เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2552. ข้อมูลจำนวนสัตว์ในประเทศไทย ปี 2551. สำนักกลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

_____. 2553. การเลี้ยงโคพื้นเมือง. สำนักกลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กฤตพล สมมาตย์. 2546. การผลิตโค-กระบือ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. 2550. โภชนพลังงานศาสตร์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. 2552. เทคนิคการวิจัยด้านโภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น.

จรัญ จันทลักขณา และ ผกาพรรณ สกุลมั่น. 2543. วัวชนกับคนใต้. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉัตรชัย แก้วพิลา, Makoto Otsuka และ กฤตพล สมมาตย์. 2552. การทำนายน้ำหนักโคพื้นเมืองไทยเพศผู้. ในเอกสารสัมมนาวิชาการเกษตรประจำปี 2552 ระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม 2552 ณ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ฉัตรชัย แก้วพิลา และ กฤตพล สมมาตย์. 2551. การทำนายการผลิตแก๊สมีเทนในโคเนื้อ. ในเอกสารการประชุมวิชาการ 10 ปีวิชาการแม่ฟ้าหลวง ระหว่างวันที่ 26-28 พฤศจิกายน 2551 ณ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย.

ฉัตรชัย แก้วพิลา, Makoto Otsuka, และ กฤตพล สมมาตย์. 2553. ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของโคพื้นเมืองไทย. ในเอกสารประชุมวิชาการเกษตร ครั้งที่ 11 ประจำปี 2553 ระหว่างวันที่ 25-26 มกราคม 2553 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

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

ชาญชัย นรเทพไพศาล. 2546. วัวเนื้อ. ศูนย์วิชาการวัวเนื้อเพื่อประชาชน. กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี. 2545. โภชนศาสตร์สัตว์ประยุกต์. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เทอดศักดิ์ ชมชื่นจิตร และ สมพร โชคเจริญ. 2547. สมการทำนายน้ำหนักตัวจากสัดส่วนร่างกายของโคบราห์มันเพศผู้ช่วงหลังหย่านม-2 ปี. ในรายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

นัทธมน ตั้งจิตวัฒนาชัย และ กฤตพล สมมาตย์. 2550. ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยและโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน โดยประเมินจากฐานข้อมูลจากงานทดลองค่าความสมดุลพลังงาน. ว. แก่นเกษตร. 35(3): 287-300.

นันทนา มูลมาตย์, Makoto Otsuka และ กฤตพล สมมาตย์. 2552. ผลของวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดต่อปริมาณการกินได้ และการปลดปล่อยแก๊สมีเทนในโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย. ในเอกสารการประชุมวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ระหว่างวันที่ 23-24 เมษายน 2552 ณ ห้องประชุมชั้น 7 อาคารกรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ สำนักบริหารวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

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

บัญญัติ วิชัยดิษฐ์. 2549. การเลี้ยงโคขุน. ชมรมผู้เลี้ยงโคบราห์มันแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประสาน บำรุง. 2546. การเลี้ยงโคเนื้อ. ชมรมผู้เลี้ยงโคบราห์มันแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ปราณนา พฤกษะศรี. 2544. โคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน. ชมรมผู้เลี้ยงโคบราห์มันแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

พจน์ ศรีบุญลือ, โสพิศ วงศ์คำ และ พัชรี บุญศิริ. 2543. ตำราชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2547. หลักการอาหารสัตว์: หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์. 2550. การประเมินคุณค่าทางโภชนะวัตถุดิบอาหารหยาบและแหล่งเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารสัตว์ ในหลอดทดลองการผลิตแก๊ส. ว. แก่นเกษตร. 35(3): 397-409.

พีรพจน์ นิติพจน์, กฤตพล สมมาตย์, Daovy Kongminila, วิโรจน์ ภัทรจินดา และ เทวินทร์ วงษ์พระลับ. 2547. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันเส้น ต่อพฤติกรรมการกินอาหาร ผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก และการเจริญเติบโต ในโคนมเพศเมียรุ่น. ในเอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2547 สาขาสัตวศาสตร์/สัตวบาล ระหว่างวันที่ 27-28 มกราคม 2547 ณ โรงแรมโซฟีเทลราชา-ออคิด. ขอนแก่น.

พีรพจน์ นิติพจน์. 2549. เมตาบอลิซึมของพลังงานและความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงค์ชีพของโคเนื้อพื้นเมืองไทย. ในเอกสารสัมมนาสัตวศาสตร์ ภาคปลายการศึกษา 2549 หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

รติศักดิ์ แซ่ฉั่ว และ ธีระชัย ช่อไม้. 2545. สมการทำนายน้ำหนักตัวโคกบินทร์บุรีชั่วอายุที่ 1 ระยะแรกเกิด-1 ปี. ในรายงานผลการวิจัยโคเนื้อ สาขาการปรับปรุงพันธุ์และการจัดการฟาร์ม กองบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. ทะเบียนวิชาการเลขที่ 45(3)-0406-144

เรืองฤทธิ์ หาญมนตรี. 2548. การจัดการธุรกิจโคขุนของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลางโพนยางคำ จำกัด จังหวัดสกลนคร. รายงานการศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาธุรกิจการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิชัย ทองดี. 2547. โคบราห์มัน. ชมรมผู้เลี้ยงโคบราห์มันแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ศรเทพ ธัมวาสร. 2539. การเลี้ยงโคเนื้อแนวทางการพัฒนาอาชีพของเกษตรกรไทย. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรเทพ สังข์ทอง. 2549. โคกำแพงแสน. ชมรมผู้เลี้ยงโคบราห์มันแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ปรารถนา พฤกษะศรี, สรรเพชฌ โสภณ, ศรเทพ ธัมวาสร และ สมทบ ขันทอง. 2526. การประมาณน้ำหนักโคพื้นเมือง และ โคลูกผสมอเมริกันบราห์มันโดยใช้ความยาวรอบอก. ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 21 สาขาสัตวศาสตร์ ระหว่างวันที่ 31 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2526 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุณีรัตน์ เอี่ยมละมัย. 2547. การสืบพันธุ์ในโค. ภาควิชาศัลยศาสตร์และวิทยาการสืบพันธุ์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรชัย ชาครียรัตน์. 2541. การผลิตโค-กระบือ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุรเดช พลเสน. 2548. ทุ่งหญ้าเขตร้อน. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อดิศร ยะวงศา, คมเดช จีนะเจริญ, วันดี รุ่งรัตนาอุบล และ ธีระ รักความสุข. 2546. การใช้ความยาวรอบอกเพื่อประมาณน้ำหนักตัวของแม่โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 ณ สาขาสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อนันท์ เชาว์เครือ, Takehiro Nishida, พิมพาพร พลเสน, วิโรจน์ ภัทรจินดา และ กฤตพล สมมาตย์. 2551. การปลดปล่อยแก๊สมีเทนในโคเนื้อพันธุ์บราห์มันที่ได้รับอาหารพลังงานต่างระดับกัน. ในเอกสารการประชุมวิชาการ 10 ปีวิชาการแม่ฟ้าหลวง ระหว่างวันที่ 26-28 พฤศจิกายน 2551 ณ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย.

อนันท์ เชาว์เครือ, Tekehiro Nidhida, วิโรจน์ ภัทรจินดา และ กฤตพล สมมาตย์. 2552. ความต้องการโปรตีนและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพและเจริญเติบโตในโคเนื้อพันธุ์บราห์มัน. ในเอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2552 ระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม 2552 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

AFFRC. 2000. Japanese feeding standard for beef cattle. Agriculture forestry and fisheries research council secretariat, central association of livestock industry, Tokyo, Japan.

AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, UK.

Agnew, R.E. and T. Yan. 2005. Calorimetry. In Dijkstra, J., J.M. Forbes and J. France (Eds.). Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. 2nd Edition. (pp. 421-422). CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th edition. Association of official analytical chemists, Washington, DC.

ARC. 1980. The Nutrient requirements of ruminant livestock. Agric. Res. Counc., CAB International, Wallingford, UK.

Blaxter, K.L. 1967. The energy metabolism of ruminants. 2nd edition. Hutchinson & Co Ltd., London, UK.

Blaxter, K.L. 1989. Energy metabolism in animals and man. Camb. Univ. Press, Cambridge, New York, NY.

Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86:1370-1381.

Bromner, J.M. and D.R. Keeney. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chem. Acta. 32: 485.

Brown, E. G., M.J. VandeHaar, K. M. Daniels, J. S. Liesman, L. T. Chapin, D. H. Keisler and M. S. Weber Nielsen. 2005. Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. J. Dairy Sci. 88:585-594.

Bruinenberg, M.H., Y. van der Honing, R.E. Agnew, T. Yan, A.M. van Vuren and H. Valk. 2002. Energy metabolism of dairy cow fed on grass. Livest. Prod. Sci. 75: 117-128.

Chaokaur, A. 2009. Metabolizable energy requirement for maintenance and energetic efficiency for growth in Brahman beef cattle. Ph.D. Thesis in Anim. Sci., Khon Kaen Univ. Khon Kaen, Thailand.

Chaokaur, A., T. Nishida, I. Phaowphaisal and K. Sommart. 2007. Energy metabolism and energy requirement for maintenance of Brahman steers in tropical condition. In proceedings of the 2nd International Symposium on Energy and Pritein Metabolism and Nutrition. Vichy. France.

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

Chizzotti, M.L., S.C. Valadares Filho, L.O. Tedeschi, F.H.M. Chizzotti and G.E. Carstens. 2007. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nellore×Red Angus bulls, steers and heifers. J. Anim. Sci. 85: 1971-1981.

Chumpawadee, S. 2006. Synchronizing the rate of degradation of dietary energy and nitrogen release in Brahman-Native crossbred beef cattle ration. Ph.D. Thesis in Anim. Sci., Khon Kaen Univ. Khon Kaen, Thailand.

Church, D.C. 1983. Digestive physiology and nutrition of ruminants. Vol 1. O & B Books, Inc, Oregon, USA.

Clark, J. H., K. C. Olson, T. B. Schmidt, M. L. Linville, D. O. Alkire, D. L. Meyer, G. K. Rentfrow, C. C. Carr and E. P. Berg. 2007. Effects of dry matter intake restriction on diet digestion, energy partitioning, phosphorus retention and ruminal fermentation by beef steers. J. Anim. Sci. 85:3383-3390.

Dawson L. E. R. and R. W. J. Steen. 1998. Estimation of maintenance energy requirements of beef cattle and sheep. J. Anim. Sci. 131:477-485

Dijkstra, J. 1994. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. Livest. Prod. Sci. 39: 61.

Dijkstra, J., E. Kebreab, A. Bannink, J. France and S. López. 2005. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 561: 123-124.

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

Ferrell, C.L. and J.W. Oltjen. 2008. Net energy systems for beef cattle concepts, application and future models. J. Anim. Sci. 86: 2779-2794.

Ferrell, C.L. and T.G. Jenkins. 1998. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford and Tuli sires. J. Anim. Sci. 76: 647-657.

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

Garrett, W. N. and D. E. Johnson. 1983. Nutritional energetics of ruminants. J. Anim. Sci. 57 (Suppl. 2): 478-497.

Gillespie, J.R. 2004. Modern livestock & poultry production. 7th edition. Thomson Delmar Learning, Clifton Park, New York, USA.

Goe, M.R., J.R. Alldredge and D. Light. 2001. Use of heart girth to predict body weight of working oxen in the Ethiopian highlands. Livest. Prod. Sci. 69: 187-195.

Heinrichs, A. J., 0. W. Rogers and J. B. Cooper. 1992. Predicting Body Weight and Wither Height in Holstein Heifers Using Body Measurements. J. Dairy Sci. 75: 3576-3581.

Hungate, R.E. 1966. The rumen and Its microbes. USA: Academic Press, New York.

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(E. Suppl. 1): E27-E38.

Kaewpila, C., O. Makoto and K. Sommart. 2008a. Prediction of the energy value of cattle diets based on nutritive value content of tropical feedstuffs. In the Proceedings of The 13th AAAP Animal Science Congress, Ha Noi, Vietnam. 321.

Kaewpila, C., P. Sornprasitti, M. Otsuka and K. Sommart. 2008b. Prediction of dry matter intake in Thai native and Brahman beef cattle from multiple studies using mixed model methodology. Pag 117-120. in Proc. Symp. Establishment of a Feeding Standard of Beef Cattle and a Feed Database for the Indochainese peninsula. S. Oshio, M. Otsuka and K. Sommart, ed. Klungnanavithaya Press, Khon Kaen, Thailand.

Kamiya, M., T. Suzuki, T. Nishida, I. Phaophisal, P. Pholsen, R. Narmsilee, P. Nitipot, A. Chaokaur and K. Sommart. 2006. Nitrogen utilization of native cattle and swamp buffalo fed ruzigrass hay. West Japan J. Anim. Sci. 49: 39-44.

Kawashima, T., F. Terada and M. Shibata. 2001. Respiration trial system using ventilated flow-through method with a face mask. Japan Int. Res.Center Agric. Sci. J. 9: 53-74.

Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang, W. Boonpakdee and F. Terada. 2000a. Comparative study on energy and protein metabolism of Brahman cattle and sheep given Ruzi grass hay with different levels of soybean meal. Page 156-168. in Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. T. Kawashima, ed. Phratammakun Press, Khon Kaen, Thailand.

_____. 2000b. Comparison of energy and protein requirements for maintenance among Brahman cattle, swamp buffalo and Thai native cattle. Page 156-168. in Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. T. Kawashima, ed. Phratammakun Press, Khon Kaen, Thailand.

_____. 2000c. Energy and nitrogen metabolisms of Thai native cattle given Ruzi grass hay with different levels of soybean meal. Page 147-155. in Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. T. Kawashima, ed. Phratammakun Press, Khon Kaen, Thailand.

Kearl, L.C. 1982. Nutrient requirements of ruminants in developing countries. International feedstuffs institute. Utah State University. Longan, Utah.

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

Khemsawat, C., and T. Phonbumrung. 2008. Current status of beef production and feed industry in Indochainese countries. Page 8-16 in Proc. Symp. Establishment of a Feeding Standard of Beef Cattle and a Feed Database for the Indochainese peninsula. S. Oshio, M. Otsuka and K. Sommart, ed. Klungnanavithaya Press, Khon Kaen, Thailand.

Kirkpatrick D. E., R. W. J. Steen and E. F. Unsworth. 1997. The effect of differing forage:concentrate ratio and restricting feed intake on the energy and nitrogen utilization by beef cattle. Livest. Sci. 51: 151-164.

Kolver, E., L.D. Muller, G.A. Varga and T.J. Cassidy. 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactation dairy cows. J. Dairy Sci. 81: 2017-2028.

Liang, J. B. and B. A. Young. 1995. Comparative energetic efficiencies of male Malaysian cattle and buffalo. Livest. Prod. Sci. 41: 19-27.

Lofgreen, G. P. 1965. A comparative slaughter technique for determining net energy values with beef cattle. Pages 309-317 in Energy Metabolism. Proc. 3rd Symp. EAAP Publ. No. 1. K. L. Blaxter, ed. Assoc. Press, London, UK.

Lopez, S. 2005. *In vitro* and *in situ* techniques for estimating digestibility. In Dijkstra , J., J.M. Forbes and J. France (Eds.). Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. 2nd Edition. (pp. 87-96). CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Luo, J., A.L. Goestch, I.V. Nsahlai, T. Sahlu, C.L. Ferrell, F.N. Owens, M.L. Galyean, J.E. Moore and Z.B. Johnson. 2004a. Prediction of metabolizable energy and protein requirements for maintenance, gain and fiber growth of Angora goats. Small Rumin. Res. 53: 339-356.

McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 2002. Animal Nutrition. 6th edition. Pearson education Ltd., New York, NY.

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

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

Moorby, J. M., R. J. Dewhurst, R. T. Evans and W. J. Fisher. 2002. Effects of varying the energy and protein supply to dry cows on high-forage systems. Livest. Prod. Sci. 76: 125-136.

Mulligan, F.J., P.J. Caffrey, M. Rath, J.J. Callan and F.P. O'Mara. 2001. The relationship between feeding level, rumen particulate and fluid turnover rate and the digestibility of soya hulls in cattle and sheep (including a comparison of Cr-mordanted soya hulls and Cr_2O_3 as particulate markers in cattle). Livest. Prod. Sci. 70: 191-202.

Na-Chiangmai, A. 2002. Current situation and development trends of beef production in Thailand. Page 93-97 in Development Strategies for Genetic Evaluation for Beef Production in Developing Countries. J. Allen and A., Na-Chiangmai, eds. Australia Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proc. No. 108.

Nishida, T., T. Suzuki, M. Odai, T. Kawashima, I. Phaophaisal, W. Sumamal, P. Pholsen, R. Narmsilee, S. Indramanee and S. Oshio. 2005. Studies on energy metabolism of cattle in Thailand. Page 376-382 in Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation, Volume 1. P. Rowlinson, C. Wachirapakorn, P. Pakdee and M. Wanapat, ed. AHAT/BSAS, Klungnanavithaya Press, Khon Kaen, Thailand.

Nitipot, P., T. Nishida, I. Phaophaisal and K. Sommart. 2008. Metabolizable energy requirement for maintenance of Thai native beef cattle fed pangola grass hay based diets. Page 126. *In* The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. 22-26 September 2008. Animal Husbandry Association of Vietnam (AHAV), Hanoi. (Abstract)

Nolan, J.V. 1993. Nitrogen kinetics. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Forbes, J.M. and France (Eds). CAB International Wallingford, UK.

NRC. 1976. Nutrient requirements of beef cattle. 5th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

_____. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

_____. 1988. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

_____. 1996. Nutrient requirement of beef cattle. 7th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

_____. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

_____. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

Ørskov, E. R. and M. Ryle. 1998. Energy nutrition in ruminants. Elsevier Science Publ. Ltd., UK.

Ørskov, E.R. 1992. Protein nutrition in ruminants 2nd edition. Acad. Press, Inc., San Diego, CA.

_____. 2000. The in situ technique for the estimation of forage degradability in ruminant. In D.I. Given, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed (Eds). Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. (pp. 259-270). CABI Publishing, Wallingford, Oxon: UK.

Ørskov, E.R., F.D. DeB Hovell and F. Mould. 1980. The used of nylon bag technique for the evaluation of feedstuff. Trop. Anim. Prod. 5(3): 195-213.

Owens, F. N. and Y. Geay. 1992. Nutrition of growing and finishing cattle. In: Beef Cattle Production (Ed, Jarrige, R. and C. Beranger, pp. 225-243). World Animal Science, C5 Production-System Approach, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Netherlands.

Pezo, D.A. and C. Devendra. 2002. Module 1: The relevance of crop-animal systems in South-east Asia. Page 1-10 in Research approches and methods for improving crop-animal systems in South-east Asia. D. A. Pezo, ed. ILRI taining Manual 5. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya.

Pond, K.R. and W.G. Pond. 2000. Introduction to animal science. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

Pond, W.G., D.C. Church, K.R. Pond and P.A. Schoknecht. 2005. Basic animal nutrition and feeding. 5th edition. John Wiley & Sons., Inc., USA.

Reid C. R., C. M. Bailey and M. B. Judkins. 1991. Metabolizable energy for maintenance of beef-type Bos taurus and Bos indicus x Bos taurus cows in a dry, temperate climate. J. Anim. Sci. 69: 2779-2786.

Rossi, F., P. Vecchia and F. Masoero. 2001. Estimate of methane production from rumen fermentation. Nut. Cyc. In Agro. 60: 89-92.

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

Schneider, B.H. and W.P. Flatt. 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. Univ. Georgia Press, Georgia.

Shabi, Z., A. Arieli, L. Bruckental, Y. Aharoni, S. Zamwel, A. Bor and H. Tagari. 1998. Effect of the synchronization of the degradation of dietary crude protein and organic matter and feeding frequency on ruminal fermentation and flow of digesta in the abomasum of dietary cows. J. Dairy Sci. 81: 1991-2000.

Silva, A. M. A., A. G. da Silva Sobrinho, I. A. C. M. Trindade, K. T. Resende and O. A. Bakke. 2003. Net requirements of protein and energy for maintenance of wool and hair lambs in a tropical region. Small Rumin. Res. 49:165-171.

Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold and P.J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. J. Agric. Sci. 120: 251-263.

Solis, J. C., F. M. Byers, G. T Schelling, C. R Long and L. W Greene. 1988. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. J. Anim. Sci. 66: 764-773.

St-Pierre, N.R. 2001. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. J. Dairy Sci. 84: 741-755.

Sundstol, F. 1993. Energy systems for ruminant. Icel. Agr. Sci. 7: 11-19.

Suzuki, T., I. Phaowphaisal, P. Pholsen, R. Narmsilee, S. Indramanee, P. Nittpot, A. Chaokaur, K. Sommart, N. Khotprom, V. Panichpol and T. Nishidai. 2008. In vivo nutritive value of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) hay by a novel indirect calorimeter with a ventilated hood in Thailand. Jpn. Agr. Res. Q. 42: 123-129.

Swanson, E.W. 1977. Factors for computing requirements of protein for maintenance of cattle. J. Dairy Sci. 60: 1583-1593.

Talke, H. and G.E. Schubert. 1965. Enzymatic urea determination in the blood and serum in the warburg optical test. Klin. Wochenschr. 43:174-175.

Taylor, C.S., H.G. Turner and G.B. Young. 1981. Genetic control of equilibrium maintenance efficiency in cattle. Anim. Prod. 33: 179-194.

Taylor, E. and T.G. Field. 2001. Scientific farm animal production. 7th edition. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.

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

Trinder, P. 1969. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. Ann. Clin. Biochem. 6:24-27.

Tyler, H.D. and M.E. Ensminger. 2006. Dairy cattle science. 4th edition. Pearson prentice hall, Upper saddle river, New Jersey, USA.

Van Keulen, J. and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. J. Anim. Sci. 44: 282.

Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd edition. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York, NY.

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

Williams, C.B. and T.G. Jenkins. 2003a. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. J. Anim. Sci. 81: 1371-1381.

_____. 2003b. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. II. Metabolizable energy utilization for gain. J. Anim. Sci. 81: 1382-1389.

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

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

Yan, T., C.S. Mayne, D.C. Patterson and R.E. Agnew. 2009. Prediction of body weight and empty body composition using body size measurements in lactating dairy cows. Livest. Sci. 124: 233-241.

Yan, T., R.E. Agnew, F.J. Gordon and M.G. Porter. 2000. Prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. Livest. Prod. Sci. 64: 253-263.

Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1983. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. J. Anim. Sci. 56: 471-475.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

การสร้างตารางแนะนำความต้องการโภชนะของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้สายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สายอีสาน)

ตารางความต้องการโภชนะของโคเนื้อสร้างขึ้นจากสมการทำนายความต้องการโภชนะของโค ตามน้ำหนักและระดับการให้ผลผลิต ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างตารางโดยสรุปดังนี้

- กำหนดน้ำหนักโคที่ต้องการจะคำนวนความต้องการโภชนะ
- กำหนดระดับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain, ADG)

ตัวอย่าง ต้องการคำนวนความต้องการพลังงาน และความต้องการโปรตีนของโคน้ำหนัก 150 กิโลกรัม และต้องการให้มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 250 กรัมต่อวัน คำนวนความต้องการโภชนะ โดยใช้สมการในการคำนวนความต้องการโภชนะสำหรับโค ได้แก่

MEI = 311.24 + 31.90ADG ...สมการที่ 4.1

CPI = 3.45 + 0.32ADG ...สมการที่ 4.2

1. คำนวนความต้องการพลังงาน ความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (MEI, $kJ/kgBW^{0.75}/d$) เพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต คำนวนได้โดยการแทนค่าอัตราการเจริญเติบโต (250 กรัมต่อวัน) ในสมการที่ 4.1 โดยแยกการคำนวนเป็น 2 ส่วน คือ คำนวนความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพและความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพคือ ความต้องการพลังงานเมื่อโคมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0

แทนค่าในสมการ MEI ($kJ/kgBW^{0.75}/d$) = 311.24 + (31.90 * 0)

จะได้ MEI = 311.24 ($kJ/kgBW^{0.75}/d$)

ค่าที่ได้เป็นความต้องการพลังงานต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก ดังนั้นเมื่อหาค่าความต้องการพลังงานต่อโคน้ำหนัก 150 กิโลกรัม ต้องแปลงน้ำหนักจริงเป็นน้ำหนักเมแทบอลิกก่อน โดย 150 กิโลกรัม แปลงเป็นน้ำหนักเมแทบอลิกได้ 42.86 (คำนวนจาก $150^{0.75}$= 42.86) จึงคำนวนความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

โดยแทนค่าในสมการ MEI (kJ/d) = 311.24 * 42.86

MEI (kJ/d) = 13340.25 kJ/d (13.34 MJ/d)

ดังนั้นจะได้ ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจะมีค่าเท่ากับ 13.34 MJ/d

การคำนวนความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตใช้สมการที่ 4.1 เช่นเดียวกัน โดยแทนค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในสมการ ซึ่งประเมินความต้องการพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักเม

แทบอลิก ดังนั้นก่อนแทนค่าในสมการต้องแปลงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (250 กรัมต่อวัน) เป็นหน่วยน้ำหนักเมแทบอลิก จาก 250 ÷ 42.86 = 5.83 g/kgBW$^{0.75}$/d

แทนค่าในสมการ MEI (kJ/kgBW$^{0.75}$/d) = 311.24 + (31.90 *5.83)

จะได้ MEI = 497.22 kJ/kgBW$^{0.75}$/d

ปรับค่าน้ำหนักเมแทบอลิก MEI (kJ/d) = 497.22 * 42.86

MEI = 21310.72 kJ/d (21.31 MJ/d)

ดังนั้นจะได้ ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต 250 กรัมต่อวัน 21.31-13.34 จะมีค่าเท่ากับ 7.97 MJ/d

2. คำนวนความต้องการโปรตีน ความต้องการโปรตีน (CPI, gCP/kgBW$^{0.75}$/d) เพื่อการดำรงชีพและเจริญเติบโตคำนวนได้โดยการแทนค่าในสมการที่ 4.2 ซึ่งต้องแปลงน้ำหนักโคให้เป็นหน่วยน้ำหนักเมแทบอลิก (BW, kgBW$^{0.75}$) คือ 42.86 kgBW$^{0.75}$ สำหรับโคหนัก 150 กิโลกรัม และแปลงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เป็นสัดส่วนต่อหน่วยของน้ำหนักเมแทบอลิก (ADG, g/kgBW$^{0.75}$/d) ซึ่งคำนวนได้จาก 250 ÷ 42.86 จะมีค่าเท่ากับ 5.83 g/kgBW$^{0.75}$/d

สมการที่ใช้ คือ CPI (gCP/kgBW$^{0.75}$/d) = 3.45 + 0.32ADG

คำนวนค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ คือ ความต้องการโปรตีนเมื่ออัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 0

แทนค่าในสมการ CPI (gCP/kgBW$^{0.75}$/d) = 3.45 + (0.32 * 0)

จะได้ CPI = 3.45 gCP/kgBW$^{0.75}$/d

ปรับค่าน้ำหนักเมแทบอลิก CPI (gCP/d) = 3.45 * 42.86

CPI = 147.87 gCP/d

ดังนั้น จะได้ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพจะมีค่าเท่ากับ 147.87 gCP/d

การคำนวนความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตใช้สมการที่ 4.2 เช่นเดียวกัน โดยแทนค่าอัตราการเจริญเติบโตในสมการ ซึ่งประเมินความต้องการโปรตีนต่อหน่วยน้ำหนักเมแทบอลิก ดังนั้นก่อนแทนค่าในสมการต้องแปลงอัตราการเจริญเติบโต (250 กรัมต่อวัน) เป็นหน่วยน้ำหนักเมแทบอลิก จาก 250 ÷ 42.86 = 5.83 g/kgBW$^{0.75}$/d

แทนค่าในสมการ CPI (gCP/kgBW$^{0.75}$/d) = 3.45 + (0.32 * 5.83)

จะได้ CPI = 5.3156 gCP/kgBW$^{0.75}$/d

ปรับค่าน้ำหนักเมแทบอลิก CPI (gCP/d) = 5.3156 × 42.86

CPI = 227.83 gCP/d

ดังนั้นจะได้ ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต 250 กรัมต่อวัน คือ 227.83-147.87 = 79.96 gCP/d

3. สรุปผลการคำนวน ถ้าต้องการให้โคพื้นเมืองไทยสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพศผู้ น้ำหนัก 150 กิโลกรัม มีค่าเจริญเติบโตเฉลี่ยวันเท่ากับ 250 กรัม จะต้องให้โคกินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 21.31 เมกกะจูลต่อวัน และมีความต้องการโปรตีน 228 กรัมต่อวัน โดยค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนของโคพื้นเมืองไทยสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือในแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนของโคพื้นเมืองไทยเพศผู้สายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[1/]

Weight range	100-400 kg						
ADG range	0.0-1.0 kg						
Body weight (kg)	100	150	200	250	300	350	400
ADG (kg/d)	ME requirement for gain (MJ/d)						
0.00	9.84	13.34	16.55	19.57	22.43	25.19	27.84
0.25	17.82	21.31	24.53	27.54	30.41	33.16	35.81
0.50	25.79	29.29	32.50	35.52	38.38	41.14	43.79
0.75	33.77	37.26	40.48	43.49	46.36	49.11	51.76
1.00	41.74	45.24	48.45	51.47	54.33	57.09	59.74
ADG (kg/d)	CP requirement for gain (gCP/d)						
0.00	109	148	183	217	249	279	309
0.25	189	228	263	297	329	359	389
0.50	269	308	343	377	409	439	469
0.75	349	388	423	457	489	519	549
1.00	429	468	503	537	569	599	629

[1/]ADG, average daily gain; ME, metabolizable energy; CP, crude protein.

ภาคผนวกที่ 2

อุณหภูมิระหว่างที่ทำการเลี้ยงโคทดลอง

การทดลองครั้งนี้ทำการทดลองในตัวสัตว์ ระหว่างวันที่ 6 กันยายน ถึงวันที่ 7 ธันวาคม 2551 รวมระยะเวลาทดลอง 83 วัน ในช่วงระเวลาดังกล่าวมีค่าอุณหภูมิดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 2.1 และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 2.2

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 แสดงค่าอุณหภูมิปี พ.ศ. 2551 จากการตรวจวัดของ สถานีอากาศเกษตร ต. ท่าพระ อ. เมือง จ. ขอนแก่น

เดือน	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ณ วันที่						ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย		ค่าอุณหภูมิ		วันที่ค่าอุณหภูมิ	
	1 ถึง 10		11 ถึง 20		20 ถึงสิ้นเดือน							
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
ม.ค.	14.0	28.6	16.1	30.9	18.7	30.2	16.3	29.9	10.2	32.5	3	20
ก.พ.	17.0	28.0	15.9	29.0	17.8	31.6	16.9	29.4	13.5	34.5	21	25
มี.ค.	16.9	32.2	23.1	35.6	22.7	35.3	21	34.3	14.2	37.5	3	13
เม.ย.	23.2	35.4	24.5	38.0	23.4	35.5	23.7	36.4	21.4	39	2	13
พ.ค.	24.2	36.7	23.7	34.6	23.9	36.0	23.9	35.7	22.1	39.3	24	6
มิ.ย.	23.9	36.3	24.2	34.6	25.5	39.1	24.5	36.6	22.1	40.6	8	22
ก.ค.	23.8	35.5	24.5	36.3	24.4	36.4	24.2	36.2	22.3	40	2	21
ส.ค.	24.1	33.8	23.6	33.9	24.1	36.1	23.9	34.6	22.2	38.7	13	31
ก.ย.	23.5	36.3	23.3	31.5	24.1	34.5	23.6	34.2	22.7	37.8	10	3
ต.ค.	23.4	36.2	23.7	35.7	23.9	35.0	23.7	35.7	22.3	38.6	7	9
พ.ย.	22.6	33.6	19.6	30.8	18.2	30.5	20.1	31.7	12.9	36.5	30	7
ธ.ค.	15.0	28.3	14.4	28.5	17.7	29.2	15.8	28.7	12.8	31	2	21
ทั้งปี	-	-	-	-	-	-	21.5	33.6	10.2	40.6	3-ม.ค.	22-มิ.ย.

ตารางภาคผนวกที่ 2.2 แสดงค่าความชื้นสัมพันธ์ปี พ.ศ. 2551 จากการตรวจวัดของ สถานีอากาศเกษตร ต. ท่าพระ อ. เมือง จ. ขอนแก่น

เดือน	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ณ วันที่			เฉลี่ย	ความชื้นสัมพัทธ์, %		วันที่ความชื้นสัมพัทธ์	
	1 ถึง 10	11 ถึง 20	20 ถึงสิ้นเดือน		ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
ม.ค.	70.3	68.7	75.5	71.5	62.3	89.8	12	26
ก.พ.	76.1	67.4	66.0	70.1	61.6	85.9	22	3
มี.ค.	60.7	64.1	75.3	66.7	50.6	80.3	3	21
เม.ย.	80.0	72.5	78.8	77.1	64.9	89.6	16	29
พ.ค.	83.7	82.2	85.8	83.9	74.8	94.1	9	19
มิ.ย.	82.5	84.1	76.6	81.2	72.3	94.1	10	2
ก.ค.	85.3	82.3	80.8	82.8	76.6	89.5	3	20
ส.ค.	83.6	85.0	83.4	84.0	79.4	94.5	18	12
ก.ย.	86.3	92.3	85.8	88.2	78.6	99.0	10	1
ต.ค.	86.4	81.1	82.4	83.3	75.8	90.3	12	5
พ.ย.	85.8	74.9	72.2	77.8	64.1	97.5	30	1
ธ.ค.	73.5	74.5	74.4	74.1	70.0	82.1	1	11
ทั้งปี	-	-	-	78.4	50.6	99.0	3-มี.ค.	1-ก.ย.

ภาคผนวกที่ 3

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์โดยใช้วิธีประมาณ

(proximate analysis; AOAC, 1990)

1. การวิเคราะห์หาความชื้น (moisture) หรือ วัตถุแห้ง (dry matter)

1.1 อุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucible) หรือ จานอลูมิเนียม (aluminium pan)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. ตู้อบแห้ง (drying oven)
4. คีมสำหรับจับถ้วยกระเบื้อง (tong)
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (electronic weight)

1.2 วิธีการวิเคราะห์หาวัตถุแห้งหรือความชื้น

1. เตรียมจานอลูมิเนียม หรือถ้วยกระเบื้องที่ล้างสะอาด แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่คงที่ จดบันทึกน้ำหนักไว้

2. ชั่งตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ประมาณ 2.5 กรัม หรือ 20-25 กรัม ถ้าเป็นมูลเปียก ใส่จานอลูมิเนียมหรือถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก

3. นำจานอลูมิเนียมหรือถ้วยกระเบื้องพร้อมทั้งตัวอย่างไปอบในเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 12-14 ชั่วโมง หรือตลอดคืน (ถ้าเป็นมูลเปียกประมาณ 12-24 ชั่วโมงจนให้แห้ง)

4. นำจานอลูมิเนียมหรือถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างออกจากเตาอบนำไปใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยไว้ให้เย็น แล้วทำการชั่งน้ำหนักที่คงที่

1.3 การคำนวน

% วัตถุแห้ง (%DM) = [(A-B) x 100]/C

เมื่อ A = น้ำหนักจานอลูมิเนียมหรือถ้วยกระเบื้อง + ตัวอย่างหลังอบ

B = น้ำหนักจานอลูมิเนียมหรือถ้วยกระเบื้อง

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

% ความชื้น (% moisture) = 100 - %DM

2. การวิเคราะห์หาเถ้า (ash) หรือ อินทรียวัตถุ (organic matter)

2.1 อุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucible)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. เตาเผา (muffle furnace)
4. คีมสำหรับจับถ้วยกระเบื้อง (tong)
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (electronic weight)

2.2 วิธีการวิเคราะห์หาเถ้าหรืออินทรียวัตถุ

1. เตรียมถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (porcelain crucible) ที่สะอาดและแห้ง แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่คงที่ จดบันทึกน้ำหนักไว้

2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก

3. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมทั้งตัวอย่างไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือตลอดคืน (ปล่อยให้เย็นในเตาเผาใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง)

4. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างออกจากเตาเผานำไปใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยไว้ให้เย็นแล้วทำการชั่งน้ำหนักที่คงที่

2.3 การคำนวน

% เถ้ารวม (%ash) = [(A-B) x 100]/C

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักเถ้าหลังเผา

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

% อินทรียวัตถุ (% OM) = 100 - %ash

3. การวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบ (crude protein, CP)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดย่อยไนโตรเจน (digestion unit)
2. ชุดกลั่นไนโตรเจน (distillation unit)
3. ชุดไตรเตรท (durette, dlamp holder, stand)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (electronic weight)
6. ถุงมือกันความร้อน
7. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (concentrate H_2SO_4- reagent grade)
2. ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst): ใช้ K_2SO_4 น้ำหนัก 10 กรัม $CuSO_4$ น้ำหนัก 0.30 กรัม หรือเป็นแบบก้อนผสมสำเร็จรูป 1 ก้อน
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 45 % (NaOH, sodium hydroxide-technical grade): ทำการละลาย NaOH น้ำหนัก 450 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับให้ได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร
4. สารละลายกรดบอริคเข้มข้น 4 % (Boric acid solution): ละลายกรดบอริคน้ำหนัก 261 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 9 ลิตร แล้วเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียว
5. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 นอร์มอล
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator): ละลาย methyl red น้ำหนัก 0.3125 กรัม และ methylene blue น้ำหนัก 0.2062 กรัม ใน 95% ethanol ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ผสมให้ละลายเป็นเนื้อเดียว (ใช้เครื่อง stirer) นาน 24 ชั่วโมง

3.3 วิธีการวิเคราะห์โปรตีนหยาบ

3.3.1 การย่อยตัวอย่าง (digestion)

1. ชั่งตัวอย่างแห้งให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 - 2 กรัม ในกระดาษรองชั่งที่ไม่มีไนโตรเจนเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างหกหล่น พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก แล้วใส่ลงในหลอดย่อยแต่ละหลอด หากเป็นตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น ปัสสาวะ หลังจากผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียว ตวงปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยแต่ละหลอด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

2. เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดย่อย ตามลำดับ สำหรับการเติมกรดให้เอียงหลอดและค่อยๆรินกรดลงด้านข้างโดยรอบ เพื่อให้กรดชะล้างตัวอย่างที่อาจติดอยู่ด้านข้างออกให้หมด เขย่าหลอดเบาๆ

3. เตรียม blank โดยการใส่กระดาษรองชั่งในหลอดย่อย และดำเนินการใส่สารเคมีตามขั้นตอนต่างๆ เหมือนการวิเคราะห์ตัวอย่างปกติ เนื่องจากสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหรือปนเปื้อนอยู่ด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาไนโตรเจนดังกล่าว เพื่อให้การคำนวนผลการวิเคราะห์ถูกต้องมากขึ้น

3. นำหลอดย่อยเข้าย่อยในเข้าย่อยใน digestion block และตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส และคอยตรวจอยู่เสมอว่าตัวอย่างที่เกิดการกระเด็นติดข้างหลอดหรือลอยอยู่เหนือสารละลายหรือไม่ ต้องพยายามให้ตัวอย่างที่วิเคราะห์อยู่ในสารละลายกรดแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 150 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส และย่อยนานติดต่อกัน 1 ชั่วโมง หลังจากการย่อยตัวอย่างในเครื่องหากปฏิกิริยาทางเคมีเสร็จสมบูรณ์ จะสังเกตเห็นตัวอย่างในหลอดย่อยถูกย่อยหมด สารละลายจะมีลักษณะใสไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน แล้วดำเนินการย่อยต่ออีกนานประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้มั่นใจว่าได้เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อรอการกลั่นต่อไป

3.3.2 การกลั่นและการไตรเตรท (distillation and titration)

1. เปิดและล้างเครื่องกลั่น และกลั่นโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างนานประมาณ 5 นาที

2. ตวงสารละลายกรดบอริค (4% boric acid-methyl purple indicator) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปต่อเข้ากับ condenser ของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายของ condenser จุ่มลงในสารละลายกรดบอริค

3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยตัวอย่างที่ผ่านการย่อยมาแล้ว

4. ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 45 % ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเทลงในหลอดย่อย โดยเอียงหลอดเพื่อให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไหลไปตามข้างๆหลอด แล้วรีบนำไปต่อเข้ากับ condenser ของเครื่องกลั่น แล้วดำเนินการกลั่น

5. ให้ความร้อนจนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาอย่างน้อย 150 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ (สังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียว) จึงหยุดให้ความร้อน

6. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุส่วนที่ได้จากการกลั่นตามขั้นตอนข้างต้นมาไตรเตรทร่วมกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีที่จุดยุติ (end point) ซึ่งอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ไว้เพื่อนำไปคำนวนต่อไป

3.4 การคำนวน

% ไนโตรเจน (%nitrogen) = [(S-B) x 0.014 x N x 100]/W

เมื่อ S = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตรเตรทตัวอย่าง

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตรเตรท blank

N = normality ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

%โปรตีนหยาบ (%CP) = %nitrogen x 6.25

4. การวิเคราะห์หาไขมัน (ether extract, EE)

4.1 อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดแบบ soxhlet
2. condenser
3. extractor
4. ขวดแก้วก้นแบน (flat bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. thimble ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28-30 มิลลิเมตร
6. สำลี
7. คีมสำหรับจับ (tong)

4.2 สารเคมี

1. petroleum ether ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

4.3 วิธีการวิเคราะห์หาไขมัน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารที่แห้งประมาณ 3-5 กรัม ใส่ลงใน thimble แล้วปิดด้วยสำลีที่สะอาด
2. นำขวดแก้วก้นแบนที่สะอาดไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง นำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
3. ใส่ petroleum ether ประมาณ 180 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วก้นแบน และนำ thimble ที่มีตัวอย่างไปใส่ใน extractor แล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องสกัดแบบ soxhlet
4. ให้ความร้อนและเปิดน้ำให้ไหลผ่าน condenser ตลอดเวลา โดยทำการสกัดนานประมาณ 6 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว ให้ความร้อนต่อไปจนกระทั่งเกือบไม่มี petroleum ether เหลืออยู่ในขวดแก้วก้นแบน แล้วนำขวดแก้วก้นแบนออกจากเครื่อง
6. นำขวดแก้วก้นแบนที่ได้จากการสกัดไปอบที่ตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรือตลอดคืน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่คงที่ น้ำหนักของขวดแก้วก้นแบนที่เพิ่มขึ้น คือน้ำหนักของปริมาณไขมัน

4.4 การคำนวน

%ไขมัน (%EE) = [(B-A) x 100] / C

เมื่อ A = น้ำหนักของขวดแก้วก้นแบน

B = น้ำหนักของขวดแก้วก้นแบน + ไขมันหลังอบ

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

5. การวิเคราะห์หาเยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF)

5.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (berzelius beaker)
2. เครื่องดูดสูญญากาศ
3. filtering flask
4. rubber adapter
5. buchner funnel
6. oklahoma state filltering screen หรือ ผ้าลิกนินที่มีเส้นด้าย 45 เส้นต่อนิ้ว

5.2 สารเคมี

1. sodium hydroxide 1.25%
2. sulfuric acid 1.25%
3. acetone

5.3 วิธีการวิเคราะห์เยื่อใยหยาบ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ (berzelius beaker)
2. เติม sulfuric acid 1.25% ลงในบีกเกอร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
3. นำบีกเกอร์ไปต่อเข้ากับ condenser เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ แล้วต้มด้วย heater นาน 30 นาที
4. หลังจากการต้มสารละลาย ครบ 30 นาที แล้วรีบนำไปกรองตะกอนด้วยเครื่องบนผ้าลิกนินบน buchner funnel ที่ต่อกับ filtering flask โดยอาศัยเครื่องดูดสูญญากาศช่วย แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นร้อน
5. ขูดตะกอนออกจากผ้าลิกนินให้หมด ใส่คืนลงในบีกเกอร์ใบเดิม
6. เติม sodium hydroxide 1.25% ลงในบีกเกอร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที ทำเช่นเดียวกับข้อ 3-4
7. ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนกว่าด่างและล้างด้วย acetone ประมาณ 20 มิลลิลิตร
8. ขูดตะกอนออกจากผ้าลิกนินให้หมดด้วยช้อนและ spatula แล้วนำตะกอนใส่ลงในถ้วยกระเบื้องที่เผาและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว (ระวังอย่าให้ตกหล่น)
9. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตะกอนไปอบในเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงหรือตลอดคืน
10. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตะกอนออกจากเตาอบแห้งนำไปใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยไว้ให้เย็น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก

11. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตะกอนไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือตลอดคืน (ปล่อยให้เย็นในเตาเผาใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง)

12. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตะกอนออกจากเตาเผานำไปใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยไว้ให้เย็นแล้วทำการชั่งน้ำหนักที่คงที่

5.4 การคำนวน

% เยื่อใยหยาบ (%CF) = [(A-B) x 100] / C

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักกากที่ย่อยแล้วหลังอบแห้ง

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักเถ้าหลังเผา

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

6. การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (nitrogen free extract, NFE)

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย สามารถคำนวนได้ดังนี้

% NFE = 100-[%moisture + %ash + %CP + %EE + %CF]

เมื่อ %moisture = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

%ash = เปอร์เซ็นต์เถ้า

%CP = เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบ

%EE = เปอร์เซ็นต์ไขมัน

%CF = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารสัตว์โดยใช้วิธี detergent

(Van Soest et al., 1991)

1. การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF)

1.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (berzelius beaker)
2. เครื่องดูดสูญญากาศ
3. filtering flask
4. rubber adapter
5. buchner funnel
6. gooch crucible หรือ glass filtering crucible

1.2 การเตรียมสารเคมี

1. สารฟอกที่มีฤทธิ์เป็นกลาง (neutral detergent solution) การเตรียมสารละลายปริมาตร 10 ลิตร จะเตรียมสารละลายแยกกันก่อนในภาชนะ 3 ส่วน คือ

- ชั่งน้ำหนัก EDTA ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$) จำนวน 186.2 กรัม ร่วมกับ BORAX ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) น้ำหนัก 68.1 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 3 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 ลิตร แล้วคนให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวด้วย stirrer
- ชั่ง Na_2HPO_4 น้ำหนัก 45.6 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร
- ชั่ง sodium laryuryl suphate ($C_{12}H_{25}Na_4O_4S$) น้ำหนัก 300 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 3 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 ลิตร ผสมให้ละลายแล้วเติม 2-ethoxyethanol ($C_4H_{10}O_2$)
- ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 6 ลิตร ลงในถังเก็บสารละลายขนาด 12 ลิตร แล้วเติมสารละลาย sodium laryuryl suphate ที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนข้างต้น ตามด้วยสารละลาย EDTA-BORAX และสุดท้ายเติม Na_2HPO_4 หากสารละลายผสมกันเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์แล้วสารละลายที่ได้จะมี pH ระหว่าง 6.9-7.1 (ใช้กระดาษลิสมัสตรวจสอบค่า pH ของสารละลายที่ได้)

2. acetone: technical grade

3. เอนไซม์ (α-amylase)

1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 0.5-1 กรัม ลงในบีกเกอร์ จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้

2. เติมสารละลาย NDF solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ

3. นำบีกเกอร์ไปต่อเข้ากับ condenser แล้วต้มด้วย heater ที่ นาน 5-10 นาที ให้เดือดแล้วลดความร้อนลงเพื่อไม่ให้เดือดแรงเกินไป ระวังอย่าให้เกิดฟอง เนื่องจากจะทำให้เศษอาหารลอยตัวขึ้นสูงเกาะติดขอบบีกเกอร์จะทำให้การย่อยไม่สม่ำเสมอ

4. ต้มต่อไปเวลานาน 60 นาที หลังจากปรับลดอุณหภูมิลงในระดับต่ำให้พอเดือด

5. ในระหว่างนั้นให้เตรียมถ้วยกรอง (glass filtering crucible) ขนาดของรูเท่ากับ 1 (porosity 1) ซึ่งผ่านการทำความสะอาด อบแห้งในตู้อบร้อนและปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

6. หลังจากการต้มสารละลายในข้อ 4 ครบ 60 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลง (5-10 นาที) แล้วนำไปกรองผ่านถ้วยกรอง (glass filtering crucible) โดยใช้เครื่องสูญญากาศแรงดูดเบาๆ (กรณีไม่มีถ้วยกรองสามารถใช้กระดาษกรอง Whatman No.541 แทนได้; Galyean, 1989) ถ้าหากตัวอย่างคาดว่าจะมีแป้ง ปล่อยให้สารละลายที่ต้มเย็นลงเหลืออุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลาย 2 % α-amylase 1 มิลลิลิตร ต่อสารละลาย NDF 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันเป็นเนื้อเดียวแล้วนำไปต้มเบา ๆ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ก่อนนำไปกรองเพื่อเป็นการละลายแป้งที่เกิด gelatinized ออก การกรองจะง่ายขึ้นและแยกส่วนแป้งออกจากเยื่อใย

7. หลังจากการกรองเสร็จ ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง

8. ล้างต่อด้วย acetone 2 ครั้ง

9. นำถ้วยกรองเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน แล้วนำออกมาปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

10. นำถ้วยกรองเข้าเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

1.4 การคำนวน

%NDF = [(A - B) x 100] / C

%NDF ash = [(A-B') x 100] / C

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักกากที่ย่อยแล้วหลังอบแห้ง

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

B' = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักเถ้าหลังเผา

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF)

2.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (berzelius beaker)
2. เครื่องดูดสูญญากาศ
3. filtering flask
4. rubber adapter
5. buchner funnel
6. gooch crucible หรือ glass filtering crucible

2.2 การเตรียมสารเคมี

1. สารฟอกที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid detergent solution) การเตรียมสารละลายปริมาตร 10 ลิตร จะเตรียมสารละลายแยกกันก่อนในภาชนะ 2 ส่วนรวมกัน คือ

- ชั่ง CTAB ($C_{19}H_{42}NBr$) น้ำหนัก 200 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 ลิตร ผสมเป็นเนื้อเดียวกันด้วย stirrer
- ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 1,725 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร แล้วนำเข้าในตู้ดูดควัน แล้วค่อยๆเติมกรดกำมะถัน (98% sulfuric acid, H_2SO_4) ปริมาตร 725 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวด้วยแท่งแก้ว
- ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 6.7 ลิตร ลงในถังเก็บสารละลาย ADF ขนาด 12 ลิตร แล้วจึงเติมสารละลาย CTAB และสุดท้ายเติมสารละลาย sulfuric acid ผสมให้เป็นเนื้อเดียว

2. acetone: technical grade

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 0.5-1 กรัม ลงในบีกเกอร์ จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้

2. เติมสารละลาย ADF solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ

3. นำบีกเกอร์ไปต่อเข้ากับ condenser แล้วต้มด้วย heater ที่ นาน 5-10 นาที ให้เดือดแล้วลดความร้อนลงเพื่อไม่ให้เดือดแรงเกินไป ระวังอย่าให้เกิดฟอง เนื่องจากจะทำให้เศษอาหารลอยตัวขึ้นสูงเกาะติดขอบบีกเกอร์จะทำให้การย่อยไม่สม่ำเสมอ

4. ต้มต่อไปเวลานาน 60 นาที หลังจากปรับลดอุณหภูมิลงในระดับต่ำให้พอเดือด

5. ในระหว่างนั้นให้เตรียมถ้วยกรอง (glass filtering crucible) ขนาดของรูเท่ากับ 1 (porosity 1) ซึ่งผ่านการทำความสะอาด อบแห้งในตู้อบร้อนและปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

6. หลังจากการต้มสารละลายในข้อ 4 ครบ 60 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลง (5-10 นาที) แล้วนำไปกรองผ่านถ้วยกรอง (glass filtering crucible) โดยใช้เครื่องสูญญากาศแรงดูดเบาๆ

7. หลังจากการกรองเสร็จ ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง

8. ล้างต่อด้วย acetone 2 ครั้ง

9. นำถ้วยกรองเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน แล้วนำออกมาปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2.4 การคำนวน

$$\%ADF = [(A - B) \times 100] / C$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักกากที่ย่อยแล้วหลังอบแห้ง

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์หาลิกนิน (acid detergent lignin, ADL)

3.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (berzelius beaker)
2. เครื่องดูดสูญญากาศ
3. filtering flask
4. rubber adapter
5. buchner funnel
6. gooch crucible หรือ glass filtering crucible

3.2 การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย sulfuric acid 72%; วิธีการเตรียมให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร โดยตวงน้ำกลั่นปริมาตร 690 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 4 ลิตร แล้วนำเข้าในตู้ดูดควันและบีกเกอร์ดังกล่าวลงแช่ในอ่างน้ำเย็น หลังจากนั้นค่อยๆเติมกรดกำมะถัน (98% sulfuric acid, H_2SO_4) ปริมาตร 1310 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวด้วยแท่งแก้ว ปล่อยให้เย็น (ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ค้างคืน) ก่อนนำไปใช้งาน

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ ADL จะดำเนินในตัวอย่างต่อจากการวิเคราะห์ ADF

1. นำถ้วยกรองที่มีเยื่อใย ADF สวมลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร บนถาดรองที่สามารถป้องกันกรด

2. เติมสารละลาย sulfuric acid 72% ลงในถ้วยกรองแต่ละใบ (ปริมาตรประมาณครึ่งถ้วย) พยายามให้เยื่อใยและกรดผสมกันมากที่สุดโดยใช้แท่งแก้วคน ปล่อยแท่งแก้วไว้บนถ้วยกรองแต่ละใบ แล้วค่อยล้างครั้งเดียวเมื่อเสร็จขั้นตอนการวิเคราะห์

3. ให้เพิ่มกรดหากปริมาตรที่เหลือในถ้วยกรองต่ำลง พร้อมทั้งค่อยๆคนด้วยแท่งแก้วทุกครั้งเพื่อให้เยื่อใยจมอยู่ในสารละลายกรดมากที่สุด โดยเติมทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 3 ชั่วโมง (เติมกรด 3 ครั้ง)

4. หลังจากการกรองด้วยกรด นาน 3 ชั่วโมง แล้วให้ล้างแท่งแก้วเยื่อใยผ่านถ้วยกรองด้วยน้ำร้อน ให้แน่ใจว่าได้ละลายเอากรดออกหมด ถ้าหากมีกรดหลงเหลืออยู่จะทำให้ตัวอย่างอาหารไหม้เกรียมหลังนำไปอบแห้ง

5. นำถ้วยกรองในข้อ 4 เข้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน แล้วนำออกมาปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

6. นำถ้วยกรองเข้าเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาปล่อยไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

3.4 การคำนวน

%ADL = [(A - B) x 100] / C

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักกากที่ย่อยแล้วหลังอบแห้ง

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักเถ้า

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

hemicelluloses = NDF-ADF

celluloses = ADF-ADL

lignin = ADL

การวิเคราะห์หาพลังงานรวมในตัวอย่างโดยใช้ adiabatic bomb calorimeter

1. อุปกรณ์

1. automatic adiabatic bomb calorimeter (CA-4PJ; Shimadzu, Kyoto, Japan)
2. the bomb (jacket bomb)
3. กระดาษ หรือถุงพลาสติก สำหรับใส่ตัวอย่างที่ทราบค่าพลังงานที่แน่นอน
4. ลวด (fuse wire)

2. การเตรียมสารเคมี

1. corn starch (standard sample สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดย corn starch จะมีค่าพลังงานเท่ากับ 15246.19 J/g)
2. benzoic acid (standard sample โดย benzoic acid จะมีค่าพลังงานเท่ากับ26.44 J/g)

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในกระดาษที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เพื่อป้องกันการหกหล่นของตัวอย่าง พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก หากเป็นตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น ปัสสาวะ ให้ทำการตวงปริมาตรประมาณ 20 กรัม ลงในถุงพลาสติกที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

2. วางตัวอย่างลงใน crucible หรือ cup ที่วางไว้ใน bomb แล้วตัดลวด (fuse wire) ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร สำหรับเกี่ยวเป็นสะพานระหว่าง electrode ของ bomb มาสัมผัสกับตัวอย่างอาหาร และหมุน bomb เข้ากับเครื่องให้แน่นและปิด pressure release valve แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจน (Oxygen) เข้าไปใน bomb ปริมาตร 20 atmospheres gauge pressure

3. นำ bomb ไปต่อกับ bucket ในเครื่อง Automatic adiabatic bomb calorimeter

4. ปิดฝาเครื่อง Automatic adiabatic bomb calorimeter แล้วกดปุ่มเริ่มการเผาไหม้ (start) เครื่อง Automatic adiabatic bomb calorimeter จะทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อเครื่องทำงานเสร็จสิ้น (finish) ทำการจดบันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวน

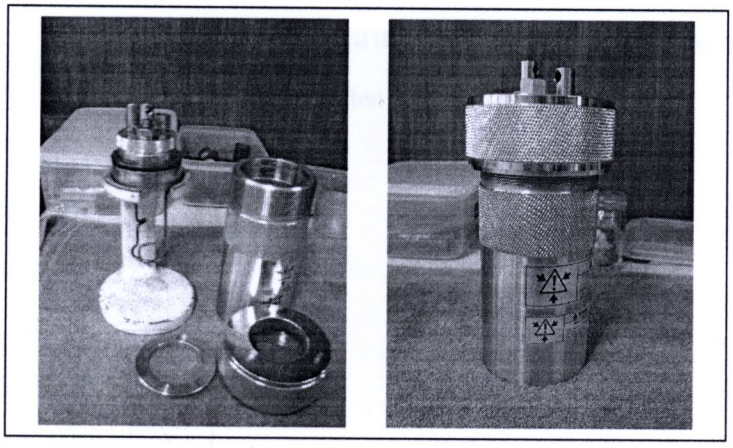
$$\text{gross energy (GE, J/g)} = [\text{FIN}-(A \times B)] / C$$

เมื่อ FIN = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Automatic adiabatic bomb calorimeter เมื่อวิเคราะห์เสร็จสิ้น

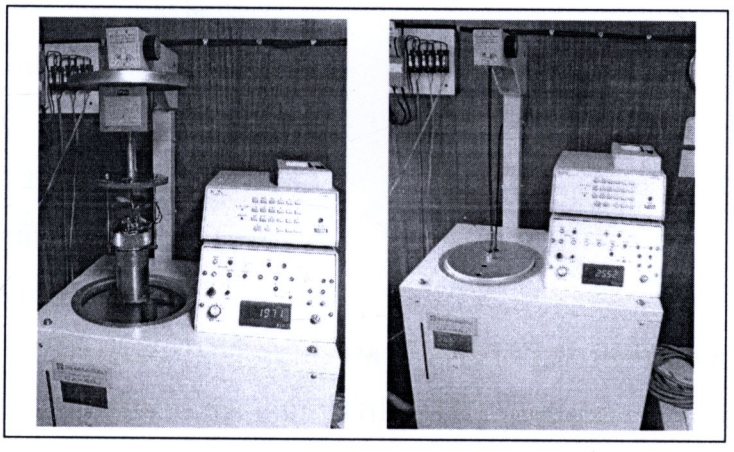
A = ค่าพลังงานของกระดาษ (16050 J/g) หรือถุงพลาสติก (46188 J/g)

B = น้ำหนักกระดาษหรือถุงพลาสติก

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



ส่วนประกอบภายใน bomb และ bomb



เครื่อง automatic adiabatic bomb calorimeter

ภาพภาคผนวกที่ 3.1 แสดงเครื่อง automatic adiabatic bomb calorimeter

การวิเคราะห์หาเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA)

(Van Keulen and Young, 1997)

3.1 อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. hot plate
3. กระดาษกรอง (Whatman No. 41)
4. เบ้ากระเบื้อง
5. กรวยกรอง
6. บีกเกอร์ (berzelius beaker)
7. desiccators

3.2 สารเคมี

1. HCl 2 N
2. น้ำกลั่น

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมเบ้ากระเบื้องโดยล้างให้สะอาด แล้วนำไปเผา 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่งโมง (รอให้เย็นประมาณ 8 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ใน desiccators นาน 30 นาที แล้วทำการชั่งบันทึกน้ำหนัก

2. นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ชั่งลงในเบ้ากระเบื้อง โดยใช้ตัวอย่าง 5 กรัมต่อซ้ำ แล้วนำไปเผา 500 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่งโมง (รอให้เย็นประมาณ 8 ชั่วโมง)

3. นำตัวอย่างเถ้าที่อยู่ในเบ้ากระเบื้องเทลงใน berzelius beaker ซึ่งต้องเทให้หมดและระวังไม่ให้เถ้าฟุ้งกระจายสูญหาย หลังจากนั้นเติม HCl 2 N ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

4. นำไปต้มให้เดือดเบา ๆ นาน 5 นาที่

5. นำสารผสมที่อยู่ใน berzelius beaker ทั้งหมดกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 41 โดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ชะล้างภายใน berzelius beaker ให้สะอาด หลังจากนั้นล้างกรดออกให้หมด (ล้างประมาณ 3 ครั้ง)

6. หลังจากกรองเสร็จแล้ว นำตัวอย่างที่กรองได้และกระดาษที่ใช้กรองใส่ลงในเบ้ากระเบื้องอันเดิม นำไปอบให้แห้ง แล้วนำไปเผา 500 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่งโมง (รอให้เย็นประมาณ 8 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ใน desiccators นาน 30 นาที แล้วทำการชั่งบันทึกน้ำหนัก

3.4 การคำนวน

%AIA = [(A - B) x 100] / C

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักเถ้าที่ไม่ละลายในกรด

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมักโดยวิธีการกลั่น (Bromner and Keeney, 1965)

การหาปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียของของเหลวจากกระเพาะหมัก สามารถหาไนโตรเจนได้โดยอาศัยกระบวนการกลั่นร่วมกับการใช้ด่าง sodium hydroxide (NaOH) 35 % เพื่อทำให้แอมโมเนียมแตกตัวออกมาและเมื่อถูกความร้อนแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) จะถูกกลั่นออกมารวมกับน้ำ โดยมีกรดบอริคและอินดิเคเตอร์ทำหน้าที่จับแอมโมเนียมที่กลั่นออกมา แล้วทำการไตรเตรทกับกรดเพื่อหาระดับปริมาณของกรด sulfuric acid (H_2SO_4) 1 N ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจนถึงจุดยุติ (end point) เพื่อแปลผลของไนโตรเจนที่มีในตัวอย่างโดยการคำนวนต่อไป โดยหลักการ 0.01 มิลลิกรัมของ ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_3-N) จะต้องใช้ H_2SO_4 0.01 N ในการไตรเตรทปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

1. อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องมือกลั่นวิเคราะห์หาโปรตีน (distillation)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลาย (centrifuge)
3. เครื่องชั่งสาร ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. บิวเรต (สำหรับการไตรเตรท)
5. ขวดชมพู่ (erlenmeryer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ปิเปต และ บีกเกอร์

2. สารเคมี

1. sulfuric acid (H_2SO_4) 0.01 N (เตรียมจาก sulfuric acid 0.5489 มิลลิลิตร หรือ 1.0099 กรัม ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ1000 มิลลิลิตร)

2. sodium hydroxide (NaOH) 35 % (เตรียมจาก NaOH 35 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

3. boric acid 4 % (เตรียมจาก boric acid 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

4. indicator (เตรียมจาก methyl read 0.3125 กรัม ร่วมกับ methylene blue 0.2062 กรัม ละลายใน 95 % ethanol ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง

5. น้ำกลั่น

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง (ของเหลวจากกระเพาะหมัก) ปริมาตร 150-200 มิลลิลิตร นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ นาน 5 นาที เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นของแข็งและสารแขวนลอยออก เพื่อเอาส่วนที่ใสมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย

2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 ประมาณ 15 มิลลิลิตร แล้วทำการละลายในน้ำกลั่น 85 มิลลิลิตร (สารละลายรวมจะมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ใส่หลอดย่อย (distillation test tube)

3. เติมด่าง sodium hydroxide (NaOH) 35 % ประมาณ 50 มิลลิลิตร ปริมาณมากเกินพอในการทำปฏิกิริยา (สารละลายจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีเหลืองดำขุ่น)

4. ทำการกลั่นตัวอย่างทันทีหลังจากาการเติมด่าง แล้วทำการเก็บสารละลายโดยใช้ขวดรูปชมพู่ (erlenmeryer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ร่วมกับกรดบอริค 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร โดยทำการเก็บเอาสารละลายที่ได้จากกระบวนการกลั่นประมาณ 200 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้จากกระบวนการกลั่นจะมีสีเขียวอ่อนใส)

5. ทำการไตรเตรทสารละลายที่ได้ด้วยกรด sulfuric acid (H_2SO_4) 0.01 N จนถึงจุดยุติ (end point) (สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนใสเป็นสีชมพูม่วง) ทำการจดบันทึกปริมาณกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแล้วนำค่าที่ได้ไปแปลผลโดยการคำนวนต่อไป

4. การคำนวน

ammonia nitrogen (NH3-N) mg/dl = ml H_2SO_4 X 0.01

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

ประวัติผู้เขียน

นายฉัตรชัย แก้วพิลา เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2527 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์บางพระ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน จังหวัดน่าน เมื่อ พ.ศ. 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท เมื่อปี พ.ศ. 2550 ระหว่างทำการศึกษาได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2552 และได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จาก ทุนอุดหนุนทั่วไปปี 2552 ชุดโครงการวิจัยเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อ โคนม โคพื้นเมืองไทยอย่างยั่งยืน ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)