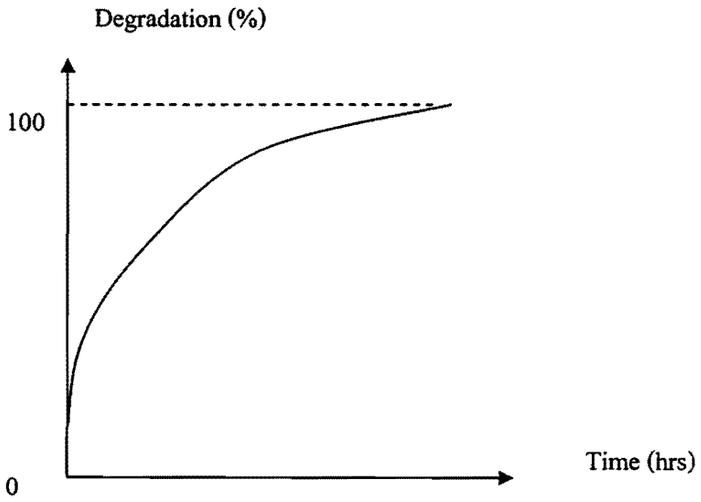
หลังจากที่อาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน องค์ประกอบแต่ละส่วนของอาหารจะมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน ในช่วงแรกส่วนที่ย่อยสลายได้เร็ว ได้แก่ ส่วนที่ละลายได้หรือส่วนที่มีขนาดเล็กมาก จะถูกย่อยสลายทันที ขณะเดียวกันก็มีจุลินทรีย์เข้าไปในถุงไนล่อน เพื่อย่อยสลายส่วนที่ไม่ละลายโดยอาหารที่มีระยะเวลาต้องรอจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย คือ ระยะที่เรียกว่า lag phase

Ørskov, E.R.(1992) ได้อธิบายลักษณะการย่อยสลายของอาหารแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบต่างกันและมีลักษณะการย่อยสลายได้หลายรูปแบบดังต่อไปนี้

1. อาหารส่วนที่ละลายได้ง่าย และไม่มีระยะเวลาที่ต้องรอจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอาหาร ดังนั้นเมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมนก็จะเริ่มย่อยสลายทันที โดยค่าการย่อยสลายจะเริ่มที่ 0 % และอาหารสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ 100 % สมการย่อยสลายคือ

$$P = 100\ (1 - e^{-ct})$$

Degradation curve มีลักษณะดังนี้



ที่มา : Ørskov, E.R. (1992)

2. อาหารมีส่วนที่ละลายได้ แต่ไม่มีระยะเวลาที่ต้องรอจุลินทรีย์เข้าย่อยอาหาร (lag phase) ดังนั้นเมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะมีส่วนที่ละลายได้และย่อยสลายได้ทันที (a) จำนวนหนึ่ง ในขณะเดียวกัน ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (b) จะถูกย่อยสลายได้ทันทีโดยไม่มี lag phase สมการการย่อยสลายคือ

$$P = a + b\,(1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ค่าย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่าง ๆ (%)

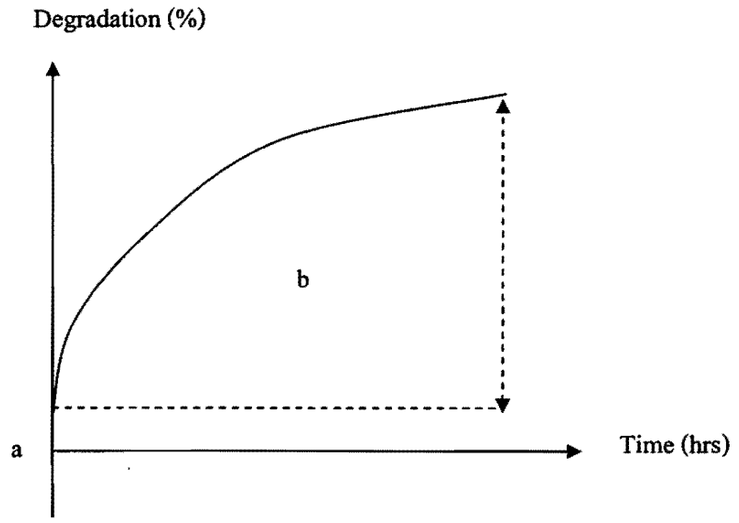
a = ค่าการละลายได้ของ soluble material (%)

b = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (insoluble but fermentable material, %)

c = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate) ของ b

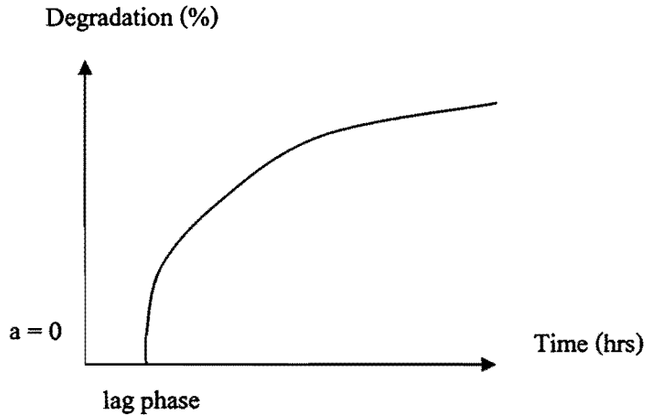
t = ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ (incubated time, hrs)

โดยค่าการย่อยสลายจะไม่ถึง 100% (a + b < 100) ดังนั้นส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ในกระเพาะรูเมนจึงเท่ากับ 100 – (a + b) Degradation curve มีลักษณะดังนี้

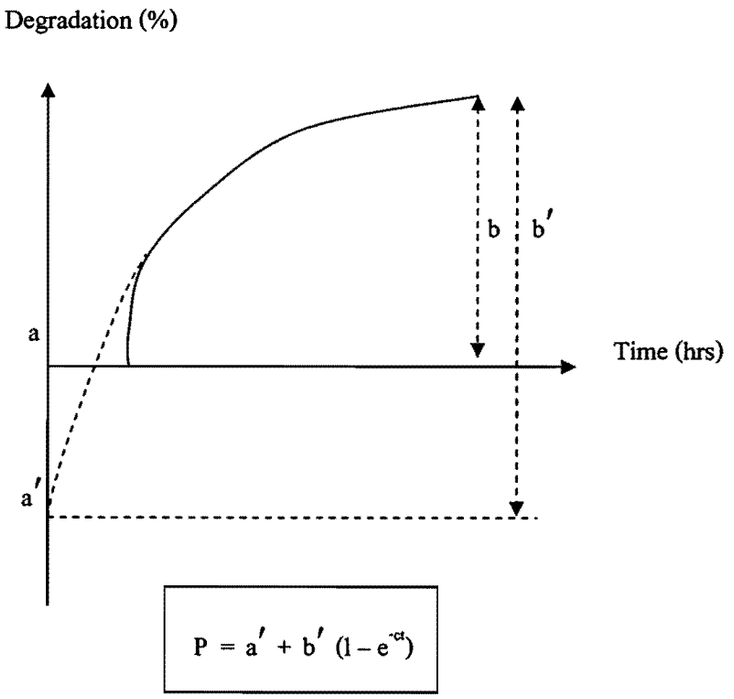


ที่มา : Ørskov, E.R. (1992)

3. อาหารไม่มีส่วนที่ละลายได้ แต่มีระยะเวลาที่จุลินทรีย์ต้องเข้าย่อยสลายอาหาร (lag phase) การย่อยสลายของส่วนที่ไม่ละลาย จะเกิดขึ้นหลังจากระยะ lag phase



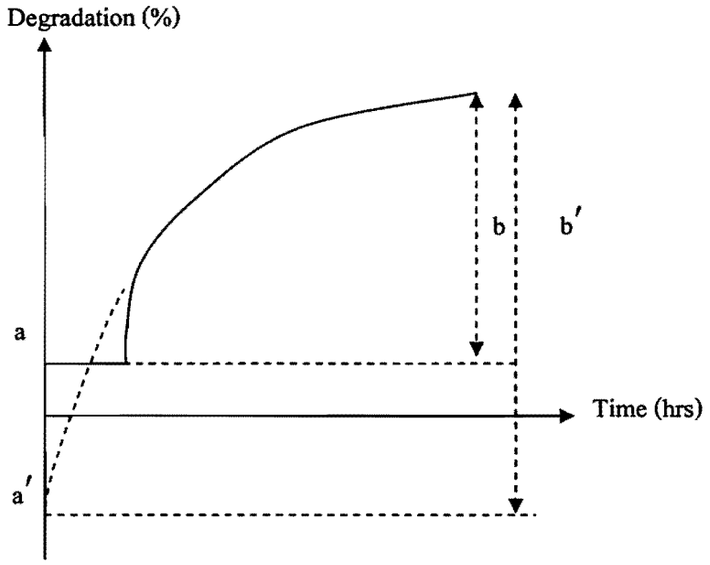
เมื่อลากกราฟมาตัดแกน y ค่า a ที่ได้จึงเปลี่ยนเป็น a' และ มีค่าติดลบ



$$P = a' + b' (1 - e^{-ct})$$

ที่มา : Ørskov, E.R. (1992)

4. อาหารมีทั้งส่วนที่ละลายได้ และ มีช่วงเวลาที่ต้องรอให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอาหาร ดังนั้นจึงมีช่วง lag phase ช่วงหนึ่ง หลังจากนั้น ส่วนที่ไม่ละลายจึงเกิดการย่อยสลาย



$$P = a' + b' (1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่าง ๆ (%)

A = ค่าการละลายได้ของ soluble material (%)

B = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (insoluble but fermentable material, %)

C = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate) ของ b

$b' = (a + b) - a'$

ที่มา : Ørskov, E.R. (1992)

ตารางที่ ผ.2 แผนการทดลองที่ 2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะของหญ้า Mulato II แห้งและเมตาบอลึซึม พลังงานในโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ที่โตเต็มที่ (1 ธ.ค. - 21 ธ.ค. 2550)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4
1/12/07	Sat	1	Adaptation	7.00 weight 9.00 collection period start	W	W	W	W
2/12/07	Sun	2	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
3/12/07	Mon	3	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
4/12/07	Tue	4	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
5/12/07	Wed	5	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
6/12/07	Thu	6	Adaptation	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
7/12/07	Fri	7	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
8/12/07	Sat	8	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
9/12/07	Sun	9	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
10/12/07	Mon	10	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
11/12/07	Tue	11	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
12/12/07	Wed	12	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
13/12/07	Thu	13	Adaptation		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
14/12/07	Fri	14	Adaptation	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
15/12/07	Sat	1	Collection	7.00 weight 9.00 collection period start	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
16/12/07	Son	2	Collection		W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
17/12/07	Mon	3	Collection		W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
18/12/07	Tue	4	Collection		W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
19/12/07	Wed	5	Collection		W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
20/12/07	Thu	6	Collection		W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
21/12/07	Fri	7	Collection	9.00 weight, end period	W,R,G, U,F,Wt, M	W,R,G, U,F,Wt, M	W,R,G, U,F,Wt, M	W,R,G, U,F,Wt, M

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลึซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค.2550 - 22 ก.พ. 2551)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
25/10/07	Thu	1	collection	7.00 weight 9.00collection period start	W	W	W	W	W	W
26/10/07	Fri	2	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
27/10/07	Sat	3	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
28/10/07	Sun	4	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
29/10/07	Mon	5	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
30/10/07	Tue	6	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
31/10/07	Wed	7	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
1/11/07	Thu	8	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
2/11/07	Fri	9	collection	9.00 weight- Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
3/11/07	Sat	10	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
4/11/07	Sun	11	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
5/11/07	Mon	12	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
6/11/07	Tue	13	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
7/11/07	Wed	14	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
8/11/07	Thu	15	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
9/11/07	Fri	16	collection	9.00 weight- Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
10/11/07	Sat	17	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
11/11/07	Son	18	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
12/11/07	Mon	19	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
13/11/07	Tue	20	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
14/11/07	Wed	21	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลึซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค.2550 - 22 ก.พ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
15/11/07	Thu	22	collection	Sampling. FI+R	W	W	W	W	W	W
16/11/07	Fri	23	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
17/11/07	Sat	24	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
18/11/07	Sun	25	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
19/11/07	Mon	26	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
20/11/07	Tue	27	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
21/11/07	Wed	28	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
22/11/07	Thu	29	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
23/11/07	Fri	30	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
24/11/07	Sat	31	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
25/11/07	Sun	32	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
26/11/07	Mon	33	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
27/11/07	Tue	34	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
28/11/07	Wed	35	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
29/11/07	Thu	36	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
30/11/07	Fri	37	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
1/12/07	Sat	38	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
2/12/07	Son	39	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
3/12/07	Mon	40	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
4/12/07	Tue	41	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
5/12/07	Wed	42	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลึซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค.2550 - 22 ก.พ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
6/12/07	Thu	43	collection	Sampling. FI+R	W	W	W	W	W	W
7/12/07	Fri	44	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
8/12/07	Sat	45	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
9/12/07	Sun	46	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
10/12/07	Mon	47	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
11/12/07	Tue	48	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
12/12/07	Wed	49	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
13/12/07	Thu	50	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
14/12/07	Fri	51	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
15/12/07	Sat	52	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
16/12/07	Sun	53	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
17/12/07	Mon	54	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
18/12/07	Tue	55	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
19/12/07	Wed	56	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
20/12/07	Thu	57	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
21/12/07	Fri	58	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
22/12/07	Sat	59	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
23/12/07	Son	60	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
24/12/07	Mon	61	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
25/12/07	Tue	62	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
26/12/07	Wed	63	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลึซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค.2550 - 22 ก.พ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
27/12/07	Thu	64	collection	Sampling. FI+R	W	W	W	W	W	W
28/12/07	Fri	65	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
29/12/07	Sat	66	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
30/12/07	Sun	67	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
31/12/07	Mon	68	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
1/1/08	Tue	69	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
2/1/08	Wed	70	collection		FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
3/1/08	Thu	71	collection	Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
4/1/08	Fri	72	collection	9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
					T1R1	**T2R1**	**T3R1**	**T1R2**		
5/1/08	Sat	73	collection	7.00 weight 9.00collection period start	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
6/1/08	Sun	74	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
7/1/08	Mon	75	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
8/1/08	Tue	76	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
9/1/08	Wed	77	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
10/1/08	Thu	78	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
11/1/08	Fri		collection	9.00 weight-Feed adjust	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
12/1/08	Sat	79			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
13/1/08	Son	80			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค.2550 - 22 ก.พ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
14/1/08	Mon	81			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
15/1/08	Tue	82			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
16/1/08	Wed	83			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
17/1/08	Thu	84			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
					T2R2	**T3R2**	**T1R3**	**T2R3**		
18/1/08	Fri	85	collection	7.00 weight 9.00collection period start	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
19/1/08	Sat	86	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
20/1/08	Sun	87	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
21/1/08	Mon	88	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
22/1/08	Tue	89	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
23/1/08	Wed	90	collection	collection	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
24/1/08	Thu	91	collection	9.00 weight- Feed adjust	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
25/1/08	Fri	92			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
26/1/08	Sat	93			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
27/1/08	Sun	94			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
28/1/08	Mon	95			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลิซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ตค.2550 - 22 กพ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
29/1/08	Tue	96			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
30/1/08	Wed	97			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
					T3R3	**T1R4**	**T2R4**	**T3R4**		
31/1/08	Thu	98	collection	7.00 weight 9.00collection period start	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt	W,R,G, U,F, Wt
1/2/08	Fri	99	collection	collection	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
2/2/08	Sat	100	collection	collection	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
3/2/08	Son	101	collection	collection	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
4/2/08	Mon	102	collection	collection	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
DATE		**Day**	**Exp. period**	**Activity**	**Cattle 1**	**Cattle 2**	**Cattle 3**	**Cattle 4**	**Cattle 5**	**Cattle 6**
5/2/08	Tue	103	collection	collection	W,R,G, U,F,Wt	W,R,G, U,F,Wt	W,R,G, U,F,Wt	W,R,G, U,F,Wt	W,R,G, U,F,Wt	W,R,G, U,F,Wt
6/2/08	Wed	104	collection	9.00 weight, end period	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M	W,R,G, U,F,Wt,M
7/2/08	Sat	105			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
8/2/08	Sun	106		Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
9/2/08	Mon	107		9.00 weight- Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
10/2/08	Tue	108			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
11/2/08	Wed	109			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
12/2/08	Thu	110			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
13/2/08	Wed	111			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ตารางที่ ผ.3 แผนการทดลองที่ 3 การศึกษาเมตาบอลึซึมของพลังงาน และประเมินค่าความ ต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 84 กก. (อายุอยู่ในช่วง 12-15 เดือน) (25 ต.ค. 2550 - 22 ก.พ. 2551) (ต่อ)

W = weight, R = residue, FI = Feed intake, F = Feces, U = Urine, G = gas, Wt = Water, M = Mix sample

DATE		Day	Exp. period	Activity	Cattle 1	Cattle 2	Cattle 3	Cattle 4	Cattle 5	Cattle 6
14/2/08	Thu	112			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
15/2/08	Fri	113		Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
16/2/08	Sat	114		9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
17/2/08	Son	115			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
18/2/08	Mon	116			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
19/2/08	Tue	117			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
20/2/08	Wed	118			FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
21/2/08	Thu	119		Sampling. FI+R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R
22/2/08	Fri	120		9.00 weight-Feed adjust	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R	FI, R

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวจุฑามาศ สิทธิวงศ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2535 การศึกษาเบื้องต้น โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี พ.ศ. 2539 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาสัตวบาล มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พ.ศ. 2544 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) (1st Class Honors) สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2544 - ปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พ.ศ. 2548 - ปัจจุบัน อาจารย์บัณฑิต สาขาการผลิตสัตว์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ทุนการศึกษาและวิจัย	1. ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์ ระดับปริญญาเอก จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี 2. ทุนสนับสนุนการวิจัยนักศึกษา ระดับปริญญาเอก จาก รัฐบาลญี่ปุ่น โดยศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติ แห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Sciences, JIRCAS). Fellowship Program, 2007 – 2008. (Project site type) 3. ทุนสนับสนุนเพื่อการพัฒนาวิชาการระดับ บัณฑิตศึกษา จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผลงานทางวิชาการ

- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2542. การประเมินค่าการย่อยสลายของเปลือกเสาวรสในกระเพาะหมักโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์, โชค มิเกล็ด และ เทอดชัย เวียรศิลป์. 2542. การใช้เปลือกเสาวรสเป็นอาหารโคนม. ประชุมวิชาการครั้งที่ 2 สาขาสัตวบาล/ สัตวศาสตร์/ สัตวแพทย์, 8-10 ธันวาคม 2542, ณ สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2544. คุณค่าทางโภชนะและการใช้เปลือกเสาวรสหมักสำหรับโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมพร ดวนใหญ่ และ จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2546. คุณค่าทางอาหารของใบตองและใบตองแปรรูปแบบต่างๆ, ประชุมวิชาการครั้งที่ 4 สาขาสัตวบาล/สัตวศาสตร์/สัตวแพทย์, 18-19 ธันวาคม 2546, ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2547. การใช้เปอร์เซ็นต์ครีมเพื่อทำนายค่าพลังงาน และไขมันของน้ำนมโค. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์ และ สมพร ดวนใหญ่. 2547. ผลของการใช้อาหารเสริมแร่ธาตุ GT1000 เลี้ยงโคนมต่อปริมาณ และคุณภาพน้ำนม. วารสารสัตว์บก. 11 (132 - 133) : 144 - 147, 156 - 159.
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2547. สัตว์เคี้ยวเอื้องกับการย่อยแป้งในทางเดินอาหาร. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 3 (2) 62 - 68 (2547)
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2547. การประเมินค่าการย่อยได้โดยวิธี *In vitro* Gas production Techniques. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 3 (2) 52 – 61 (2547)
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2547. ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโคนมในสภาพอากาศร้อนพร้อมแนวทางในการแก้ไข. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 3 (1) 49 – 57 (2547)
- จุฑามาศ สิทธิวงศ์. 2547. การใช้เทคนิคถุงไนล่อน. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 3(1) 43 – 48 (2547)
- J. Sitthiwong, C. Mikled, T. Vearasilp, V. Kunaporn and U. ter Meulen, 2001. Nutritive values and utilization of passion fruit peel silage for dairy cows in Thailand, Development : One World Research for a better quality of life. October 9 – 10, 2001. Bonn University Germany.

ผลงานทางวิชาการ (ต่อ)

- J. Sitthiwong, K. Thummasang, M. Hare and W. suriyapat. 2007. Preliminary study on nutritive values of Brachiaria hybrids. Proceeding of International Symposium : The Forages - A Pathway to Prosperity for Smallholder Farmers, March 5 - 7, 2007. Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University Thailand .
- J. Sitthiwong, K. Thummasaeng, T. Nishida, W. Suriyapat and K . Sommart, 2008. Energy and Protein Requirement after Weaning of Thai Native Cattle. Proceeding of International Symposium : Establisment of a Feeding Standard of Beef Cattle and a Feed Database for the Indochinese Peninsula, December 18 -19, 2008.
- J. Sitthiwong, K. Thummasaeng, M. Hare, W. Suriyapat, T. Nishida and M. Otsuka. 2008. The Estimation of Organic matter digestibility and Metabolizable energy of 16 Brachiaria hybrids grass by The Hohenheim gas test techniques. Proceeding of 4th " Research Path ; Innovation for Life " Conference, December 19 - 20, 2008. at Chiang Mai University Thailand.

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ อุบลราชธานี
ถนนราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000.
โทรศัพท์ (045) 352000 ต่อ 1608 Fax. (045) 352088
E – mail: jutamas @ ubru.ac.th และ homepigsweet @ yahoo.co.th