ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E42102

ENERGY UTILIZATION IN THAI NATIVE CATTLE FED SOME TROPICAL FEED SOURCES

MR. PEERAPOT NITPOT

A THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
KHON KAEN UNIVERSITY
2010

b00256156

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E42102

ENERGY UTILIZATION IN THAI NATIVE CATTLE FED SOME TROPICAL FEED SOURCES

THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND
RESEARCH LIBRARY

MR. PEERAPOT NITIPOT

A THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

KHON KAEN UNIVERSITY

2010

ENERGY UTILIZATION IN THAI NATIVE CATTLE FED SOME TROPICAL FEED SOURCES

MR. PEERAPOT NITIPOT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN ANIMAL SCIENCE

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2010

THESIS APPROVAL
KHON KAEN UNIVERSITY
FOR
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ANIMAL SCIENCE

Thesis Title: Energy Utilization in Thai Native Cattle Fed Some Tropical Feed Sources

Author: Mr. Peerapot Nitipot

Thesis Examination Committee:

Assoc. Prof. Dr. Suradej Pholsen	Chairperson
Assoc. Prof. Dr. Worapong Suriyapat	Member
Assoc. Prof. Dr. Kritapon Sommart	Member
Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda	Member

Thesis Advisors:

..... Advisor
(Assoc. Prof. Dr. Kritapon Sommart)

..... Co-Advisor
(Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda)

.....
(Assoc. Prof. Dr. Lampang Manmart)
Dean, Graduate School

.....
(Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee)
Dean, Faculty of Agriculture

Copyright of Khon Kaen University

พีรพจน์ นิติพจน์. 2553. **การใช้ประโยชน์ของพลังงานในโคพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ. ดร.กฤตพล สมมาตย์,
รศ. ดร. วิโรจน์ ภัทรจินดา

บทคัดย่อ

E 42102

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนะและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในวัตถุดิบอาหารท้องถิ่นในโคพื้นเมืองไทย และ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตในโคพื้นเมืองไทยที่โตเต็มวัยที่เลี้ยงในสภาพเขตร้อนของประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง

การทดลองที่ 1: การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนะเปรียบเทียบในด้าน องค์ประกอบทางเคมี จลศาสตร์การผลิตแก๊ส ความสามารถในการย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตร้อนรวม 6 กลุ่มได้แก่ 1) หญ้าพืชอาหารสัตว์และพืชอาหารสัตว์ทางเลือก 2) ถั่วพืชอาหารสัตว์ 3) แหล่งวัตถุดิบที่เป็นอาหารพลังงาน 4) แหล่งวัตถุดิบที่เป็นอาหารโปรตีน 5) แหล่งวัตถุดิบประเภทเมล็ดพืชน้ำมัน และ 6) แหล่งผลพลอยได้ที่มีเยื่อใยสูง วัตถุดิบเหล่านี้ได้ถูกวิเคราะห์ประเมินโดยแบ่งออกเป็น6 การทดลอง(การทดลองที่ 3 ถึง 6) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ค่าองค์ประกอบทางเคมี จลศาสตร์การผลิตแก๊ส ความสามารถในการย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีความผันแปรระหว่างกลุ่มและชนิดของวัตถุดิบ ในกลุ่มหญ้าพืชอาหารสัตว์และพืชอาหารสัตว์ทางเลือก พบว่าหญ้ารูซี่ *(Brachiaria ruziziensis)* ตัดที่อายุ 30 วัน และ หญ้าแพงโกล่า *(Digitaria eriantha)* มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด อ้อย *(Saccharum officinarum)* ทั้งต้น และ ข้าวฟ่างหวาน *(Sorghum bicolor)* มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ทางเลือกสำหรับโคเนื้อและโคนม ในกลุ่มถั่วพืชอาหารสัตว์ พบว่า ถั่วคาวาลเคดตัดที่อายุ 30 วัน มีค่าความสามารถในการย่อยได้ในหลอดทดลองสูงที่สุด ในขณะที่มันเส้นเปลือกมันสำปะหลัง และ กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงที่สุดในการใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงาน สำหรับโคเนื้อและโคนม กากถั่วเหลืองมีศักยภาพในการหมัก และ มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุดในกลุ่มแหล่งวัตถุดิบอาหารโปรตีน เมล็ดถั่วเหลืองมีศักยภาพในการผลิตแก๊ส และ ค่าค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุดในกลุ่มแหล่งวัตถุดิบประเภทเมล็ดพืช

E 42102

น้ำมัน ส่วนกลุ่มของแหล่งผลพลอยได้ที่มีเยื่อใยสูง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กากมะพร้าวมีศักยภาพของการย่อยได้ของเยื่อใย และ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด

การทดลองที่ 2: การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด ร่วมกับการศึกษาเมแทโบลิซึมและค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคพื้นเมืองไทยที่โตเต็มวัยโดยใช้ด้วยวิธีการวัดพลังงานของสัตว์จากการหายใจ โดยใช้โคพื้นเมืองไทยเพศผู้ตอน จำนวน 4 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 185 (±16) กิโลกรัม) โคได้รับอาหารทดลอง 4 สูตร ตามแผนการทดลอง 4 x 4 ลาตินสแควร์ ได้แก่ T_1) 98.69 % หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) แห้งสับ + 1.31 % ยูเรีย T_2)40.00 % หญ้าแพงโกล่าแห้งสับ + 58.34 % มันเส้น + 1.66 % ยูเรีย T_3)30.00 % หญ้าแพงโกล่าแห้งสับ + 54.81 % มันเส้น + 15.00 % กากเบียร์แห้ง + 0.19 % ยูเรีย และT_4)20.00 % หญ้าแพงโกล่าแห้งสับ + 21.12 % มันเส้น + 57 % กากมันสำปะหลัง + 1.88 % ยูเรีย % กำหนดให้โคได้รับอาหารทุกสูตรน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.5 %ของน้ำหนักตัว ผลการทดลองพบว่า หญ้าแพงโกล่า แห้ง มันเส้น กากเบียร์แห้ง และ กากมันสำปะหลัง มีค่าโภชนะที่ย่อยได้รวมทั้งหมด (Total Digestible Nutrients; TDN) เท่ากับ 48.65, 82.19, 58.91 และ 71.52 %ตามลำดับ และมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy; ME) เท่ากับ 6.42, 11.43, 10.07 และ 11.20 MJ/ kg DM ตามลำดับ ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กิน (ME Intake; MEI) และพลังงานที่เก็บกัก (Energy Retention; ER) ของโคเนื้อพื้นเมืองไทยมีนัยสำคัญยิ่งในทางสถิติ และให้ข้อมูลค่าความร้อนที่ผลิตขึ้นในขณะอดอาหาร (Fasting Heat Production; FHP) และ ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME requirement for maintenance; ME_m) และพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (Net energy requirement for maintenance; NE_m) เท่ากับ 314 และ 509 กิโลจูล/ กิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก/วัน (kJ/kg $BW^{0.75}$/d) ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (k_m; k_m = FHP/ME_m) เท่ากับ 0.616

การเลี้ยงโคด้วยมันเส้น กากมันสำปะหลัง หรือ กากเบียร์แห้ง ร่วมกับการให้หญ้าแพงโกล่าแห้งเป็นอาหารหยาบพื้นฐานที่ระดับการดำรงชีพ สามารถปรับปรุงความสามารถในการกักเก็บไนโตรเจนในโคเนื้อพื้นเมืองไทย การลดสัดส่วนของหญ้าแพงโกล่าแห้งในสูตรอาหารลงทำให้ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลางลดลง แต่ทำให้ค่าเวลาของการเคี้ยวอาหารรวมทั้งหมดต่อปริมาณเยื่อใยเพิ่มสูงขึ้น นอกเหนือจากนั้นแล้วยังไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก

E 42102

การทดลองที่ 3: การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตในโคเนื้ออินเดียด้วยวิธีการวิเคราะห์อภิมาน (a meta-analysis) จากข้อมูลการทดลองให้อาหารระยะยาวและการทดลองวัดค่าพลังงานจากการวัดการหายใจ โดยข้อมูลค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI) และค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) ของโคเนื้ออินเดียได้ถูกนำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย 1)โคเนื้ออินเดียรวมทุกพันธุ์ 106 ชุดข้อมูล 2) โคเนื้ออินเดียในต่างประเทศ 49 ชุดข้อมูล 3) โคเนื้ออินเดียในประเทศไทย 4) โคพื้นเมืองไทย 20 ชุดข้อมูล 5) โคบราห์มันในประเทศไทย 15 ชุดข้อมูล 6) โคบราห์มันลูกผสมในประเทศไทย 22 ชุดข้อมูล ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ในหน่วยกรัม/ กิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก/ วัน (ADG, g/kg $BW^{0.75}$) และ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กิน (MEI, kJ/kg $BW^{0.75}$) ให้สมการเส้นตรง MEI = a + bADG พบว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของโคเนื้ออินเดียรวมทุกพันธุ์ โคเนื้ออินเดียในต่างประเทศ โคเนื้ออินเดียในประเทศไทย โคพื้นเมืองไทย โคบราห์มันในประเทศไทย และโคบราห์มันลูกผสมในประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 518.85, 465.37, 454.37, 478.77, 549.39 และ 546.08 kJ/kg$BW^{0.75}$/d ตามลำดับ และค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (ME requirement for gain ME_g) 1 g/kg$BW^{0.75}$/d มีค่าเท่ากับ 31.60, 41.47, 25.92, 31.30, 21.39 และ 30.55 kJ/kg$BW^{0.75}$/d ตามลำดับ

Peerapot Nitipot. 2010. **Energy Utilization in Thai Native Cattle Fed Some Tropical Feed Sources.** Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisors: Assoc. Prof. Dr. Kritapon Sommart,
Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda

ABSTRACT

E 42102

The objectives of this research were to determine nutritive value and metabolizable energy value of some tropical feedstuffs, and to quantify metabolizable energy requirements for maintenance and for gain of mature Thai native cattle (*Bos indicus*) raised under humid tropical conditions in Thailand. This research was divided into 3 experiments, as follows:

Experiment 1: The objective here was to determine the chemical composition, kinetics of gas production, *in vitro* digestibility and metabolizable energy content of tropical feedstuffs using *in vitro* gas production technique. Feedstuffs were divided into 6 groups, 1) forage grasses and alternative forages 2) forage legumes 3) energy feed sources 4) protein source feedstuffs 5) oilseeds and 6) high fiber by-product. These groups of feedstuffs were evaluated in 6 experiments (Experiment 1.1 to 1.6). The results indicated that the chemical composition, digestibility and metabolizable energy (ME) content of feedstuffs varied among groups and feedstuffs. In the forage grasses and alternative forages, the 30 day cutting interval (dci) of Ruzi grass and Pangola grass showed the highest estimated metabolizable energy. Whole sugarcane and sweet sorghum are high potential alternative roughage sources for beef and dairy cattle. For forage legumes, the 30 -dci Cavalcade had the highest *in vitro* digestibility. Cassava chip, cassava pulp and cassava peel were the best potential energy sources for beef and dairy cattle. Soybean meal demonstrated the highest potential of fermentation and estimated metabolizable energy in protein source feedstuffs. Soybean seed demonstrated the highest potential extent of gas production and estimated metabolizable energy. In the high fiber by-product feedstuffs, the results demonstrated that coconut meal had highest potential of fiber digestibility and calculated metabolizable energy.

E 42102

Experiment 2: The objective of this work was to investigate ME value of some local tropical feedstuffs with an emphasis on energy metabolism and requirement for maintenance in Thai native beef cattle using open-circuit indirect respiration calorimetry method. Four mature Thai native beef steers, average body weight (BW) 185 ±16 kg, were used. The animals were fed four dietary treatments in a 4 x 4 Latin Square Design with total mixed rations as follows: T_1) 98.69% Pangola grass *(Digitaria eriantha)* hay with 1.31% urea, T_2) 40% of Pangola grass hay with 58.34% of cassava chip and 1.66% Urea, T_3) 30% of Pangola grass hay with 54.81% of cassava chip 15% of brewery waste and 0.19% of urea, and T_4) 20% of Pangola grass hay with 21.12% of cassava chip 57 % of cassava pulp and 1.88% of urea. Steers were individually housed and fed in metabolism crates after acclimation and achievement of 1.5 % of BW dry matter intake. Nutrient digestibility and ME values of each feedstuff were determined following by-difference methodology. Total digestible nutrients (TDN) of Pangola grass hay, cassava chip, brewery waste, and cassava pulp was 48.65, 82.19, 58.91 and 71.52 % respectively. The ME content was 6.42, 12.01, 10.07 and 10.89 MJ/ kg DM, respectively. A highly significant linear relationship from regressing MEI against ER in Thai native cattle was obtained. Thus, an estimate of FHP and ME_m was 314 and 509 kJ/kg $BW^{0.75}$/d, respectively. Results suggest that ME utilization efficiency for maintenance (k_m; k_m = FHP/ME_m) of Thai native cattle is 0.616.

Feeding cassava chip, cassava pulp or brewery waste with a Pangola grass hay based diet at maintenance level improved N retention in Thai native beef cattle. Decreasing Pangola grass hay in the ration decreased NDF content but increased time spent chewing per kg of fiber intake. There was almost no effect on ruminal fermentation.

Experiment 3: The objective of this study was to perform a meta-analysis to determine energy requirements for maintenance and growth of *Bos indicus* cattle from independent studies that used the feeding trial and indirect-calorimetry method. The MEI and ADG of *Bos indicus* cattle used in this analysis include 106 datasets which were separated into 6 types of cattle as following; 1) 106 datasets of global *Bos indicus*, 2). 49 datasets of *Bos indicus* raised outside of Thailand, 3) 57 datasets of Thai *Bos indicus*, 4) 20 datasets of Thai native cattle, 5) 15 datasets of Thai Brahman, and 6) 22 datasets of Thai Brahman crossbred.

E 42102

The ADG (g/kg $BW^{0.75}$) was regressed against MEI (kJ/kg $BW^{0.75}$) to obtain linear regression equation as follows; MEI = a + bADG. It found that ME_m of global *Bos indicus* beef cattle, *Bos indicus* beef cattle raised outside of Thailand, *Bos indicus* beef cattle raised in Thailand, Thai native cattle, Brahman beef cattle raised in Thailand, and Brahman crossbred beef cattle raised in Thailand was 518.85, 465.37, 454.37, 478.77, 549.39 and 546.08 kJ/kg$BW^{0.75}$/d, respectively and ME_g for 1 g/kg$BW^{0.75}$/d of ADG was 31.60, 41.47, 25.92, 31.30, 21.39 and 30.55 kJ/kg$BW^{0.75}$/d, respectively. Data suggest that ME_m and ME_g are highly variable, depending on their provenance, and their genetic makeup.

DEDICATION

I wish to dedicate this thesis to my beloved parents Mr. Kitti and Mrs.Panorm Nitipot and respected teachers and advisors who gave me the knowledge and experience and I also wish to dedicate it to all animals used in this research.

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all I would like to express my appreciation and sincere thanks to Assoc. Prof. Dr. Kritapon Sommart for his supervision and friendliness during my period of study. My appreciation and gratitude are also extended to Assoc. Prof. Dr.Virote Pattarajinda and members of the advisory committee, for their advice, suggestions and comments during the course of my work and in the preparation of my thesis. My appreciation and sincere thanks to Assoc. Prof. Dr. Suradej Pholsen and Assoc. Prof. Dr. Worapong Suriyapat members of examination committee, for their review and comments in my work. I wish to sincerely thank Mr. Norman Mangnall at Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, for English editing my thesis.

I wish to sincerely thank Rajamangala University of Technology Isan Kalasin Campus for providing me a scholarship. Particular thanks are due to Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University (KKU) for their generous contributions towards the funding and facilities of the programme which made this thesis possible. Futhermore, thanks are also due to all my colleagues and friends in the Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University for their assistance and friendship during my study.

Thanks are also due to Khon Kaen Animal Nutrition Research and Development Center (KKANRDC) In addition, Mr. Chirawat Khemsawat, Mr. Somchit Indramanee, Mr. Supachai Udchachon, Mr. Ittiphon Phaowphaisal, Mr. Samran Wijitphan, Mrs. Pimpaporn Pholsen, Mrs. Rumphrai Narmsilee, senior researcher and the technical laboratories staff at Animal Nutrition Division, Department of Livestock Development (DLD) of Thailand for provision of facilities and assistance during the experimental work.

I would like to express my appreciation and sincere thanks to Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) which gave me the opportunity to participate in the Visiting Research Fellowship Program 2006 (Project Site Type), which I appreciated for the good planning and organization of the program. Additional thanks to JIRCAS President and all staff or people whom I cannot mention for their support, hard work and friendship. Special thanks are also to Dr. Tomoyuki Suzuki, Dr. Takehiro Nishida, Dr. Makoto Otsuka and Dr. Akio Takenaka for their organization during my stay which made the experiment possible as well as being good friends.

I personally would also like to express sincere gratitude to the following persons: my wife, Mrs. Naowarat Nitipot, and my dauthers for their encouragement for my work, Mr. Anan Chaokaur, Mr. Arun Phromloungsri, Miss Wantanee Polviset, Mrs. Natthamon Tangjitwattanachai and graduate student under Sustainable Thai Beef, Dairy and Native Cattle Productivity Improvement Technology Research Program for their simplicity, generosity, hospitality, providence, sacrifice, cheerfulness, and friendship during my study.

I respectfully express my deepest gratitude to my beloved parents, Kitti and Panorm Nitipot and all my relatives for their support and encouragement for this study.

Peerapot Nitipot

TABLE OF CONTENTS

		Page
ABSTRACT (IN THAI)		i
ABSTRACT (IN ENGLISH)		iv
DEDICATION		vii
ACKNOWLEDGEMENTS		viii
LIST OF TABLES		xi
LIST OF FIGURES		xiv
LIST OF ABBREVIATIONS		xvi
CHAPTER I	BACKGROUND	1
	1.1 Introduction	1
	1.2 Objectives	3
	1.3 Anticipated Outcome	3
	1.4 The Conceptual Frameworks	4
CHAPTER II	LITERATURE REVIEWS	5
	2.1 Overview of beef cattle production	5
	2.2 Ruminant nutrition and feeding	9
	2.3 Tropical feed resources and utilizations	10
	2.4 Ruminant feed evaluation system	11
	2.5 Energy system	21
	2.6 Energy utilization in beef cattle	24
	2.7 Method for measuring heat production and energy retention	26
CHAPTER III	EXPERIMENT I: NUTRITIVE EVALUATION OF SOME TROPICAL FEEDSTUFFS	30
	3.1 EXPERIMENT 1.1: NUTRITIVE EVALUATION OF SOME TROPICAL FORAGE GRASS AND ALTERNATIVE FORAGE FEEDSTUFFS	30
	3.2 EXPERIMENT 1.2: NUTRITIVE EVALUATION OF TROPICAL FORAGE LEGUME FEEDSTUFFS	45

TABLE OF CONTENTS (Continued)

		Page
	3.3 EXPERIMENT 1.3: NUTRITIVE EVALUATION OF ENERGY SOURCE FEEDSTUFFS	54
	3.4 EXPERIMENT 1.4: NUTRITIVE EVALUATION OF PROTEIN SOURCE FEEDSTUFFS	63
	3.5 EXPERIMENT 1.5: NUTRITIVE EVALUATION OF WHOLE OILSEED FEEDSTUFFS	72
	3.6 EXPERIMENT 1.6: NUTRITIVE EVALUATION OF HIGH FIBER BY-PRODUCT FEEDSTUFFS	81
CHAPTER IV	EXPERIMENT II: A STUDY OF ENERGY UTILIZATION IN THAI NATIVE CATTLE FED TROPICAL FEEDS	91
	4.1 Introduction	91
	4.2 Materials and methods	92
	4.3 Results and discussion	96
	4.4 Conclusion	120
CHAPTER V	EXPERIMENT III: METABOLIZABLE ENERGY REQUIREMENT FOR MAINTENANCE AND GAIN OF *Bos indicus* BEEF CATTLE: A META-ANALYSIS	122
	5.1 Introduction	122
	5.2 Materials and methods	123
	5.3 Results and discussion	125
	5.4 Conclusions	135
CHAPTER VI	GENERAL CONCLUSION	136
REFERENCES		139
APPENDIX		162
	APPENDIX A AGROCLIMATOLOGICAL DATA	163
	APPENDIX B EXTENTION DATA APPLYING TO RECOMMEND METABOLIZABLE ENERGY (ME) REQUIREMENTS FOR MAINTENANCE AND GROWTH OF SOME BEEF TYPES	165
CURRICULUM VITAE		168

LIST OF TABLES

		Page
Table 2.1	Cattle population in some regions of the world from 1999 to 2008 (million head)	6
Table 2.2	Cattle population in some countries in South-East Asia from 1999 to 2008 (million head)	6
Table 2.3	Ruminant livestock population in Thailand from 1999 to 2008 (head)	7
Table 2.4	The database of beef cattle population in various regions of Thailand from 1999 to 2009 (head)	8
Table 2.5	The database of Thai native cattle and exotic purebred plus crossbred beef cattle population in Thailand, from 1999 to 2008 (head)	9
Table 3.1.1	Chemical composition of forage grasses and alternative forages	36
Table 3.1.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of forage grasses and alternative forages	40
Table 3.2.1	Chemical composition of selected forage legume sources	50
Table 3.2.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of selected forage legume feedstuffs	51
Table 3.3.1	Chemical compositions of energy feed sources	59
Table 3.3.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of energy feed sources	60
Table 3.4.1	Chemical composition of protein source feedstuffs	68
Table 3.4.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of protein source feedstuffs	69
Table 3.5.1	Chemical composition of selected oilseeds	77
Table 3.5.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of selected oilseeds	78
Table 3.6.1	Chemical composition of high fiber by-product feedstuffs	85
Table 3.6.2	*In vitro* digestibility, gas production kinetics and calculated ME of high fiber by-product feedstuffs	87

LIST OF TABLES (Continued)

		Page
Table 4.1	Chemical composition of feedstuffs	96
Table 4.2	Feed formulation, chemical composition and energy of dietary treatments	97
Table 4.3	Body weight, energy content of dietary treatment, feed and nutrient intake, and energy intake of Thai native beef cattle in dietary treatments periods and fasting periods	99
Table 4.4	Body weight and energy balance of Thai native beef cattle in feeding dietary treatment periods and fasting periods	101
Table 4.5	Body weight, energy intake and energy efficiency of Thai native beef cattle in dietary treatment periods and fasting period	103
Table 4.6	Digestibility, energy content and metabolizability of feedstuffs	106
Table 4.7	Body weight, energy intake, heat production and methane production of Thai native beef cattle in dietary treatments	107
Table 4.8	Comparison of metabolizable energy requirement for maintenance (ME_m) of cattle	110
Table 4.9	Nitrogen metabolism in Thai native beef cattle fed dietary treatments	112
Table 4.10	Water consumption and eating behavior in Thai native beef cattle fed dietary treatments	115
Table 4.11	Ruminal fluid pH, ammonia nitrogen (NH_3-N) and total volatile fatty acids (TVFAs) concentration at 0, 3 and 6 hour (h) post-feeding in Thai native beef cattle fed dietary treatments	118
Table 5.1	Summary of database for prediction of ME_m and ME_g of global *Bos indicus*, *Bos indicus* outside of Thailand, Thai *Bos indicus*, Thai native cattle, Thai Brahman and Thai Brahman crossbred; means, standard deviation (SD), minimum and maximum value of biological characteristic.	126

LIST OF TABLES (Continued)

		Page
Table 5.2	Statistical parameters of obtained equations	128
Table 5.3	Prediction accuracy and precision evaluation of obtained equations	129
Table 5.4	Metabolizable energy requirement for maintenance (ME_m) of beef cattle of different breed, growing stage, sex, body weight and method of determination	133
Appendix A Table 1	Agroclimatological data of Experiment II, from January – May 2006 (Thaphra Agromet Station, 2006)[1/].	164
Appendix B Table 1	Metabolizable energy (ME) requirements for *Bos indicus* cattle raised in Thailand (including of Thai native cattle, Brahman and Brahman crossbred)	166
Appendix B Table 2	Metabolizable energy (ME) requirements for Thai native cattle in Thailand	166
Appendix B Table 3	Metabolizable energy (ME) requirements for Brahman cattle in Thailand	167
Appendix B Table 4	Metabolizable energy (ME) requirements for Brahman crossbreed cattle in Thailand	167

LIST OF FIGURES

		Page
Figure 2.1	The utilization of food energy during digestion and metabolism by animal	23
Figure 2.2	The relation between energy balance, metabolizable energy (ME) intake, fasting metabolism, maintenance, and gain.	25
Figure 2.3.	Partitioning of ME intake into recovered energy and heat production and the components of heat production.	25
Figure 3.1.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of selected forage grass feedstuffs	43
Figure 3.2.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of selected forage legume feedstuffs.	52
Figure 3.3.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of selected energy feed sources	61
Figure 3.4.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of protein source feedstuffs.	70
Figure 3.5.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of selected oilseeds.	79
Figure 3.6.1	Cumulative gas volume estimated by $y = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ (ml/0.5g DM substrate) throughout 96 h of incubation of high fiber by-product feedstuffs.	89
Figure 4.1	The relationship between metabolizable energy intake and energy retention.	109
Figure 4.2	Effect of dietary treatment on ruminal pH at 0, 3 and 6 hr post-feeding.	119
Figure 4.3	Effect of dietary treatment on ruminal NH_3-N concentration (mg %) at 0, 3 and 6 hr post-feeding.	119

LIST OF FIGURES (Continued)

		Page
Figure 4.4	Effect of dietary treatment on ruminal total volatile fatty acid (TVFAs) concentration (mM) at 0, 3 and 6 hr post-feeding.	120
Figure 5.1	Relationship between average daily gain (ADG, g/ kgBW$^{0.75}$/d) and metabolizable energy intake (MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d) of global *Bos indicus* under study	130
Figure 5.2	Relationship between average daily gain (ADG, g/ kgBW$^{0.75}$/d) and metabolizable energy intake (MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d) of *Bos indicus* raised outside of Thailand (♦, solid line) and Thai *Bos indicus* (■, dash line)	131
Figure 5.3	Relationship between average daily gain (ADG, g/ kgBW$^{0.75}$/d) And metabolizable energy intake (MEI, kJ/ kgBW$^{0.75}$/d) of Thai native cattle (♦, solid line) Thai Brahman (■, dot-dash line) and Thai Brahman crossbred (▲, dash line)	132

LIST OF ABBREVIATIONS

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ARC	Agricultural Research Council
Blk	Block
BW	Body weight
BW0.75	Metabolic body weight
C	Carbon
oC	Degree celcius
cal	Calorie
CS	Comparative slaughter
dci	day cutting interval
DLD	Department of Livestock Development of Thailand
D2O	Deuterium oxide dilution
EI	Energy intake
ER	Energy retention
FAOSTAT	Statistical database of Food and Agriculture Organization
FE	Fecal energy
FHP	Fasting heat production
FT	Feeding trial
gADG	Gram average daily gain
GE	Gross energy
GEI	Gross energy intake
GLM	General linear model
HE	Heat energy
HF	Heat of fermentation
HI	Heat increment
HP	Heat production
I	Intake
IC	Indirect calorimetry
ICH	Indirect calorimetry head cage

LIST OF ABBREVIATIONS (Continued)

ICM	Indirect calorimetry mask
J	Joule
JIRCAS	Japan International Research Center for Agricultural Sciences
Kcal	Kilo calorie
kg	Efficiency of utilization of metabolizable energy for adult growth and fattening
kg	Kilogram
kgBW0.75	Kilogram metabolic body weight
kgDM	Kilogram dry matter
KJ	Kilo joule
KKANRDC	Khon Kaen Animal Nutrition Research and Development Center
KKU	Khon Kaen University
km	Efficiency of utilization of metabolizable energy for maintenance
M	Maintenance
Max.	Maximum
Mcal	Mega calorie
ME	Metabolizable energy
MEg	Metabolizable energy requirement for gain
MEI	Metabolizable energy intake
MEm	Metabolizable energy requirement for maintenance
Min.	Minimum
MJ	Mega joule
MPB	Mean proportion bias
MPE	Mean prediction error
n	Number
NE	Net energy
NEm	Net energy requirement for maintenance
NEp	Net energy requirement for production
NDF	Neutral detergent fiber

LIST OF ABBREVIATIONS (Continued)

NDFI	Neutral detergent fiber intake
NFE	Nitrogen free extract
NRC	National Research Council
OMI	Organic matter intake
P	Probability
qm	Metabolizability of the gross energy of a feed at maintenance
r2	Coefficient of determination
ra	Regressed against
RCBD	Randomized complete block design
REG	Regression
RSD	Residual standard deviation
s	Second
SD	Standard deviation
SE	Standard error
T	Treatment
TDN	Total digestible nutrients
TOH	Titrated water dilution
UE	Urinary energy
v	Volume
VCH4	Volume of methane produced
VCO2	Volume of carbon dioxide
VO2	Volume of consumed oxygen
WTSR	Working Committee of Thai Feeding Standards for Ruminants