บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทย

รูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกรไทยส่วนใหญ่จะทำนาควบคู่กับการเลี้ยงโค โดยจะทำนาเป็นอาชีพหลัก และเลี้ยงโคเป็นอาชีพเสริม มีจำนวนโคเฉลี่ยไม่เกิน 10 ตัวต่อครัวเรือน การเลี้ยงโคโดยทั่วไปเป็นการปล่อยแทะเล็มหญ้าในเวลากลางวัน ซึ่งจะเริ่มปล่อยโคออกจากคอกในตอนเช้า และนำโคเข้าขังในคอกเวลากลางคืน สถานที่แทะเล็มส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของตนเองหลังการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ทุ่งหญ้าสาธารณะ ริมทาง ไหล่ถนน ชายป่า และบนภูเขา ส่วนคอกขังโคจะอยู่ใกล้บ้าน หรืออาจจะมีคอกหลายแห่ง เช่น ใกล้ตัวบ้าน บริเวณที่นา และชายป่า เป็นต้น ในช่วงฤดูฝนโคมักจะถูกขังคอกตลอด เนื่องจากไม่มีพื้นที่ว่างปล่อยแทะเล็ม เพราะพื้นที่ถูกใช้ในการปลูกข้าวและทำไร่ ผู้เลี้ยงโคจะขังโคไว้ในคอกและเกี่ยวหญ้าตามหัวไร่ปลายนาและอาจจะเสริมด้วยฟางข้าว การเลี้ยงโคเปรียบเสมือน “บัญชีเงินฝากประเภทประจำ” ของเกษตรกร เพราะเมื่อจำเป็นต้องใช้เงินก้อนใหญ่ เช่น งานแต่งงาน งานบวช งานศพ หรือเจ็บไข้ได้ป่วย ก็สามารถขายโคเพื่อนำเงินไปใช้ตามความต้องการได้ (ปิ่น, 2550; สมพร และคณะ, 2550; ศรเทพ, 2548)

โคเนื้อเป็นสัตว์เลี้ยงที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย นับตั้งแต่การนำโคมาใช้เป็นแรงงานในการทำการเกษตร เช่น การเตรียมดินเพาะปลูกพืช เป็นพาหนะในการขนส่ง (กฤตพล, 2550ข) แต่ในปัจจุบันเกษตรกรหันมาเลี้ยงโคเพื่อการบริโภคเนื้อโดยเฉพาะมากขึ้น เช่น สหกรณ์โคขุนโพนยางคำ จ.สกลนคร มีจำนวนสมาชิก 4,000 กว่าคน สหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน จ.นครปฐม มีจำนวนสมาชิก 183 คน รวมถึงภาคเอกชนที่เป็นผู้ประกอบธุรกิจโคขุนรายใหญ่ เช่น ลุงเชาว์ฟาร์ม จ.สุพรรณบุรี และบริษัท 505 จำกัด จ.นครราชสีมา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ความสำคัญของโคเนื้อก็ไม่ได้ลดลงแต่อย่างใด (ธำรงศักดิ์, 2531) ดังจะเห็นได้จากการรายงานของ กรมปศุสัตว์ (2553) ระบุว่า ในปี 2553 ประเทศไทยมีโคเนื้อจำนวน 6,426,853 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อพิจารณาทุกภูมิภาคของประเทศ พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนประชากรโคเนื้อ 3,325,794 ตัว ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.8 ของจำนวนประชากรโคเนื้อทั้งหมด รองลงมา คือ ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ โดยคิดเป็นร้อยละ 19.4, 18.7 และ 10.1 ของจำนวนประชากรโคเนื้อทั้งหมด ตามลำดับ

นอกจากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว โคยังมีความสำคัญในการเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญสำหรับคนไทย เนื่องจากเนื้อโคมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีโปรตีน

ประมาณ 20.3-21.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด (นัทธมน และ กฤตพล, 2553) จึงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งโปรตีนของประชากรในประเทศเป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณโคเนื้อและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศจากรายงานล่าสุดของกรมปศุสัตว์ (2551) พบว่า โคเนื้อและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 1,413.8 ล้านบาท แต่มีการนำเข้ามากถึง 9,647.7 ล้านบาท ทำให้ประเทศไทยขาดดุลการค้ามากถึง 8,233.9 ล้านบาท จากการรายงานดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าโคเนื้อและผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้น การเพิ่มจำนวนและการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณการนำเข้าและช่วยเหลือเศรษฐกิจของประเทศให้ดีขึ้นได้ (ปิ่น, 2550)

ตารางที่ 2.1 จำนวนประชากรโคเนื้อ (ตัว) แสดงเป็นรายภาค และรวมทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี 2542 - 2553

ปี พ.ศ.	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคใต้	รวมทั่วประเทศ
2542	855,232	2,219,437	875,403	685,669	4,635,741
2543	849,237	2,522,961	943,251	585,165	4,900,614
2544	1,022,264	2,573,233	1,025,750	606,357	5,227,604
2545	936,075	2,910,823	1,132,292	570,995	5,550,185
2546	984,069	3,078,149	1,297,460	556,645	5,916,323
2547	1,001,425	3,693,782	1,326,987	646,138	6,668,332
2548	1,296,820	4,092,206	1,636,851	770,395	7,796,272
2549	1,315,270	4,316,949	1,564,797	839,041	8,036,057
2550	1,516,298	4,501,769	1,953,406	876,919	8,848,392
2551	1,553,668	4,931,389	1,847,601	779,435	9,112,093
2552	1,496,033	4,655,444	1,677,932	766,019	8,595,428
2553	1,249,875	3,325,794	1,202,857	648,327	6,426,853

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2553)

2.2 พันธุ์โคเนื้อที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทย

โค (cattle) จัดเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) ที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในโลก เมื่อพิจารณาถึงสายพันธุ์โคที่เลี้ยง โดยทั่วไปสายพันธุ์โคเมื่อแบ่งตามถิ่นกำเนิดจะมี 2 ชนิด คือ โค

อินเดียหรือโคซีบู (*Bos indicus*) และโคยุโรป (*Bos taurus*) ซึ่งโคทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัด คือ โคอินเดีย เป็นโคเมืองร้อนที่มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย ปากีสถาน เอเชีย และแอฟริกา ส่วนโคยุโรปเป็นโคเมืองหนาวที่มีถิ่นกำเนิดในยุโรป โดยโคอินเดียเป็นโคที่เลี้ยงง่าย ใช้งานได้ดี ทนต่อความร้อน โรคและแมลง แต่มีขนาดตัวค่อนข้างเล็ก โตช้า และมีลักษณะรูปร่างไม่เป็นโคเนื้อตามระดับมาตรฐานสากล ส่วนโคยุโรปเป็นโคที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เป็นโคเนื้อโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงมีรูปร่างขนาดใหญ่และเป็นทรงสามเหลี่ยม มีกล้ามเนื้อเห็นเด่นชัด มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แต่ไม่ทนต่อสภาพภูมิอากาศตลอดจนโรคและแมลงในเขตร้อนชื้น เพราะไม่ได้มีการคัดเลือกมาให้ทนต่อสภาพอากาศร้อนชื้น (ศรเทพ, 2548; WTSR, 2010) สำหรับโคเนื้อที่เลี้ยงในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 โคพันธุ์พื้นเมือง (Native cattle)

โคพันธุ์พื้นเมืองมีการเลี้ยงมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดในสายพันธุ์ดั้งเดิมและประวัติความเป็นมาในอดีต โคพันธุ์พื้นเมืองจัดอยู่ในกลุ่มโคอินเดีย มีลักษณะรูปร่างกะทัดรัด ลำตัวเล็ก ขาเรียวเล็กยาว เพศผู้มีหนอกขนาดเล็ก มีเหนียงคอ แต่ไม่หย่อนยานมาก หูเล็ก หนังใต้ท้องเรียบ มีสีที่ไม่แน่นอน เช่น สีแดงอ่อน เหลืองอ่อน ดำ ขาวนวล น้ำตาลอ่อน และอาจมีสีประรวมอยู่ด้วย เพศผู้น้ำหนักโตเต็มวัยที่ประมาณ 300 – 350 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 200 – 250 กิโลกรัม (จีรสิทธิ์, 2549; ชาญชัย, 2546)

โคพันธุ์พื้นเมืองของไทยมีความแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศ แบ่งออกตามลักษณะรูปร่างภายนอก และวัตถุประสงค์การเลี้ยงได้ 4 สายพันธุ์ คือ

1. โคพันธุ์พื้นเมืองสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

มีการเลี้ยงกันมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งตอนล่างและตอนบน โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลี้ยงเพื่อใช้ลากจูง เทียมเกวียน และเป็นอาหารที่สำคัญในงานพิธีและเทศกาลที่สำคัญ ลักษณะประจำพันธุ์มีรายละเอียดดังนี้ คือ หน้ายาวบอบบาง หน้าผากแคบ ดวงตาขนาดปานกลาง ขนสั้นเกรียน จมูกแคบ ใบหูสั้นปลายแหลม เขาสั้นถึงยาวปานกลางและมีลักษณะตั้งขึ้น ลำคอบอบบางค่อนข้างยาว ใต้คอมีเหนียงเป็นแบบแคบเล็กกว่าโคอินเดียพันธุ์อื่น โหนกมีขนาดตั้งแต่เล็กถึงขนาดโต กระดูกขาค่อนข้างยาวและบอบบาง ข้อเท้าระหว่างกีบและแข้งค่อนข้างยาว ลำตัวป่องตรงกลาง บั้นท้ายลาดลงเล็กน้อย โคนหางสูง หางเล็กแต่ยาวและพุ่มหางเล็กน้อย ขาหลังคอนข้างโก่ง โดยทั่วไปมีลำตัวสีน้ำตาลแกมแดง แต่อาจมีสีแตกต่างกัน เช่น สีเหลืองนวล แดง ดำ น้ำตาล และด่าง เป็นต้น กีบมีสีดำ เหนียงสะดือสั้นติดพื้นท้อง เพศผู้ลึงค์ติดพื้นท้อง มีรูปร่างขนาดเล็ก เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 350 - 450 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่

ประมาณ 230 – 260 กิโลกรัม (กรมปศุสัตว์, 2543; บุญฤา, 2533; วรินทร และศรเทพ, 2551; สมพร และคณะ, 2550)

2. โคพันธุ์พื้นเมืองสายภาคเหนือ หรือโคขาวลำพูน

เป็นโคพื้นเมืองสำหรับใช้งาน พบมากในอำเภอต่างๆ ของจังหวัดลำพูนและเชียงใหม่ และแพร่กระจายไปยังอำเภอต่างๆ ของจังหวัดลำปาง พะเยา และเชียงราย มีลักษณะประจำพันธุ์คือ หน้าผากแบน นัยน์ตาสีน้ำตาลดำ ขนตาสีขาว ขอบตาและจมูกมีสีชมพูส้มไม่มีจุดด่างขาว เขาสีน้ำตาลส้มเนื้อละเอียด ใบหูเล็กและกาง โหนกมีขนาดปานกลาง เหนียงคอมีขนาดปานกลาง ขนเกรียนสีขาวตลอดทั้งลำตัว กีบมีสีน้ำตาลเข้ม เหนียงสะดือสั้นติดพื้นท้อง ขนพู่หางมีสีขาว เป็นโคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 400 - 500 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 250 – 300 กิโลกรัม จากคุณสมบัติที่มีลักษณะเด่นและเป็นลักษณะเฉพาะพันธุ์ โคขาวลำพูนจึงได้รับการคัดเลือกเพื่อใช้ในพระราชพิธีที่สำคัญของไทย เช่น พระราชพิธีจรดพระนังคัลแรกนาขวัญ (กรมปศุสัตว์, 2543; ชำนาญ, 2550; สมพร และคณะ, 2550)

3. โคพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ หรือโคชน

นิยมเลี้ยงกันมากทางภาคใต้ โคสายพันธุ์นี้จัดว่าเป็นโคพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่มีรูปร่างดี กล้ามเนื้อล่ำสันและมีลักษณะแข็งแรงกว่าโคสายพันธุ์อื่นในประเทศ สามารถใช้แรงงานได้ดี โคสายพันธุ์นี้ยังมีความโดดเด่นที่มีการเจริญเติบโตดีในท้องที่ที่มีความชื้นสูง เช่น ภาคใต้ของประเทศไทย โคพื้นเมืองในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นโคที่ได้รับการเลี้ยงดูและพัฒนาพันธุ์ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการแข่งขันชนโค ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางและถือเป็นกีฬาพื้นบ้านที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สืบทอดกันมาช้านานจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงเพื่อใช้เป็นแรงงานในการทำนาด้วย (สมพร และคณะ, 2550; สุทิสา และคณะ, 2550; อนันตเดช และคณะ, 2552)

จากการที่คนภาคใต้ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำนา เมื่อหลังฤดูเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน ชาวนาจะปล่อยโคออกหากินตามท้องทุ่งเป็นฝูงใหญ่ โคจากในหมู่บ้านมีโอกาสพบกัน ประกอบกับเป็นช่วงฤดูผสมพันธุ์โคตัวผู้จึงชนกันแย่งชิงเป็นจ่าฝูง เพื่อจะได้ยึดครองโคตัวเมีย ชาวบ้านจึงได้เห็นลีลาการชนของโคบางตัว เกิดความรู้สึกพอใจ ประทับใจ และคัดเลือกไว้เป็นโคชน ซึ่งโคชนจะต้องเป็นโคตัวผู้ที่มีลักษณะดี มีอายุประมาณ 4-5 ปี ต้องมีสายพันธุ์เป็นโคชนโดยเฉพาะ ผ่านการเลี้ยงดูฟิตซ้อมร่างกายให้แข็งแรงและฝึกชนบ่อยๆ จนกลายเป็นโคชนที่มีคุณสมบัติเด่นเฉพาะ เช่น แข็งแรง สมบูรณ์ มีไหวพริบในการชน และทรหดอดทนเป็นพิเศษ เป็นต้น โคชนมีมากที่สุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง ตรัง และสงขลา มีลักษณะประจำพันธุ์คือ มีขนสีน้ำตาล ดำ สีน้ำตาลดำ และสีลาย ไม่มีเหนียงสะดือ มีเหนียงคอบาง เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่

ประมาณ 400 - 500 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 250 – 300 กิโลกรัม (บัญชา, 2543; สมพร และคณะ, 2550)

4. โคพันธุ์พื้นเมืองสายภาคกลาง หรือโคลาน

โคลานเป็นโคที่นิยมเลี้ยงกันมากในภาคกลาง โดยเฉพาะจังหวัดเพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ นครปฐม และสุพรรณบุรี จากการที่เกษตรกรในจังหวัดดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำนา พอถึงฤดูเก็บเกี่ยวข้าวเกษตรกรจะนำข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้วมาวางเรียงวนในลักษณะวงกลม มีเสาไม้เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับผูกโคราว (คาน) โดยใช้วิธีขอแรงงานจากโคของเพื่อนบ้านมาช่วย ซึ่งจะผูกโคเรียงเป็นแถวรายตัวให้พอเพียงกับข้าวที่ตั้งกองรายล้อมไว้ จากนั้นไล่โควิ่งวนเวียนรอบๆ เสาไม้ที่ปักไว้จนกว่าเมล็ดข้าวจะร่วงหล่นจากราง เกษตรกรจะช่วยกันเก็บฟางข้าวออกจนหมดให้เหลือเฉพาะเมล็ดข้าวเปลือก หลังจากเสร็จสิ้นการเก็บข้าวแล้ว เกษตรกรมีเวลาว่างในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม จึงมีผู้คิดนำวิธีการดังกล่าวมาใช้ และเพิ่มจำนวนโคที่วิ่งให้มากขึ้น โดยนิยมจัดแข่งขันบริเวณวัด ต่อมาเริ่มจัดการแข่งขันนอกวัดด้วย โคลานมีลักษณะประจำพันธุ์คือ มีนิสัยเปรียว ตื่นตกใจง่าย ลำตัวยาวบาง มีขนสีแดง สีน้ำตาลอ่อน ดำ และด่าง ไม่มีเหนียงสะดือ และมีเหนียงคอบาง เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 350 - 400 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 250 – 300 กิโลกรัม (กรมปศุสัตว์, 2551; สมพร และคณะ, 2550)

โคพันธุ์พื้นเมืองของไทยเลี้ยงง่าย หากินเก่งและไม่เลือกอาหาร เพราะผ่านการคัดเลือกตามธรรมชาติในการเลี้ยงแบบไล่ต้อน ใช้แรงงานได้ดีและสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงโดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นที่ ทนต่อโรคและแมลง ให้ลูกดก ส่วนใหญ่ให้ลูกปีละตัว แม่โคพันธุ์พื้นเมืองเหมาะที่จะนำมาผสมกับพ่อพันธุ์หรือผสมเทียมกับพันธุ์อื่นๆ เช่น โคพันธุ์บราห์มัน โคพันธุ์ตาก และโคพันธุ์กำแพงแสน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม โคพันธุ์พื้นเมืองของไทยเป็นขนาดเล็กเพราะถูกคัดเลือกมาในสภาพการเลี้ยงที่มีอาหารจำกัด ไม่เหมาะที่จะนำมาเลี้ยงขุนเพราะไม่สามารถทำน้ำหนักซากได้ตามที่ตลาดโคขุนต้องการ คือ น้ำหนักมีชีวิต 450 กิโลกรัม และเนื้อไม่มีไขมันแทรก และเนื่องจากแม่โคมีขนาดเล็กจึงไม่เหมาะที่จะผสมกับโคพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ชาร์โลเลย์ และซิมเมนทัล เพราะอาจมีปัญหาการคลอดยาก (กรมปศุสัตว์, 2551)

2.2.2 โคพันธุ์อเมริกันบราห์มัน (American Brahman)

โคพันธุ์อเมริกันบราห์มันมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย ได้รับการคัดเลือกและถูกนำไปปรับปรุงพันธุ์ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยโคบราห์มันเป็นโคที่พัฒนาสายพันธุ์มาจากพันธุ์ดั้งเดิมของโคเมืองร้อนหลายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ Guzerat พันธุ์ Nellore หรือ Ongole พันธุ์ Gyr พันธุ์ Krishna และ พันธุ์ Valley เป็นต้น มีลักษณะประจำพันธุ์คือ เป็นโคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 800 – 1,000 กิโลกรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 500

– 600 กิโลกรัม ลำตัวจะมีสีขาวและสีเทาอ่อน และอาจจะมีสีออกแดงหรือสีดำ จมูกริมฝีปาก ขนตา กีบเท้าและพู่หางมีสีดำ หูยาวและปรก เขามีขนาดยาวถึงปานกลาง ร่างกายบริเวณลำตัวยาวและมีความลึกได้สัดส่วน ผิวหนังมีลักษณะยืดหยุ่น หลังตรง ตัวผู้จะมีตะโหนกใหญ่เห็นได้ชัด เหนียงคอและหนังใต้ท้องหย่อนยาน โคนหางใหญ่ สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศร้อนของเมืองไทยได้ดี ทนทานต่อโรคและแมลง โตเร็ว เหมาะสำหรับเป็นโคพื้นฐานเพื่อผลิตโคเนื้อคุณภาพดี ปัจจุบันนิยมผสมข้ามสายพันธุ์กับโคยุโรป เช่น ผสมกับโคพันธุ์ชาร์โรเลย์เพื่อผลิตโคขุน ผสมกับโคพันธุ์ซิมเมนทอลเพื่อผลิตโคกึ่งเนื้อกึ่งนม เป็นต้น (ธำรงศักดิ์, 2531; สุรชัย, 2530; ศรเทพ, 2548)

โคพันธุ์บราห์มันมีข้อเสีย บางประการที่มีอัตราการผสมติดค่อนข้างต่ำ มีอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกช้า โดยให้ลูกตัวแรกเมื่ออายุ 36 เดือน ซึ่งช้ากว่าโคพื้นเมืองสายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สายภาคเหนือ และสายภาคกลาง ที่ให้ลูกตัวแรกเมื่ออายุ 33 เดือน และให้ลูกค่อนข้างห่าง โดยมีช่วงห่างการให้ลูกนาน 500 วัน ซึ่งช้ากว่าโคพันธุ์พื้นเมืองทุกสายภาคของไทย ที่มีช่วงห่างการให้ลูก 365 - 380 วัน ส่วนใหญ่เลือกกินหญ้าที่มีคุณภาพดี เมื่อหญ้าขาดแคลนจะทรุดง่าย ซึ่งจะเห็นได้จากเมื่อปล่อยเข้าแปลงหญ้า จะเดินตระเวนไปทั่วแปลงหญ้าก่อนแล้วจึงค่อยเลือกกินหญ้า ตลอดจนเนื้อมีความชุ่มฉ่ำน้อย และตื่นตกใจง่าย (กรมปศุสัตว์, 2551; ศรเทพ, 2548)

2.2.3 โคพันธุ์ฮินดูบราซิล (Indu-Brazil)

เป็นโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียเช่นเดียวกับโคพันธุ์บราห์มัน แต่ทำการปรับปรุงพันธุ์ในประเทศบราซิล จึงเรียกว่า ฮินดูบราซิล มีลักษณะประจำพันธุ์คือ มีสีตั้งแต่สีขาวจนถึงสีเทาเกือบดำ สีแดงหรือสีแดงเรื่อๆ มีหน้าผากมีโหนกกว้างค่อนข้างยาว คอใหญ่ ลักษณะที่โดดเด่นคือ มีหูยาวปลายหูบิดเล็กน้อย มีเขาแข็งแรงมักจะเอนไปด้านหลัง หนอกมีขนาดใหญ่ ผิวหนังและเหนียงหย่อนยานมาก เป็นโคที่มีขนาดใหญ่และมีรูปร่างสูงโปร่ง ลำตัวยาว มีความสวยงามสง่ามากจนเรียกว่าเป็นโคสวยงาม เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 900 - 1,200 กิโลกรัม เพศเมียจะมีน้ำหนักประมาณ 600 - 700 กิโลกรัม เป็นโคที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในเขตร้อนได้ดี ทนต่อโรคและแมลง แต่มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะที่จะเลี้ยงเป็นโคเนื้อที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นโคขนาดใหญ่ สร้างกล้ามเนื้อช้า ผู้เลี้ยงโคขุนจึงไม่นิยมนำไปเลี้ยงขุน อาจเป็นเพราะในบ้านเราในอดีตนิยมเลี้ยงตัวที่มีลักษณะสวยงาม เช่น หูยาว หน้าผากมีโหนกกว้าง แทนที่จะเลือกโคที่โตเร็ว การส่งเสริมให้เลี้ยงโคพันธุ์นี้มากขึ้นจะเป็นการทำลายเศรษฐกิจของประเทศ เพราะจะไปแย่งทรัพยากรที่ควรใช้ในการเลี้ยงโคพันธุ์อื่นที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจมากกว่า ตลอดจนการเลี้ยงต้องเอาใจใส่ดูแลพอสมควร ไม่เหมาะที่จะนำไปปล่อยเลี้ยงในป่าหรือปล่อยทุ่งโดยไม่ดูแลเอาใจใส่ (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.4 โคพันธุ์ชาร์โรเลย์ (Charolais)

เป็นโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในจังหวัด Charolles ประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ เป็นโคขนาดใหญ่ คอสั้น รูปร่างยาว และเพรียวกว่าพันธุ์อื่นๆ เพราะเคยถูกใช้เป็นแรงงานมาก่อน ลำตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสีขาวถึงครีม อาจมีสีแดงปะปนโดยเฉพาะบริเวณจมูก รอบตา และใต้สะดือ หลังตรง มีมัดกล้ามเนื้อใหญ่โดยเฉพาะส่วนบั้นท้าย อาจมีเขาหรือไม่มีก็ได้ เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 900 - 1,200 กิโลกรัม เพศเมียจะมีน้ำหนักประมาณ 700 - 800 กิโลกรัม มีการเจริญเติบโตเร็ว ให้ลูกที่มีสุขภาพแข็งแรง แม่โคให้นมดี เลี้ยงลูกเก่ง มีคุณภาพซากดีมากและให้ผลผลิตเนื้อดีเยี่ยม เนื้อมีไขมันแทรก (marbling) เมื่อนำผสมข้ามสายพันธุ์ ลูกผสมที่ได้จะโตเร็วและสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีพอสมควร เช่น ผสมกับโคพันธุ์อเมริกันบราห์มัน จะได้ลูกผสมที่เรียกว่า พันธุ์ชาร์เบรย์ (Charbray) มีข้อเสียคือ การเลี้ยงโคพันธุ์แท้หรือมีสายเลือดสูงๆ ในประเทศไทยค่อนข้างยาก เนื่องจากไม่สามารถทนต่อสภาพอากาศในเขตร้อน และไม่เหมาะที่จะใช้ผสมกับแม่โคขนาดเล็ก เพราะอาจจะทำให้คลอดยาก มีอายุถึงวัยเจริญพันธุ์และเป็นสัดช้า และระบบสืบพันธุ์ไม่ค่อยดี (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.5 โคพันธุ์ลิมัวซีน (Limousine)

เป็นโคเนื้อที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะประจำพันธุ์คือ มีสีเหลืองทองจนถึงสีเหลืองแดงเข้ม แต่บางส่วนของร่างกายอาจมีสีจาง เช่น ใต้ท้อง คาง ซอกขา และขา เป็นต้น เขามีลักษณะขนานกับพื้น และปลายเขาโค้งงอขึ้นข้างบน มีลักษณะตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลำตัวลึกและยาว มีกล้ามเนื้อสะโพกมากเป็นพิเศษ เป็นโคขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีขนาดเล็กกว่าโคพันธุ์ชาร์โรเลย์เล็กน้อย เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 800 - 900 กิโลกรัม และเพศเมียจะมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 600 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง คลอดง่าย ถูกปรับปรุงพันธุ์มาเพื่อใช้ขุนในทุ่งหญ้าโดยเฉพาะลูกโคแรกเกิดมีน้ำหนักสูงมาก แต่คุณภาพซากปานกลาง ให้เนื้อแดงมาก แต่ความชุ่มฉ่ำของเนื้อมีน้อย (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.6 โคพันธุ์เฮียฟอร์ด (Hereford)

เป็นโคพันธุ์พื้นเมืองของอังกฤษ และเป็นพันธุ์ที่มีชื่อเสียงมาก เป็นโคที่มีรูปแบบของโคเนื้อที่สมบูรณ์ที่สุด มีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่มาก เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 1,000 กิโลกรัม เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 860 กิโลกรัม มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ลำตัวมีสีแดง มีสีขาวบริเวณหน้า หน้าอก เหนียงคอ และบริเวณพื้นท้อง แผงลำคอมีสีแดง รูปร่างหนาเตี้ยและสั้น มีลักษณะเฉพาะคือ มีความสามารถในการหากินอาหารในทุ่งหญ้าสูง เดินทางได้ไกล ทนทานต่ออากาศร้อนและแห้งแล้งได้ดี หากินและปรับตัวเก่ง มีนิสัยเชื่อง ประสิทธิภาพการ

สืบพันธุ์สูง มีความสามารถในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง ขุนให้อ้วนได้ง่ายและผลิตเนื้อมาก แต่มีข้อเสียคือ ผลผลิตนมต่ำ มักมีปัญหาตามองไม่เห็นเพราะเป็นโรคมะเร็งตา และเป็นตาแดง เพราะมีสารสีที่ตา นอกจากนี้มักจะพบปัญหาเรื่องรกค้าง (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.7 โคพันธุ์ซิมเมนทอล (Simmental)

เป็นโคที่มีถิ่นกำเนิดจากหุบเขาซิมเมของประเทศสวิทเซอร์แลนด์ มีจุดประสงค์เพื่อให้น้ำนมและเนื้อ มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ มีสีแดงเข้มตลอดลำตัว หรืออาจจะมีสีดำ และสีขาวครีมจนถึงเหลือง มีจุดสีขาวตามลำตัวหรือแถบขาวบนหัวไหล่ ใบหน้าและพื้นท้องมีสีขาว ลำตัวยาว เป็นโคที่มีขนาดใหญ่ ให้นมดี มีอัตราการเจริญเติบโตดี แม่โคเลี้ยงลูกเก่ง การทรงตัวดีมาก และให้เนื้อดีมาก จัดว่าเป็นโคพันธุ์ที่มีความโดดเด่นในประเทศสวิทเซอร์แลนด์และฝรั่งเศส แต่มีข้อเสียคือ ถ้าเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้หรือมีสายเลือดสูงๆ จะไม่ทนต่อสภาพอากาศในเขตร้อน ไม่เหมาะที่จะใช้ผสมกับแม่โคขนาดเล็ก เพราะอาจทำให้คลอดยาก เนื้อมีสีแดงเข้ม เมื่อเลี้ยงเป็นโคขุนทำให้เนื้อไม่ได้รับความนิยมเท่ากับพันธุ์ชาร์โรเลย์ (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.8 โคพันธุ์ตาก (Tak)

เป็นโคพันธุ์ลูกผสมระหว่างโคพันธุ์ชาร์โลเลย์กับโคพันธุ์บราห์มัน ได้รับการปรับปรุงพันธุ์โดยกรมปศุสัตว์ เพื่อใช้เป็นโคพันธุ์ใหม่ที่โตเร็ว เนื้อนุ่ม เพื่อทดแทนการนำเข้าพันธุ์โคและเนื้อโคจากต่างประเทศ โคพันธุ์ตากมีสายเลือดโคพันธุ์ชาร์โลเลย์สูงถึง 62.50 เปอร์เซ็นต์ มีการเติบโตเร็ว เนื้อนุ่ม เนื้อสันมีไขมันแทรก ซากมีขนาดใหญ่ที่สนองความต้องการของตลาดเนื้อโคคุณภาพดี เลี้ยงง่าย หากินเก่ง ไม่เลือกกินหญ้า ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนได้ดีพอสมควร เหมาะที่จะนำมาผสมกับแม่โคพื้นเมือง โคบราห์มันและลูกผสมบราห์มัน เพื่อนำลูกโคเพศผู้มาเลี้ยงเป็นโคขุนได้ ส่วนแม่พันธุ์สามารถผสมพันธุ์ได้เร็ว แต่อย่างไรยังข้อเสียคือ การเลี้ยงต้องอาศัยการดูแลเอาใจใส่พอสมควร ไม่เหมาะที่จะนำไปปล่อยเลี้ยงในป่าโดยไม่ดูแลเอาใจใส่ (กรมปศุสัตว์, 2551; จรูญโรจน์ และคณะ, 2547; ธนสิทธิ์, 2543)

2.2.9 โคพันธุ์กำแพงแสน (Kampangsan)

เป็นโคพันธุ์ใหม่ที่ปรับปรุงโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นการปรับปรุงพันธุ์โคพื้นเมืองของไทย ที่มีจุดประสงค์เพื่อคงคุณสมบัติดีเลิศของโคพื้นเมือง โดยการนำโคพันธุ์บราห์มันกับโคพื้นเมือง มาผสมกันเพื่อให้ได้ลูกผสมที่มีขนาดใหญ่และโตเร็วขึ้น จากนั้นนำโคพันธุ์ชาร์โรเลย์มาผสมกับลูกผสมดังกล่าว ดังนั้น โคพันธุ์กำแพงแสนจึงมีสายเลือดโคพันธุ์พื้นเมือง 25 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์บราห์มัน 25 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ชาร์โลเลย์ 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 600 - 900 กิโลกรัม เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 400 - 600 กิโลกรัม มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ลำตัวยาวและกว้าง ความลึกของลำตัวสมดุลกับส่วนต่างๆ ของร่างกาย แนว

สันหลังตรงไปจนถึงโคนหาง แนวพื้นท้องค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซี่โครงกางออกมาก พื้นอกกว้าง เมื่อยืนขาหน้าจะห่าง ตั้งตรงและมั่นคง (กรมปศุสัตว์, 2551; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.2.10 โคพันธุ์กบินทร์บุรี

เป็นโคพันธุ์ลูกผสมระหว่างโคพันธุ์ซิมเมนทอลกับโคพันธุ์บราห์มัน เป็นโคกึ่งเนื้อกึ่งนม โดยโคลูกผสมเพศผู้ใช้เป็นโคขุน และแม่โคใช้รีดนมได้ โคพันธุ์กบินทร์บุรีมีสีแดงเข้มคล้ายโคพันธุ์ซิมเมนทอล เป็นโคขนาดกลาง เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 900 – 1,000 กิโลกรัม เพศผู้มีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 600 - 700 กิโลกรัม หากเลี้ยงแบบโคเนื้อ จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ซากมีขนาดใหญ่ที่สนองความต้องการของตลาดเนื้อโคคุณภาพดีได้ ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนได้ดีพอสมควร เหมาะที่จะนำมาผสมกับแม่โคพันธุ์พื้นเมือง โคพันธุ์บราห์มัน และโคพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน เพื่อนำลูกโคเพศผู้มาเลี้ยงเป็นโคขุน ลูกโคเพศเมียใช้รีดนมได้ดี แต่มีข้อเสียคือ การเลี้ยงต้องอาศัยการดูแลเอาใจใส่พอสมควร ไม่เหมาะที่จะนำไปปล่อยเลี้ยงในป่าหรือปล่อยทุ่ง หากใช้แม่โครีดนมต้องรีบแยกลูกโคออกเหมือนลูกโคนม ดังนั้น ผู้เลี้ยงต้องมีความรู้ในการเลี้ยงโครีดนม และต้องดูแลเอาใจใส่ให้ดี เนื้อมีสีแดงเข้ม อาจเป็นข้อติของตลาดเนื้อโคคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับโคลูกผสมพันธุ์ชาร์โรเลย์ เช่น โคพันธุ์ตาก และโคพันธุ์กำแพงแสน (กรมปศุสัตว์, 2551; จรูญโรจน์ และคณะ, 2547; ปิ่น, 2550; ศรเทพ, 2548)

2.3 อาหารและการจัดประเภทอาหารของโคเนื้อ

อาหารและการให้อาหารโคเนื้อ นับว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อผลตอบแทนของกระบวนการผลิตโคเนื้อ เพราะการผลิตโคเนื้อที่ได้ทั้งปริมาณและมีคุณภาพดีนั้น ผู้เลี้ยงจำเป็นต้องมีความเข้าใจและมีประสบการณ์ในการให้อาหารโคเนื้อตลอดกระบวนการผลิต อันจะนำไปสู่ผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจทั้งระยะสั้นและระยะยาวของผู้เลี้ยงโคเนื้อต่อไป อาหารโคเนื้อสามารถแยกประเภทตามลักษณะของอาหารและส่วนประกอบของเยื่อใย ประกอบด้วย 2 ชนิด คือ อาหารหยาบ (roughage) และอาหารข้น (concentrate) (ธำรงศักดิ์ และ จีรวัชร์, 2550; พิชญะ, 2533) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดทั้งปริมาณการผลิตและคุณภาพเนื้อ โคเนื้อจำเป็นต้องได้รับสารอาหารอย่างถูกต้องทั้งปริมาณ สัดส่วน และคุณค่าทางโภชนะอย่างเพียงพอต่อความต้องการเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตเนื้อ โดยเฉพาะอาหารหยาบหรืออาหารเยื่อใย ซึ่งเป็นอาหารหลักหรืออาหารพื้นฐานในการเลี้ยงโคเนื้อ เพื่อจะนำไปใช้เป็นประโยชน์โดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก เพื่อหมักอาหารให้ได้ผลผลิตสุดท้ายคือ กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids; VFAs) ที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์และสัตว์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตเนื้อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.3.1 อาหารหยาบ (roughage)

อาหารหยาบ หรือ อาหารเยื่อใย หมายถึง อาหารที่มีลักษณะทางกายภาพมีความฟ่ามและน้ำหนักเบา มีเยื่อใยหยาบ (crude fiber) มากกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้ง มีค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient) ต่ำกว่าร้อยละ 60 (กฤตพล, 2550ข; Kearl, 1982) อาหารหยาบถือเป็นอาหารพลังงานและเป็นอาหารหลักที่ขาดไม่ได้สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องได้รับอย่างน้อย 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร (ฉลอง, 2541) เป็นอาหารเยื่อใยที่มีราคาถูกและมีความสามารถในการกระตุ้นและส่งเสริมการบดเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย การเคี้ยวเอื้อง การพัฒนากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการดูดซึมผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความสมดุลและมีนิเวศวิทยาที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมน ตัวอย่างอาหารกลุ่มนี้ ได้แก่ หญ้าสด หญ้าแห้ง ฟางข้าว ต้นข้าวโพด และยอดอ้อย เป็นต้น (วีระพล, 2534; สมศักดิ์ และคณะ, 2549; อนุชา, 2536) มีส่วนประกอบของสารพวกเยื่อใย เช่น ผนังเซลล์ (cell wall) เมื่อโคได้รับอาหารหยาบในปริมาณมาก จะมีผลทำให้ค่าการย่อยได้ต่ำ เพราะอาหารตกอยู่ในกระเพาะนาน อาจทำให้โคได้รับพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการ (วิโรจน์, 2546) ในปัจจุบันนิยมใช้ตัววัดเยื่อใยของอาหาร คือ เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) ซึ่งเยื่อใย NDF ประกอบด้วย เฮไมเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) ส่วนเยื่อใย ADF ประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนินเป็นหลัก เมธา (2533) ได้แบ่งอาหารหยาบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 พืชอาหารสัตว์ (forage crops)

หมายถึง พืชตระกูลหญ้า (Gramineae) และพืชตระกูลถั่ว (Leguminoseae) ที่ปลูกเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้ลำต้นและใบในสภาพสดหรือแห้ง เป็นอาหารหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยไม่เกิดอันตรายต่อสัตว์ พืชตระกูลหญ้า เช่น หญ้าขน หญ้าเนเปียร์ หญ้ากินนี หญ้ารูซี่ และหญ้าพลิแคทูลั่ม เป็นต้น ส่วนพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วลาย ถั่วลิสงนา ถั่วสไตโล และถั่วท่าพระสไตโล เป็นต้น (กิตติเดช, 2552; บุญฤา, 2534; ปณิตา และ มานพ, 2536)

2.3.1.2 ผลพลอยได้ทางการเกษตร (crop residues)

เป็นผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวพืชในฤดูต่างๆ เช่น ฟางข้าว ต้นและเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน ต้นข้าวโพดหวาน ยอดอ้อย ต้นและมันเฮย์ เป็นต้น (ปรัชญา และคณะ, 2540; วิศิษฐิพร, 2538)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247637
เลขเรียกหนังสือ

2.3.2 อาหารข้น (concentrate)

อาหารข้น หรือ อาหารผสม (ทั้งอัดเม็ดและไม่อัดเม็ด) ถือเป็นอาหารเสริมสำหรับเป็นแหล่งพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (จารุณี และ องอาจ, 2553; พรศรี, 2531; สุทิสา และคณะ, 2550) เพื่อให้ได้รับสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต อาหารกลุ่มนี้เป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีพลังงานและโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่สูงมารวมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้มีโภชนะพลังงานและโปรตีน รวมทั้งแร่ธาตุและวิตามินในปริมาณที่สัตว์ต้องการ มีเยื่อใยหยาบต่ำกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้ง มีค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด มากกว่าร้อยละ 60 อาหารกลุ่มนี้ ได้แก่ ปลาป่น รำ กากถั่วเหลือง และข้าวโพดบด เป็นต้น อาหารข้นเป็นอาหารที่มีความเข้มข้นของสารอาหารอยู่สูง เมื่อยึดความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนะเป็นหลักแล้ว สามารถจำแนกวัตถุดิบอาหารข้นออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

2.3.2.1 วัตถุดิบประเภทแป้งและพลังงานสูง

เป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานสูง พลังงานที่ได้จากวัตถุดิบเหล่านี้จะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ประโยชน์ง่าย เช่น แป้งและน้ำตาลหรืออยู่ในรูปของไขมันซึ่งให้พลังงานสูง วัตถุดิบประเภทนี้มีโปรตีนและเยื่อใยเป็นส่วนประกอบอยู่ในระดับต่ำ ส่วนใหญ่ได้แก่ ธัญพืชและผลผลิตพลอยได้ของธัญพืช เช่น ปลายข้าว รำ มันสำปะหลัง กากน้ำตาล และข้าวโพดบด เป็นต้น (สมชาติ และคณะ, 2552; สัญญา และคณะ, 2551)

2.3.2.2 วัตถุดิบประเภทที่ให้โปรตีนสูง

เป็นวัตถุดิบที่ให้โปรตีนในระดับสูงและส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มักจะมีระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่สูง วัตถุดิบประเภทนี้ ได้แก่ กากถั่วเหลือง ใบกระถิน ปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น และยูเรีย เป็นต้น (Ensminger et al., 1990; McDonald et al., 2002)

2.3.2.3 วัตถุดิบประเภทเสริมแร่ธาตุ

การผสมอาหารสัตว์มักจะมีการเสริมแร่ธาตุลงไปในอาหารในรูปของหัวแร่ธาตุประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่สัตว์ต้องการในปริมาณน้อย ยกเว้นธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารสัตว์ ได้แก่ เปลือกหอยป่น ไดแคลเซียมฟอสเฟต และกระดูกป่น เป็นต้น (Ensminger et al., 1990; Kellems and Church, 2002; McDonald et al., 2002)

2.3.2.4 วัตถุดิบประเภทเสริมวิตามิน

วัตถุดิบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักจะมีวิตามินชนิดต่างๆอยู่แล้ว แต่อาจมีวิตามินบางชนิดไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์หรืออยู่ในสภาพที่สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ วิตามินที่แนะนำให้เสริมลงในอาหารได้แก่ วิตามินเอ ดี อี เค และวิตามินบีรวม วัตถุดิบ

ที่จัดเป็นประเภทเสริมวิตามิน ได้แก่ น้ำมันตับปลา นอกจากนี้ยังมีวิตามินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ (Ensminger et al., 1990; Kellems and Church, 2002; McDonald et al., 2002)

2.4 การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางโภชนะวัตถุดิบอาหารสัตว์ เป็นวิธีการดำเนินการทดสอบเพื่อให้ได้ความรู้ทางด้านศักยภาพหรือความสามารถของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ประโยชน์ทางโภชนาการต่อสัตว์ ความรู้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เพื่อการสร้างตารางมาตรฐานค่าความต้องการโภชนะ ซึ่งเป็นวิธีการให้อาหารสัตว์ที่ถูกต้องแม่นยำตรงตามความต้องการโภชนะของสัตว์ตามศักยภาพทางพันธุกรรมและระดับการให้ผลผลิตที่ต้องการ (กฤตพล, 2550ข) ปัจจุบันมีวิธีการตรวจประเมินคุณค่าทางโภชนะวัตถุดิบอาหารสัตว์หลากหลายวิธี ปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์ใช้การตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition procedure) ด้วยขั้นตอนเฉพาะเพื่อหาปริมาณโภชนะที่มีในวัตถุดิบอาหาร แต่การตรวจสอบทางเคมีมีข้อเสียในด้านขาดข้อมูลที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรง เนื่องจากโภชนะที่มีในอาหารบางครั้งสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาค่าความสามารถในการใช้ประโยชน์วัตถุดิบอาหารในตัวสัตว์ร่วมด้วย ซึ่งอาจใช้การทดสอบได้ทั้งในตัวสัตว์ (*in vivo*) หรือการทดสอบด้วยวิธีการในหลอดทดลอง (*in vitro*) วิธีการประเมินคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โภชนะจากอาหารในตัวสัตว์ ใช้หลักการคล้ายกัน ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยม และเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ มีดังต่อไปนี้

2.4.1 การทดลองเลี้ยงสัตว์ด้วยอาหารในระยะยาว (Feeding trials)

โดยทั่วไปแล้วการทดลองเลี้ยงสัตว์แบบนี้จะเป็นการให้อาหารสัตว์แบบเต็มที่ (*ad libitum*) เป็นการทดลองเพื่อทดสอบอาหารสัตว์ที่ต้องการทราบคุณภาพ โดยการเลี้ยงสัตว์ด้วยอาหารที่ต้องการทดสอบเปรียบเทียบกับสัตว์ทดลองที่ได้รับอาหารมาตรฐานที่ทราบคุณค่าทางโภชนะ แล้ววัดการเพิ่มน้ำหนักตัวจากการใช้ประโยชน์โภชนะ ซึ่งสามารถแสดงการเจริญเติบโตเป็นค่าของการเพิ่มน้ำหนักต่อช่วงเวลา ที่นิยมแสดงในรูปของอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร (feed efficiency) และปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake; VFI) โดยเฉพาะอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ถือว่ามีความสำคัญ ทำให้ทราบถึงการใช้ประโยชน์ได้ในแง่การนำใช้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกคุณค่าทางอาหารด้วย เนื่องจากอาหารหยาบโดยปกติแล้วสัตว์จะไม่หยุดกินเมื่อยังไม่ได้รับโภชนะตามความต้องการ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องรู้ปริมาณการ

กินได้อย่างอิสระของอาหารหยาบนั้นๆ (กฤตพล, 2550ข; ทรงศักดิ์, 2545; McDonald et al., 2002; Pond et al., 2005)

การทดลองเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถเก็บข้อมูลได้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน เก็บรวบรวมข้อมูลได้ง่าย ประหยัด ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีราคาแพง นอกจากนี้แล้ว ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย สามารถบ่งบอกได้ว่าอาหารสัตว์ชนิดนี้สัตว์ชอบกินหรือไม่ และเมื่อกินเข้าไปแล้วเจริญเติบโตเพียงใด แต่ไม่สามารถอธิบายว่าเหตุใดวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นมีผลในการเจริญเติบโตของสัตว์ไม่เท่ากัน

2.4.2 การทดลองเพื่อวัดการย่อยได้ (Digestion trials)

ค่าการย่อยได้ (digestibility) ของอาหารแต่ละชนิดในสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความสำคัญเพื่อใช้ในการประเมินและนำไปใช้ในการวางแผนการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดจะถูกย่อยได้แตกต่างกันตามคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้น การศึกษาการย่อยได้ของอาหารสัตว์จำมีความจำเป็นเพื่อให้ได้ค่าการย่อยได้ของอาหารอย่างแท้จริง วิธีการศึกษาการย่อยได้มีหลายวิธี ดังนี้

2.4.2.1 การวัดการย่อยได้โดยวิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection)

เป็นการทดลองเพื่อวัดการย่อยได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของอาหารหรือวัตถุดิบอาหารที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ภายในระบบทางเดินอาหาร วิธีการนี้สัตว์ทดลองจะต้องเลี้ยงในคอกหรือกรงทดลอง (metabolism cage) เพื่อที่จะสามารถวัดปริมาณการกินได้ เก็บมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมาได้ทั้งหมด ถ้าเป็นสัตว์ที่อยู่ในคอกหรือในแปลงหญ้าอาจจะมีการใช้ถุงสำหรับเก็บมูลและปัสสาวะ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความไม่สบายตัวสำหรับสัตว์ การศึกษาแบบนี้สามารถที่จะทำการศึกษาหาการย่อยได้และปริมาณการกินได้ การจัดการให้อาหารสัตว์ควรเป็นแบบจำกัดในปริมาณคงที่ (constant daily feed intake) เพื่อป้องกันความแปรปรวนของปริมาณมูลที่ขับออกมาในแต่ละวัน อีกทั้งยังจำเป็นต้องทราบองค์ประกอบของอาหารที่สัตว์กินและอาหารส่วนที่ไม่ย่อยหรือขับออกทางมูล หากเราเก็บรวบรวมบันทึกข้อมูลด้านอาหารที่กินได้และมูลที่ขับถ่ายออก พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างทั้งสองส่วนนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ก็จะทำให้สามารถคิดคำนวณโภชนะที่สูญหายไปหรือส่วนที่สัตว์สามารถย่อยหรือดูดซึมไว้ได้ (กฤตพล, 2550ก; ฉลอง, 2541; Schnider and Flatt, 1975)

การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะการปรับสัตว์ (preliminary period) และระยะการสุ่มเก็บตัวอย่าง (collection period) ในระยะการปรับสัตว์ เป็นระยะเตรียมตัวหรือปรับสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อาหารที่สัตว์ได้รับก่อนที่จะทดลองถูกขับออกจากร่างกายก่อน นอกจากนี้ยังทำให้จุลินทรีย์ในรูเมนมีเวลาในการปรับตัวกับ

อาหารชนิดใหม่ และให้สัตว์ได้เคยชินกับอาหารทดลองและกรงทดลอง โดยทั่วไประยะนี้จะอยู่ในช่วง 10 - 14 วัน ในส่วนของระยะการสุ่มเก็บตัวอย่าง สิ่งที่จะต้องเก็บข้อมูลช่วงนี้คือ ปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมา พร้อมกับสุ่มเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการศึกษา ในระยะนี้ควรมีระยะเวลาประมาณ 5 - 7 วัน สำหรับการคำนวณค่าการย่อยได้ของอาหารนั้น ปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกมา ต้องปรับให้เป็นน้ำหนักแห้งเสียก่อนแล้วจึงนำมาคำนวณตามวิธีการของ Schnider and Flatt (1975) โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{ปริมาณโภชนะที่กิน} - \text{ปริมาณโภชนะที่ขับออกในมูล}) \times 100}{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน}}$$

ซึ่งการวัดการย่อยได้ของอาหารวิธีนี้เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ยังมีปัญหา ถ้าการทดลองใดใช้อาหารหลายอย่างร่วมกัน ทั้งนี้เพราะการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง เมื่อมีการใช้ร่วมกับอาหารชนิดอื่น ค่าที่ได้อาจจะไม่เท่ากันกับการได้รับอาหารชนิดเดียว ซึ่งจะทำให้เกิดผลที่เรียกว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหาร (associative effect) จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องมากนัก โดยเฉพาะการวัดการย่อยได้ของอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด เป็นต้น การวัดการย่อยได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำเหล่านี้ จะต้องมีการเสริมอาหารข้นในระดับต่างๆ แล้วนำข้อมูลมาคำนวณการย่อยได้ของอาหารหยาบโดยใช้วิธีการ difference method (กฤตพล, 2550ก; ฉลอง, 2541; Schnider and Flatt, 1975)

2.4.2.2 การศึกษาการย่อยได้โดยวิธีการใช้ตัวบ่งชี้ (Indicator method)

เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ของอาหารในตัวสัตว์ โดยอาศัยสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยได้เป็นตัวบ่งชี้ เพราะบางครั้งการวัดปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของอาหาร ในกรณีที่ไม่สามารถกักขังสัตว์หรือไม่มีกรงทดลอง และไม่สามารถเก็บมูลหรืออาหารได้ทั้งหมด เช่น การทดสอบพืชอาหารสัตว์ที่ปล่อยสัตว์แทะเล็มในแปลงหญ้า การใช้ตัวบ่งชี้ (indicator or marker) เข้าช่วยก็สามารถประเมินค่าต่างๆ ได้เช่นเดียวกัน สารที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้มีหลายชนิดและตัวบ่งชี้ที่ดีควรมีคุณสมบัติ คือ 1) ไม่สามารถย่อยได้ 2) ไม่สามารถถูกดูดซึม 3) ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ 4) ง่ายต่อการวิเคราะห์ทางเคมีและราคาถูก สารที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ตัวบ่งชี้ภายใน (internal indicators) ได้แก่ สารที่มีอยู่ในพืชอาหารสัตว์ เช่น ลิกนิน (lignin) ซิลิก้า (silica) โครโมเจน (chromogen) ไนโตรเจน (nirogen) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash; AIA) เป็นต้น และ 2) ตัวบ่งชี้ภายนอก (external indicators) ได้แก่ สารที่เติมลงไปในอาหาร เช่น โครมิคออกไซด์ (chromic oxide) เป็นต้น ซึ่งโครมิคออกไซด์มีการใช้กันอย่างกว้างขวางใน

การวัดค่าการกินได้และการย่อยได้ของอาหาร และยังให้ผลเป็นที่ยอมรับ แต่ยังมีปัญหาในการใช้ คือ ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณโครเมียมที่ขับออกมาในมูล นอกจากนี้แล้วยังมีตัวบ่งชี้ที่ละลายในของเหลวอีกหลายชนิด เช่น polyethylene glycol (กฤตพล, 2550ข; ฉลอง, 2541; เมธา, 2533; Pond et al., 2005)

2.4.2.3 การวัดการย่อยได้ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าการย่อยได้กรณีวัตถุดิบมีสองชนิดขึ้นไป (Digestibility by difference)

การหาค่าความสามารถในการย่อยได้วิธีนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการหาค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารที่ต้องการศึกษา ซึ่งมีส่วนผสมจากวัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิดร่วมกัน เช่น อาหารข้นผสมสำเร็จรูป อาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration; TMR) หรืออาหารที่มีส่วนผสมมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ลักษณะรูปร่างธรรมชาติของอาหารไม่สามารถใช้อาหารชนิดเดียวได้ ในทางปฏิบัติจึงต้องมีการให้อาหารพื้นฐาน (basal diet) เปรียบเทียบกับสัตว์ที่ได้รับอาหารพื้นฐานร่วมกับอาหารที่ต้องการทดสอบจำนวนหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งระดับ หลังจากวัดและวิเคราะห์การย่อยได้ของอาหารในแต่ละกลุ่มได้แล้วเราสามารถคำนวณค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบ (digestibility of test feed) โดยการคำนวณจากค่าการย่อยได้จากอาหารพื้นฐาน (basal feed) ร่วมกับอาหารที่ต้องการทดสอบ (test feed) ตามวิธีการของ Pond et al. (2005) มีวิธีการคำนวณดังนี้

การย่อยได้ของโภชนะ (เปอร์เซ็นต์) = $[(D_{T+B}(\%)) - ((DB(\%)) \times (N_{T+B})) / (N_T) \times (N_{T+B})]$

เมื่อ D = digestibility, T = test feed, N = fraction of nutrient, B = basal feed

การทดสอบด้วยวิธีนี้ ค่าความสามารถการย่อยได้ของอาหารพื้นฐานจะต้องไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อทำการให้อาหารร่วมกับอาหารที่ต้องการทดสอบ แต่ในความเป็นจริงแล้ว การให้อาหารตามปกติที่ประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารสองอย่างขึ้นไปจะมีผลกระทบต่อกัน เรียกว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหาร (associative effects) อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีการให้อาหารหลายแหล่งพร้อมกันจะเป็นวิธีการที่มีสภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติความเป็นจริงของการให้อาหารสัตว์มากที่สุด (กฤตพล, 2550ก; McDonald et al., 2002)

2.4.2.4 การวัดการย่อยได้ด้วยวิธีการทดสอบในกระเพาะหมัก (*In vitro* rumen digestion techniques)

เป็นการศึกษาการย่อยได้ของอาหารในหลอดทดลอง โดยทำการจำลองสภาวะให้มีสภาพคล้ายคลึงกับในสภาวะของกระเพาะรูเมน แม้ว่าการจำลองสภาวะให้เหมือนกับ

สภาวะจริงทั้งหมดในทางเดินอาหารจะทำได้ลำบาก แต่ก็เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับในการตรวจวัดค่าการย่อยได้ของโภชนะ เช่น การศึกษาวัดการย่อยได้ (Lopez, 2005) การศึกษาโดยวิธีเหล่านี้ควรใช้สัตว์ที่ได้เจาะกระเพาะ (rumen fistulated animal) ไว้แล้วเพื่อสะดวกในการเก็บของเหลวหรือตัวอย่างจากกระเพาะรูเมน วิธีการเหล่านี้ได้แก่

1) วิธีการ 2 ขั้นตอนของ Tilley and Terry (1963) หรือ two-stage *in vitro* medthod ซึ่งทำโดยหมักตัวอย่างอาหารร่วมกับของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid หรือ rumen liquor) และเอนไซม์เปปซิน (pepsin)

2) วิธีใช้เอนไซม์เปปซินและเซลลูเลส (pepsin and cellulase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สังเคราะห์ที่สกัดจากตับอ่อนของสุกรและโค และเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ตามวิธีการของ McLeod and Minson (1978) คือ ย่อยตัวอย่างด้วยเอนไซม์เปปซินในสภาพเป็นกรด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วย่อยต่อไปอีกด้วย cellulose acetate buffer ที่อุณหภูมิ 39°C และคำนวณค่าการย่อยได้จากน้ำหนักที่หายไปหลังถูกย่อย ปรับตัวเลขโดยสมการถดถอย (regression equation) ที่คำนวณจากตัวอย่างค่าการย่อยได้ตามวิธีการมาตรฐาน

3) วิธีการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (gas production method) วิธีนี้พัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมัน โดย Menke et al. (1979) อาศัยหลักการที่ว่าการหมักอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะส่วนหน้าจะทำให้เกิดแก๊สขึ้น ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยได้ของอาหารนั้น ดังนั้นปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจะสามารถนำมาทำนายค่าการย่อยได้และปริมาณพลังงานในอาหารได้

2.4.2.5 การวัดการย่อยได้ด้วยวิธีการทดสอบในกระเพาะหมัก (*In sacco* techniques)

เป็นการศึกษาการย่อยได้ของอาหารในกระเพาะรูเมน ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยสัตว์ทดลองที่เจาะกระเพาะรูเมน โดยนำอาหารที่ต้องการทดสอบใส่ในถุงทดสอบที่ทำจากผ้าหรือไนล่อนที่ไม่สามารถถูกย่อยในกระเพาะรูเมน มีขนาดของรูประมาณ 40 – 60 ไมครอน ซึ่งอาหารออกจากถุงไม่ได้ และจุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยอาหารได้ จากนั้นแช่ถุงไว้ในกระเพาะรูเมนตามระยะเวลาที่ต้องการทดสอบ จากนั้นนำถุงออกมาล้างแล้ววัดปริมาณอาหารที่เหลือในถุงไนล่อนและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แล้วทำการคำนวณค่าอัตราการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของอาหาร (effective degradability) โดยใช้สมการของ Ørskov and McDonald (1979) วิธีการนี้เรียกว่า *In situ* หรือ *In sacco* หรือ nylon bag techniques ซึ่งเป็นวิธีการที่รวดเร็วและสามารถศึกษาได้หลายตัวอย่างในคราวเดียวกัน แต่ค่าที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีการนี้นิยมใช้ในเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น (กฤตพล, 2550ก; ฉลอง, 2541; เมธา, 2533)

2.4.3 การทดลองเพื่อวัดความสมดุลของโภชนะ (Balance trials)

เป็นการศึกษาที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวัดปริมาณที่เก็บกักสะสมในร่างกายของโภชนะที่เราสนใจ ซึ่งอาจมีค่าเป็นบวก (positive balance) หากสัตว์สามารถเก็บสะสมไว้ในร่างกาย หรืออาจมีค่าเป็นลบ (negative balance) ในกรณีที่เกิดการสูญเสียหรือขับออกนอกร่างกาย ดังนั้น การศึกษาวิธีนี้จึงเป็นการศึกษาในด้านปริมาณที่มีความจำเป็นต้องให้มีความถูกต้องและแม่นยำ ใช้ความละเอียดในการวัดปริมาณการกินได้ทั้งหมด (total feed intake) และปริมาณโภชนะที่ขับถ่ายออกนอกร่างกาย เช่น การทดลองเพื่อวัดความสมดุลของโภชนะด้านสมดุลของไนโตรเจน (โปรตีน) ด้านความสมดุลของพลังงาน รวมทั้งแร่ธาตุหลักต่างๆ โดยทั่วไปสัตว์จะมีการสูญเสียหรือสารอาหารออกทางมูล ปัสสาวะ ขน เซลล์ผิวหนัง เหงื่อ และแก๊ส หากเป็นด้านพลังงานสัตว์อาจสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนผ่านทางอากาศที่หายใจออก การขับเหงื่อ รวมทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนออกนอกร่างกายในภาวะที่อุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้น (กฤตพล, 2550ก; Pond et al., 2005)

ตัวอย่าง ในกรณีศึกษาการวัดสมดุลของไนโตรเจน มีความจำเป็นที่จะต้องรวบรวมปริมาณการขับถ่ายมูลและปัสสาวะ เนื่องจากปัสสาวะเป็นเส้นทางหลักของการขับถ่ายไนโตรเจน นอกจากนี้แล้วเพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น เราอาจต้องรวบรวมขน ชั้นผิวหนังที่หล่นร่วมกับการเก็บรวบรวมมูลและปัสสาวะเพิ่มอีกด้วย หากศึกษาในตัวสัตว์ที่กำลังให้นม (lactating animal) จำเป็นต้องรวบรวมปริมาณน้ำนมทั้งหมดและวิเคราะห์องค์ประกอบไนโตรเจนในน้ำนมร่วมด้วย ส่วนกรณีการศึกษาความสมดุลของโภชนะด้านพลังงานในตัวสัตว์จำเป็นที่ต้องใช้คอกที่ออกแบบสำหรับการเก็บรวบรวมตัวอย่างเป็นพิเศษ เรียกว่า คอกเมแทบอลิซึม (metabolism cage) หรือ ห้องวัดการหายใจ (respiration chamber) ซึ่งสามารถวัดค่าพลังงานที่สัตว์ได้รับ ค่าพลังงานที่ขับออกในมูล พลังงานที่ขับออกในปัสสาวะ และพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นภายในเซลล์ของร่างกาย (total heat production) (Blaxter, 1989; McDonald et al., 2002)

แม้ว่าการศึกษาด้วยวิธีนี้จะมีความละเอียด อาจมีความยุ่งยาก หลายขั้นตอน และต้องอาศัยเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบเฉพาะ ทำให้ใช้งบประมาณสูงกว่าวิธีอื่น แต่เป็นวิธีที่ให้ประโยชน์ข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบและความต้องการโภชนะของสัตว์ที่แม่นยำสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินความต้องการโภชนะของสัตว์ในแต่ละพันธุ์ เพศ อายุ และการให้ผลผลิตในระยะต่างๆ นอกจากนี้แล้วยังมีประโยชน์ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้โภชนะจากวัตถุดิบอาหาร วิธีนี้มีข้อจำกัดหรือสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในช่วงระยะเวลาอันสั้น (กฤตพล, 2550ก; Blaxter, 1989; McDonald et al., 2002)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.4.4 การทดลองด้วยอาหารสกัดบริสุทธิ์ (Purified diets)

การศึกษาวิธีนี้มีประโยชน์เพื่อศึกษาค่าความต้องการโภชนะที่มีความจำเป็นและมีความต้องการโภชนะที่ต้องการศึกษาในปริมาณต่ำ สามารถใช้เทคนิคนี้ได้ทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง โดยการทดลองวิธีการนี้สามารถคำนวณสูตรอาหารให้มีส่วนประกอบเฉพาะโภชนะที่ต้องการศึกษาตามระดับ หรือสัดส่วนที่กำหนด เพื่อใช้ในการทดสอบค่าความต้องการโภชนะหรือการใช้ประโยชน์โภชนะของสัตว์ เนื่องจากการคำนวณสูตรอาหารทดลองด้วยวิธีนี้อาหารทดลองจะต้องผ่านขั้นตอนการแยกความบริสุทธิ์สูง หรืออาจเรียกว่า อาหารสังเคราะห์ (synthetic หรือ semi-semi purified diet) จึงเป็นวิธีที่สามารถลดหรือกำจัดปัญหาการปนเปื้อนของสารอาหารหรือโภชนะอื่นที่อาจมีในวัตถุดิบอาหารตามธรรมชาติ (unidentified growth factor) ซึ่งอาจมีผลกระทบในทางอ้อมต่อการใช้ประโยชน์โภชนะ หรือค่าความต้องการโภชนะของสัตว์เลี้ยงที่ต้องการทดสอบ (กฤตพล, 2550ก)

ประเภทอาหารที่ใช้เป็นแหล่งโภชนะอาจขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของสัตว์ทดลอง แหล่งพลังงานมักใช้แหล่งที่ให้น้ำตาล เช่น กลูโคส แป้ง เซลลูโลส ธาตุไนโตรเจนที่อาจมาจากแหล่งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง หรือกรดอะมิโนบริสุทธิ์ รวมไปถึงการศึกษาความต้องการแร่ธาตุอนินทรีย์ (inorganic element) อาจศึกษาด้วยการใช้เกลือของแร่ธาตุที่ละลายและย่อยได้ แหล่งวิตามินอาจใช้จากยีสต์ จากตับสกัด หรือวิตามินสังเคราะห์ แหล่งกรดไขมันที่จำเป็นอาจได้จากน้ำมันข้าวโพด ไขสัตว์ หรือแหล่งไขมันสกัดบริสุทธิ์อื่น

2.4.5 การศึกษาการดูดซึมโภชนะและการใช้ประโยชน์ด้วยเทคนิคการผ่าตัด

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการเพื่อช่วยในการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยและดูดซึมโภชนะด้วยการผ่าตัด การเจาะกระเพาะหมักในโค กระบือ แพะ และแกะ เป็นที่ยอมรับและศึกษากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถสุ่มเก็บตัวอย่างได้ตามความต้องการโดยไม่รบกวนสัตว์มาก ขณะเดียวกันก็สามารถนำโภชนะหรืออาหารฉีดผ่านท่อสายยางเข้าโดยตรงที่กระเพาะหมักหรือระบบทางเดินอาหารแต่ละส่วนได้ กระบอกหรือสายยางสามารถสอดผ่านไปยังอวัยวะและระบบทางเดินอาหารได้หลายๆส่วน เช่น กระเพาะ ลำไส้เล็ก ไส้ติ่ง หรือแม้กระทั่งในระบบหมุนเวียนเลือด ไม่เฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้องเท่านั้นแต่สามารถประยุกต์ใช้กับสัตว์ทั่วๆไปด้วย

เทคนิคการสอดใส่ท่อพลาสติกนุ่ม (catheters) เข้าไปในเส้นเลือดดำ-แดง (artery - vein different technique) ณ จุดต่างๆของระบบหมุนเวียนเลือดได้รับความนิยมและเป็นประโยชน์สูงในด้านการศึกษาปริมาณการดูดซึมโภชนะจากระบบทางเดินอาหาร เช่น ปริมาณการดูดซึมกลูโคส หรือ กรดอะมิโนจากลำไส้เล็กสู่ portal vein ก่อนส่งเข้าไปในตับ (กฤตพล, 2550ก)

2.4.6 การใช้สัตว์ทดลองต้นแบบเพื่อการศึกษาด้านโภชนศาสตร์ (Laboratory animals as models for farm animal nutrition)

การใช้สัตว์ทดลองต้นแบบ (model animal) เพื่อศึกษาวิจัยในด้านความต้องการโภชนะและการใช้ประโยชน์อาหารสัตว์ การศึกษาในคนหรือสัตว์ขนาดใหญ่ไม่สามารถดำเนินการได้ง่าย เช่น มีข้อจำกัดด้านจำนวนสัตว์ โรงเรือน อุปกรณ์ ตลอดทั้งอาจต้องใช้วัสดุจำนวนมากหรือมีราคาแพง ดังนั้นการใช้สัตว์ทดลองต้นแบบจึงอาจเป็นแนวทางการแก้ปัญหา สัตว์ทดลองต้นแบบที่ได้รับความนิยมใช้ศึกษาในปัจจุบัน เช่น หนู กระต่าย สุกร นก และกบ สัตว์ทดลองต้นแบบเหล่านี้มีขนาดเล็ก การสืบพันธุ์และวงจรชีวิตใช้ระยะเวลาสั้น จึงสามารถทำการทดลอง เก็บข้อมูลได้ในจำนวนมาก หากเปรียบเทียบกับสัตว์ใหญ่ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสัตว์เลี้ยง (กฤตพล, 2550ก)

2.5 หลักการทางพลังงานและความต้องการพลังงานของโคเนื้อ

การศึกษาด้านกระบวนการและกลที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการถ่ายทอดพลังงานในตัวสัตว์ เรียกว่า ชีวพลังงาน (bioenergetics) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์ได้รับอาหารที่มีพลังงานตรงตามความต้องการในแต่ละระยะการให้ผลผลิต เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เพราะสัตว์มีความจำเป็นต้องได้รับโภชนะจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต หรือสร้างเนื้อเยื่อของร่างกาย และนำไปใช้ในการให้ผลผลิตสัตว์ รวมทั้งสัตว์มีความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ หรือเป็นแหล่งพลังงานในการดำเนินกิจกรรมพื้นฐานของร่างกาย ซึ่งความต้องการพลังงานทั้งเพื่อการให้ผลผลิตและการดำรงชีพ มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานที่มีอยู่ในรูปพลังงานเคมี (chemical energy) โดยพลังงานเคมีจากอาหารเมื่อเกิดการเผาผลาญในร่างกายพลังงานเคมีจะถูกเปลี่ยนรูปแบบเป็นพลังงานกล (mechanical energy) และพลังงานความร้อน (heat energy) นอกจากนี้แล้วพลังงานเคมีในโภชนะยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบเพื่อการเก็บสะสมได้ เช่น กรณีสังเคราะห์อาหารคาร์โบไฮเดรตเพื่อไปเก็บสะสมในรูปไขมันของร่างกาย (กฤตพล, 2550ก; บุญล้อม, 2541; ARC, 1989; Blaxter, 1989; NRC, 2001)

พลังงานที่สัตว์ได้รับจากอาหารจะถูกนำไปใช้เพื่อการดำรงชีพเป็นอันดับแรก เช่น การหายใจ การเต้นของหัวใจ การไหลเวียนของเลือด การทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อรักษาและซ่อมแซมกล้ามเนื้อที่สึกหรอ การรักษาอุณหภูมิของร่ากาย เป็นต้น ส่วนพลังงานที่เหลือนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการให้ผลผลิตสัตว์ เช่น การสังเคราะห์และขับหลั่งน้ำนม ให้ผลผลิตไข่ และการสร้างขน เป็นต้น ส่วนพลังงานที่ไม่สามารถถูกนำมาใช้งานได้หรือส่วนพลังงานที่สูญเสียที่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน

ความร้อน (heat) ซึ่งพลังงานที่สูญเสียในรูปพลังงานความร้อนนี้มีประโยชน์ในกรณีการให้ความอบอุ่นต่อร่างกายเพื่อการรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ กรณีที่สัตว์อยู่ในภาวะอดอาหาร (fasting animal) ปริมาณพลังงานความร้อนที่สร้างขึ้นในร่างกายมีค่าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากการสลายของเนื้อเยื่อ พลังงานขั้นพื้นฐานที่ต้องการเพื่อการทำให้ร่างกายสามารถดำรงชีพอยู่ได้ ซึ่งสามารถประเมินได้จากค่าแมทาบอลิซึมพื้นฐาน (basal metabolism) ในสัตว์ที่อยู่ในภาวะขั้นพื้นฐานของร่างกาย เช่น สัตว์อยู่อย่างสงบหลังดูดซึมอาหารเพื่อประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (กฤตพล, 2550ก; Ensminger et al., 1990; McDonald et al., 2002)

โดยค่าเมแทบอลิซึมพลังงาน หรือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลังงานจากอาหารในเซลล์ของสัตว์ทั้งในด้านการสลาย (energy catabolism) หรือด้านการสังเคราะห์ (energy anabolism) มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานด้วยเช่นกัน ชี้ให้เห็นได้ว่าพลังงานมีความสำคัญต่อสัตว์ทั้งเพื่อการให้ผลผลิต การประเมินคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารในด้านพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

2.5.1 หน่วยของพลังงาน

ความหมายโดยทั่วไปของคำว่า พลังงาน หมายถึง ศักยภาพในการทำงาน ขณะที่คำว่างาน หมายถึง ผลจากการออกแรงเพื่อเคลื่อนย้ายวัตถุให้ได้ในระยะทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามคำจำกัดความทางด้านอาหารสัตว์จะเป็นการใช้พลังงานเคมีที่ได้จากอาหาสัตว์ ซึ่งค่าพลังงานเคมีสามารถวัดได้ในรูปของความร้อน (heat) โดยมีหน่วยของพลังงานหลายรูปแบบ พลังงานสามารถที่จะเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เช่น จากพลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อน เช่น การออกซิไดซ์ไขมัน กลูโคส และกรดอะมิโน จะได้ความร้อนที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานจลน์ เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อ หรือการเปลี่ยนจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น การเผาผลาญกลูโคส เพื่อให้ได้พลังงานในการส่งสัญญาณไฟฟ้าของกระแสประสาท เนื่องจากพลังงานทุกรูปสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ง่ายที่สุด ดังนั้นการวัดพลังงานจึงวัดออกมาในรูปของความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดพลังงานในอาหารและในร่างกาย หน่วยของพลังงานเรียกว่า แคลอรี (calory) หรือเขียนย่อๆว่า cal (บุญล้อม, 2541; Blaxter, 1989; NRC, 1996)

พลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส จาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากแคลอรีมีค่าน้อย จึงมักนิยมระบุเป็นกิโลแคลอรี (kilo calory, Kcal) และเมกะแคลอรี (mega calory, Mcal) โดย

1 กิโลแคลอรี (Kcal) = 1,000 cal

1 เมกะแคลอรี (Mcal) = 1,000 Kcal หรือ 10^6 cal

ในการเขียนตัวย่อนี้ บางครั้งอาจใช้ c (ตัวเล็ก) แทนแคลอรี และ C (ตัวใหญ่) แทน กิโลแคลอรี ซึ่งจะทำให้เกิดความสับสนได้ จึงควรหลีกเลี่ยงโดยใช้ Kcal แทน กิโลแคลลอรี

ในระบบอังกฤษอาจใช้หน่วยเป็น BTU (british thermal unit) ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์

1 BTU = 252 cal

หรือ 1 Kcal มีค่าประมาณ 4 BTU แต่อย่างไรก็ตาม หน่วย BTU ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้เท่าใดนัก แต่กลับนิยมใช้หน่วยเป็นจูล (Joule, J = volts x amperes x seconds) ซึ่งทำการวัดด้วยไฟฟ้าเพราะมีความเห็นว่าการวัดพลังงานความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำอาจมีข้อผิดพลาดได้ ทั้งนี้เพราะน้ำที่อุณหภูมิต่างกันมีความร้อนจำเพาะต่างกัน จึงนิยมวัดพลังงานโดยอาศัยไฟฟ้าแทน เพราะเป็นวิธีที่แม่นยำกว่า หน่วยที่ได้จากการวัดแบบนี้เรียกว่า จูล (joule, J), กิโลจูล (kilo joule, kJ) และเมกะจูล (mega joule, MJ) (กฤตพล, 2550ก; NRC, 1996; WTSR, 2008)

1 แคลอรี (Cal) = 4.184 จูล (Joule,J)

หรือ 1 จูล = 0.233 แคลอรี

1 กิโลจูล = 1,000 จูล

1 เมกะจูล = 1,000,000 จูล

2.5.2 การใช้ประโยชน์ของพลังงานในตัวสัตว์

การให้อาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จำเป็นที่ต้องรู้ถึงระบบในการประเมินโภชนะทั้งในด้านความต้องการและส่วนประกอบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อเป็นแนวทางในการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ระบบการประเมินทั้งพลังงานและโปรตีนมีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆ เนื่องจากการศึกษาวิจัยที่มีมากขึ้นทำให้ทราบถึงกระบวนการใช้ประโยชน์ของโภชนะต่างๆ ทำให้การประเมินจะต้องสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารนั้นๆ ด้วย ระบบการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นระบบพลังงานและระบบโปรตีน ยกตัวอย่างเช่น ระบบพลังงานที่ใช้มานานแล้วในประเทศสหรัฐอเมริกา คือ ค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient; TDN) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากองค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้การใช้ค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดได้ลดความสำคัญลง (ฉลอง, 2541; ARC, 1989; Blaxter, 1989; NRC, 2001)

ปัจจุบันระบบพลังงานที่ได้รับความสนใจและเป็นที่ยอมรับในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกา คือ ระบบพลังงานสุทธิ (net energy; NE) และระบบพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy; ME) ซึ่งทั้งสองระบบนี้ในแง่ของการได้มาโดยพื้นฐานจะไม่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งส่วนพลังงานตามการใช้ประโยชน์ของพลังงานในตัวสัตว์ได้ดังนี้

2.5.2.1 ค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร (Gross energy; GE)

ค่าพลังงานทั้งหมด หมายถึง ค่าปริมาณความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการออกซิเดชันหรือการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของวัตถุดิบอาหารที่ศึกษา บางครั้งอาจเรียกว่า พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ (heat of combustion) ดังนั้น ค่าพลังงานทั้งหมด จึงหมายถึง ปริมาณพลังงานเคมีที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ สามารถทำการตรวจวัดได้โดยการเปลี่ยนพลังงานเคมีในอาหารให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนก่อนแล้ววัดจำนวนในหน่วยพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมา โดยใช้เครื่องมือในการวัดค่าพลังงานความร้อนที่เรียกว่า บอมบ์คาลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter) ที่เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียด และให้ค่าที่มีความถูกต้องในการวัด

2.5.2.2 ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy; DE)

ค่าพลังงานที่สามารถย่อยได้ สามารถคำนวณได้จากค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารที่กินได้ (gross energy intake) หักลบด้วยค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่ขับออกมาทางมูล (fecal energy) การปฏิบัติทำได้ด้วยการวัดปริมาณการกินได้ สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารและมูลที่ถ่ายในช่วงเวลาที่กำหนด แล้วนำตัวอย่างอาหารและมูลไปวิเคราะห์ค่าพลังงาน เราก็จะสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ย่อยได้ โดยทั่วไปแล้วปริมาณพลังงานที่สูญเสียผ่านทางมูลจะคิดเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าส่วนอื่นๆ แต่ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ชนิดอาหาร สัดส่วนพลังงานที่สูญเสียไปกับการขับถ่ายมูลอาจมีค่า 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังงานทั้งหมด หรือมากกว่า โดยเฉพาะในอาหารหยาบคุณภาพต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวยังมีความถูกต้องไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากทางเดินอาหารของสัตว์จะมีการขับหลั่งน้ำย่อย มีการหลุดร่วงของเซลล์เยื่อบุของท่อทางเดินอาหาร ปะปนออกมากับมูลด้วย ทำให้ค่าพลังงานที่ย่อยได้ยังไม่ถูกต้องมากนักเพราะเป็นค่าพลังงานย่อยได้ปรากฏ (Apparent digestible energy) (กฤตพล, 2550ก; McDonald et al., 2002; Sundstol, 1993)

2.5.2.3 ค่าพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME)

ค่าพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ หมายถึง ค่าพลังงานที่ย่อยได้หักลบด้วยค่าพลังงานที่ขับออกมาทางปัสสาวะ และแก๊สที่เผาไหม้ได้ ซึ่งแก๊สที่เผาไหม้ได้ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่คือ แก๊สมีเทน (methane) โดยค่าพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้สามารถทำการประเมินได้จากการทดลองวัดการย่อยได้โดยวิธีการชั่งทั้งหมด (total collection) ร่วมกับการเก็บรวบรวมปริมาณปัสสาวะและแก๊สมีเทนที่ขับออกมาทั้งหมด ซึ่งการวัดปริมาณการผลิตแก๊สมีเทนจากสัตว์จะทำในห้องวัดการหายใจ (respiration chamber)

โดยปกติแล้วการสูญเสียพลังงานในรูปแก๊สมีเทนค่าเฉลี่ยประมาณ 2-12% ของพลังงานทั้งหมดที่กิน (Johnson and Johnson, 1995) ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะเนื่องจากการสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไป ซึ่งแก๊สมีเทน มีสูตรทางเคมีคือ CH_4 เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มี

กลิ่น และมีจุดเดือดที่ -162 องศาเซลเซียสที่ความดัน 1 บรรยากาศ และ สามารถติดไฟได้ (สันดาปได้) มีเทนไม่เป็นพิษในภาวะปกติ แต่สาเหตุที่เป็นพิษเพราะว่าเกิดการเผาไหม้ และอาจเป็นส่วนผสมของอาหารทำให้เกิดการเผาไหม้และระเบิดได้ (Pearce, 1989) สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องปริมาณแก๊สมีเทนนับว่าเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักในรูเมน(Gao et al., 2011; Janssen, 2010) ของแบคทีเรียในกลุ่ม *Methanogenic bacteria* ที่ทำหน้าที่นี้คือ *Methanobacterium ruminantium* และ *Methanobacterium mobilis* (Martínez et al., 2010) แก๊สมีเทนจะถูกขับออกจากร่างกายสู่บรรยากาศ (Machmuller and Clark, 2006) ปริมาณแก๊สมีเทนที่โคปลดปล่อยสู่บรรยากาศมีค่าเฉลี่ย 200 - 400 ลิตรต่อตัวต่อวัน (Takahashi, 2006) ซึ่งนอกจากจะมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน (greenhouse gas) ด้วย

2.5.2.4 ค่าพลังงานสุทธิ (Net energy; NE)

ค่าพลังงานสุทธิ หมายถึง พลังงานที่สัตว์ได้รับจากอาหารและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง สามารถคำนวณได้จากการหักลบค่าพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ ด้วยค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการกินอาหาร (heat increment; HI) ที่สามารถประเมินได้ทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง และค่าพลังงานความร้อนจากกการหมักย่อยอาหาร (heat of fermentation) ที่สามารถประเมินได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเท่านั้น โดยประเมินได้จากค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นของร่างกาย (heat production; HP) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัตว์ที่ได้รับอาหาร (fed animal) กับสัตว์ที่อดอาหาร (fasting animal) (ARC, 1980; NRC, 2001)

ค่าพลังงานสุทธิสามารถแยกออกเป็นสองส่วนหลัก คือ พลังงานที่ใช้เพื่อการดำรงชีพของร่างกาย (net energy for maintenance; NE_m) และพลังงานที่นำไปใช้เพื่อการให้ผลผลิต (net energy for production; NE_p) โดยค่าพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ หรือค่าพลังงานความร้อนภายใต้สภาวะอดอาหาร (fasting heat production; FHP) เป็นค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญภายในร่างกายในรูปความร้อนที่สัตว์อยู่ในสภาวะอดอาหาร ซึ่งเป็นพลังงานขั้นพื้นฐานที่สัตว์ต้องการเพื่อให้ร่างกายสามารถดำรงชีพอยู่ได้ ที่สามารถประเมินได้ด้วยการอดอาหารสัตว์ (เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการกินอาหารและจากการหมักย่อยอาหาร) ส่วนค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิตจะถูกเก็บสะสมหรือขับออกนอกร่างกายในรูปค่าพลังงานเคมี ที่สามารถประเมินได้จากค่าพลังงานที่เรียกว่า พลังงานที่เก็บกักได้ในตัวสัตว์ (animal energy retention) เพื่อใช้ในการให้ผลผลิตเช่น การเพิ่มน้ำหนักตัว การให้นม การให้ขน และการให้ไข่ (กฤตพล, 2550ก; ARC, 1980; Blaxter, 1989; Labussiere, 2009)

2.5.3 ระบบการประเมินค่าการใช้ประโยชน์พลังงานจากอาหารแบบอื่น

2.5.3.1 Starch equivalents (SE)

เป็นระบบพลังงานที่มีการพัฒนาและใช้ในประเทศเยอรมัน โดยอาศัยหลักการวัดพลังงานเก็บกักของร่างกาย โดยการวัดค่าสมดุลธาตุคาร์บอน-ไนโตรเจน (carbon-nitrogen balance method) และค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารแสดงออกมาโดยการเปรียบเทียบกับค่าปริมาณแป้ง (starch) ซึ่งเปรียบเทียบกับระบบพลังงานสุทธิ ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี (กฤตพล, 2550ก; Sundstol, 1993; Wiseman and Cole, 1990)

2.5.3.2 Scandinavian food system

เป็นระบบพลังงานที่ใช้ในยุโรป การประเมินค่าในวัตถุดิบของอาหารระบบนี้มีวิธีการดำเนินการทดลองโดยทำการทดลองร่วมกับการกินอาหารที่ต้องการทดสอบ หรือศึกษาทดแทนในข้าวบาร์เลย์ แล้วทำการเปรียบเทียบค่า ซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของข้าวบาร์เลย์ที่ใช้ในการกินอาหาร ระบบนี้จะมีความคล้ายกับระบบ SE (กฤตพล, 2550ก)

2.5.3.3 ค่าโภชนะที่ย่อยได้รวมทั้งหมด (Total digestible nutrient; TDN)

เป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นเวลากว่า 100 ปีแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาและอีกหลายๆประเทศรวมทั้งประเทศไทย โดยค่า TDN สามารถประเมินค่าได้จากการทำการทดลองเพื่อวัดการย่อยได้ของโภชนะที่สามารถให้พลังงานต่อสัตว์ (กฤตพล, 2550ก; Ensminger et al., 1990; Pond et al., 2005) โดยการรวมปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดดังนี้

$$TDN = DCP + DCF + DNFE + (2.25 \times DEE)$$

เมื่อ DCP = โปรตีนที่ย่อยได้

DCF = เยื่อใยที่ย่อยได้

DNFE = คาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายที่ย่อยได้

DEE = ไขมันที่ย่อยได้

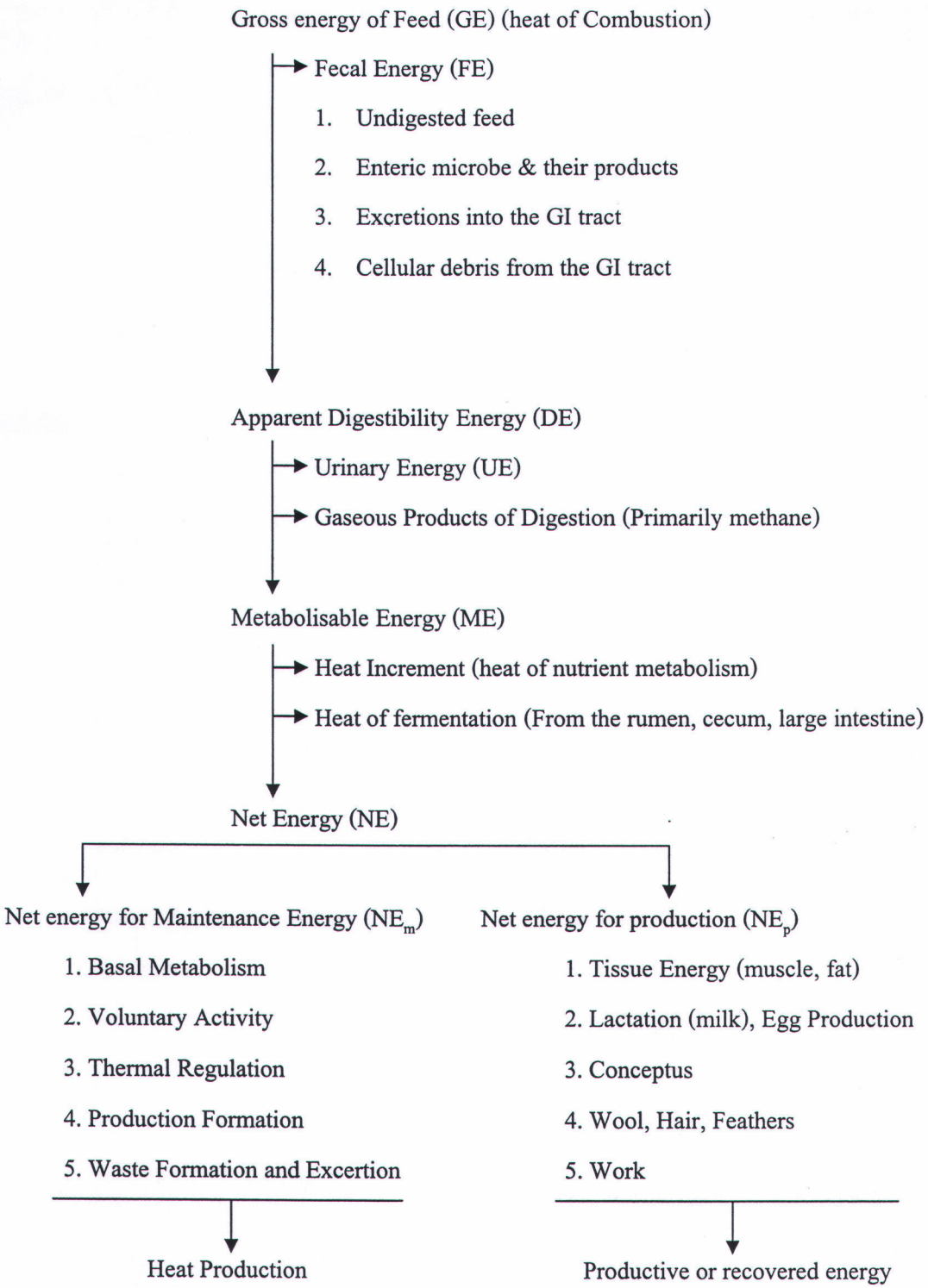
โดยค่าคงที่ 2.25 มาจากการที่ไขมันมีพลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า ดังนั้นจึงต้องเอาค่า 2.25 มาคูณกับปริมาณไขมันที่ย่อยได้ เมื่อเปรียบเทียบค่า TDN กับค่าพลังงานที่ย่อยได้ (DE) พบว่าค่า TDN จะมีความถูกต้องต่ำกว่าในการประเมินค่าพลังงานในอาหารสัตว์ เนื่องจากขาดการคำนึงถึงค่าพลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊สมีเทนและพลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ

นอกจากนี้แล้วค่าการย่อยได้โปรตีนหยาบ และค่าการย่อยได้ของเยื่อใยหยาบและส่วนแป้งและน้ำตาล ที่ใช้ในการคำนวณค่า TDN ยังไม่สามารถบ่งชี้ถึงการใช้ประโยชน์ได้ดีพอในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีแบบประมาณ (proximate analysis) อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า TDN ก็ยังมีการใช้และยอมรับในอเมริกาเนื่องจากหาค่าได้ง่าย สะดวก มีราคาถูกกว่า รวมทั้งสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า ตลอดจน NRC (2000) และ NRC (2001) ยังคงใช้ค่า TDN เพื่อการประเมินหรือทำนายค่าพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ หรือค่าพลังงานสุทธิ (กฤตพล, 2550ก; บุญล้อม, 2541; เมธา, 2533)

McDonald et al. (2002) ระบุว่า สัตว์จะสามารถนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้จริงเพียงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ จากพลังงานทั้งหมด โดยพลังงานส่วนมากจะสูญเสียไปในรูปของมูลที่เป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ อีกทั้งการใช้ประโยชน์ของพลังงานในสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่ง Pond et al. (2005) แสดงขั้นตอนการใช้ประโยชน์ของพลังงานในตัวสัตว์ จากพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปได้ทั้งหมด เกิดการใช้ประโยชน์ของพลังงานและเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.1

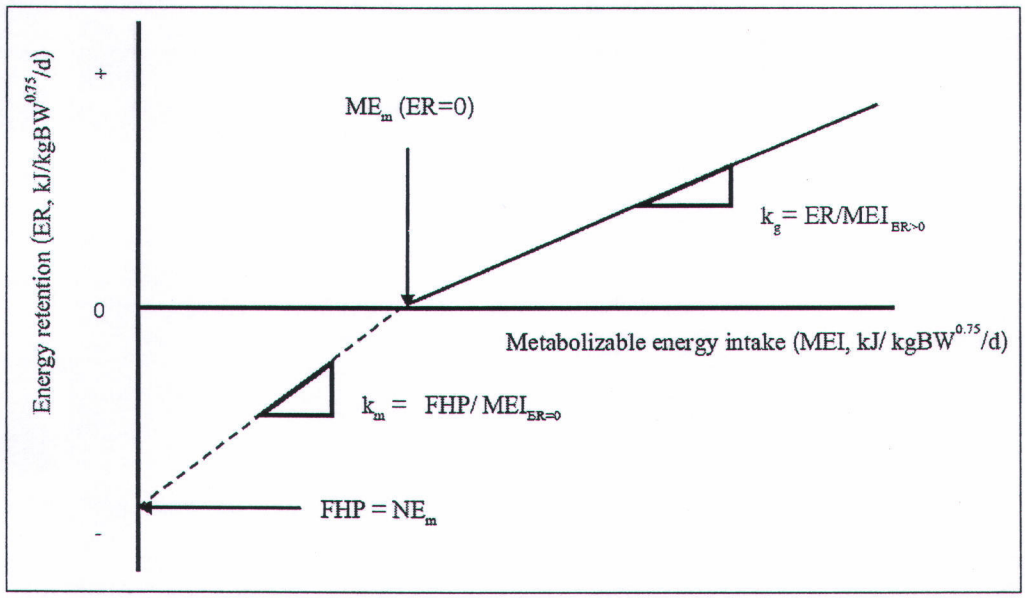
2.5.4 การประเมินค่าความต้องการพลังงานในโคเนื้อ

การประเมินค่าความต้องการพลังงาน เพื่อบอกถึงปริมาณความต้องการค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (metabolizable energy for maintenance; ME_m) ที่สัตว์จำเป็นต้องได้รับจากการกินอาหารในแต่ละวัน ซึ่งสามารถประเมินได้จากการเลี้ยงสัตว์ในห้องวัดการหายใจ โดยจำกัดปริมาณการกินได้ของสัตว์ให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการสร้างสมการเส้นตรงตามวิธีการของ ARC (1980) จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (metabolizable energy intake; MEI, $kJ/kgBW^{0.75}/d$) และค่าพลังงานที่เก็บกักได้ (energy retention; ER, $kJ/kgBW^{0.75}/d$) โดยกำหนดให้ค่า MEI เป็นตัวแปรอิสระ และค่า ER เป็นตัวแปรตาม จะพบว่าค่า ME_m มีค่าเท่ากับค่า MEI ณ จุดที่ค่าER มีค่าเท่ากับศูนย์ ในกรณีของการศึกษาแบบทดลองเลี้ยงสัตว์ด้วยอาหารในระยะยาว (long-term feeding trials) สามารถใช้ ค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average dairy gain; ADG) สร้างความสัมพันธ์กับค่า MEI โดยกำหนดให้ค่า ADG เป็นตัวแปรอิสระ และค่า MEI เป็นตัวแปรตาม (ARC, 1980; WTSR, 2008; 2010)



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการใช้ประโยชน์ของพลังงานในตัวสัตว์

ที่มา: Pond et al. (2005)



ภาพที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้กับค่าพลังงานที่ร่างกายสามารถเก็บกักไว้ได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก McDonald et al. (2002)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว ARC (1980) ได้เสนอหลักการศึกษาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (efficiency of metabolizable energy) จากค่าความชัน (slope) ของเส้นกราฟ จะมีความแตกต่างกันระหว่าง ค่า ER กับค่า MEI โดยเริ่มจากจุดที่อยู่เหนือค่า ME_m เปรียบเทียบกับจุดที่อยู่ต่ำกว่าค่า ME_m ลงไปจนถึงจุดอดอาหาร หรือค่าพลังงานความร้อนภายใต้สภาวะอดอาหาร (fasting heat production; FHP) ที่ทำให้สามารถแยกค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (efficiency of metabolizable energy for maintenance; k_m) และค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (efficiency of metabolizable energy for growth; k_g) แสดงดังภาพที่ 2.2