

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดก็มีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการเพื่อที่จะได้ทราบถึงคุณภาพของวัตถุดิบซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อ เพื่อใช้ในการประกอบอาหารสัตว์ แล้วทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ดีขึ้น ซึ่งวิธีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมและความยากง่าย รวมทั้งการแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ละเอียดมากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่ว ๆ ไปคือ

2.1.1 การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical analysis)

การวิเคราะห์ทางเคมีที่ใช้กันมากและใช้เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) การวิเคราะห์รายละเอียดเฉพาะอย่าง ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์แร่ธาตุ ไวตามิน กรดอะมิโน เป็นต้น แต่ข้อมูลที่ได้ไม่ได้แสดงถึงคุณค่าทางอาหารที่แท้จริง เพราะไม่ได้บอกถึงการย่อยได้ (digestibility) ความยอมรับ หรือความเอร็ดอร่อยของอาหาร (palatability) และความเป็นพิษของอาหาร (toxicity)

2.1.2. การประเมินโดยการทดสอบทางชีววิทยา (Biological evaluation)

การประเมินโดยวิธีนี้ จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นมาจากการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี วิธีการประเมินคุณค่าในกลุ่มนี้ได้แก่

2.1.2.1. การทดสอบโดยการเลี้ยงสัตว์ (Feeding Trial) เป็นการทดสอบอาหารสัตว์ที่ต้องการโดยการเลี้ยงสัตว์ด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดนั้น ๆ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทเดียวกันชนิดอื่น แล้วดูอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพในการใช้อาหารและการกินอาหารของสัตว์ การทดสอบวิธีนี้นอกจากจะเพียงว่าอาหารชนิดนั้นสัตว์ชอบกินหรือไม่ และเมื่อสัตว์กินไปแล้วมีการเจริญเติบโต และใช้อาหารมีประสิทธิภาพเพียงใด แต่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ว่า ทำไมวัตถุดิบอาหารสัตว์จึงให้ผลในการเจริญเติบโตของสัตว์เลี้ยงไม่เท่ากัน

2.1.2.2. การทดสอบการย่อยได้ (Digestion) เป็นการทดสอบการย่อยได้ หรือการใช้ประโยชน์ของโภชนะในอาหารสัตว์ ทั้งนี้จะเป็นการทดสอบคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ให้ละเอียดขึ้นอีกขั้นหนึ่งอันจะช่วยบ่งชี้ให้ทราบว่า ทำไมวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดหนึ่งดีกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์อีกชนิดหนึ่ง

2.1.2.3. การประเมินโดยการวัดพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Determination of energy) การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์โดยการวัดพลังงานนี้ เป็นการประเมินคุณค่าโดยวัดโภชนะหลักที่อาหารสัตว์ให้แก่สัตว์ เพราะอาหารทุกชนิดมีโภชนะที่ให้พลังงานอันเป็นพื้นฐานในการดำรงชีพ การวัดพลังงานในอาหารสัตว์อาจทำได้โดยการวัดพลังงานรวม (Gross energy, GE) พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) พลังงานสุทธิ (Net energy, NE) โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient; TDN) เป็นต้น

2.1.3. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยลักษณะทางกายภาพ (Physical evaluation) ได้แก่

2.1.3.1 การประเมินด้วยตาเปล่า เพื่อตรวจสอบชนิดของอาหารสัตว์ สี การปลอมปน

2.1.3.2 การประเมินความน่ากิน การประเมินความน่ากินโดยใช้ค่า Relative preference value index; R.P.V. index หรือค่า Absolute preference values index; A.P.V. index การประเมินโดยวิธีนี้ทำได้โดยการแบ่งอาหารที่ต้องการประเมินความน่ากินเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะเพิ่มสารปรุงรสหรือกลิ่นลงไป อีกส่วนหนึ่งไม่มีการเพิ่ม นำแต่ละส่วนไปเลี้ยงสัตว์โดยให้สัตว์เลือกกินได้อย่างอิสระ นำปริมาณอาหารแต่ละชนิดที่สัตว์กินไปคำนวณค่า R.P.V. index หรือ A.P.V. index ได้ดังนี้คือ

$$\text{R.P.V. index} = \frac{A}{A+B} \times 100$$

$$\text{A.P.V. index} = \frac{A}{B} \times 100$$

โดยที่ A = ปริมาณอาหารทดสอบที่เพิ่มสารปรุงรสหรือกลิ่น

B = ปริมาณอาหารทดสอบที่ไม่มีการเพิ่มสารปรุงรสหรือกลิ่น

นำค่า R.P.V. index หรือ A.P.V. index ของอาหารทดสอบแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบ ถ้าค่าที่ได้ของอาหารชนิดหนึ่งสูงกว่าอาหารอีกชนิดหนึ่ง แสดงว่ามีความน่ากินมากกว่า

2.1.3.3 การประเมินการปลอมปนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Feed microscopy)

2.1.3.4 การทดสอบการแยกส่วนโดยการลอยตัว (Floatation) เป็นการตรวจสอบเพื่อช่วยในการควบคุมคุณภาพและเลือกใช้อาหารสัตว์อย่างรวดเร็ว

2.2 การประเมินหาพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์

2.2.1 แหล่งของพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์

คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นโภชนะหลักที่ให้พลังงานสำหรับสัตว์ปีก แต่โดยทั่วไปคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะใช้เป็นแหล่งพลังงานพื้นฐาน ในขณะที่โปรตีนจะใช้เป็นแหล่งของกรดอะมิโน (amino acid) เพื่อสร้างโปรตีนของเนื้อเยื่อในร่างกาย (Patrick และ Schaible, 1980) เมื่อสัตว์ปีกได้รับโภชนะต่าง ๆ เหล่านี้เข้าไป ก็จะมีการย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร โภชนะเหล่านี้อาจจะถูกสะสมไว้ในร่างกาย (deposit) หรือถูกตัดให้เล็กลง (break down) ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ และพลังงานออกมา โดยที่คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจะให้พลังงาน 4 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัม ในขณะที่ไขมันให้พลังงาน 9 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโดยประมาณ

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นโภชนะที่ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืชทุกชนิด ส่วนในสัตว์พบอยู่น้อยมาก Lloyd, McDonald และ Crampton (1978) และสาโรช (2523) ได้แบ่งประเภทของคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามการย่อยได้คือ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (Nitrogen free extract, NFE) กับคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยยาก (Crude fiber, CF) ส่วน Harper (1975) ได้แบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ตามอุณหภูมิของน้ำตาลคือ

ก. โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอน 3 อะตอมเรียกว่า ไตรโทส (triose) มีคาร์บอน 4 อะตอมเรียกว่า เทโทส (tetrose) 5 อะตอมเรียกว่า เพนโทส (pentose) ได้แก่ ไรโบส (ribose) ไซโลส (xylose) และอราบินโนส (arabinose) เป็นต้น พบในธรรมชาติพบน้อย ส่วนน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอมเรียกว่า เฮกโซส (hexose) ซึ่งพบเป็นส่วนใหญ่ในธรรมชาติ ได้แก่ กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose)

กาแล็คโตส (galactose) เป็นต้น

ข. ไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) ได้แก่ น้ำตาลที่ประกอบด้วย โมโนแซคคาไรด์ 2 โมเลกุล ที่พบมากในธรรมชาติได้แก่ ซูโครส (sucrose) แล็คโตส (lactose) และมอลโทส (maltose)

ค. โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วย โมโนแซคคาไรด์ 3 ตัว ได้แก่ ราฟฟิโนส (raffinose) ซึ่งประกอบด้วย กาแล็คโตส กลูโคส และฟรุคโตส อย่างละ 1 โมเลกุล

ง. โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบในธรรมชาติมาก ถ้าสลายโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้ด้วยกรดหรือเอนไซม์อย่างสมบูรณ์ จะได้โมโนแซคคาไรด์ โพลีแซคคาไรด์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามหน้าที่คือ 1) โพลีแซคคาไรด์สะสม (storage polysaccharide) ซึ่งเป็นส่วนที่สะสม ได้แก่ แป้งในพืช และไกลโคเจนในสัตว์ 2) โพลีแซคคาไรด์โครงสร้าง (structural polysaccharide) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) ในพืช

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์ปีก

Scott, Nesheim และ Young (1976) ได้อธิบายถึงคาร์โบไฮเดรตที่สัตว์ปีกสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งได้จาก โพลีแซคคาไรด์ที่ย่อยได้ โอลิโกแซคคาไรด์ และโมโนแซคคาไรด์

แป้ง (Starch)

แป้งประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิดคือ อะมัยโลส (amylose) และ อะมัยโลเพ็คติน (amylopectin) โดยอะมัยโลสประกอบด้วยกลูโคส 250-300 อนุ ต่อกันแบบ α -1, 4-linkage เป็นเกลียวยาว ส่วนอะมัยโลสเพ็คตินประกอบด้วยกลูโคส แต่อนุต่อกันแบบ α -1, 4 linkage และ β -1, 6 linkage โดยต่อเป็นแบบกิ่งก้านสาขา โดยเฉลี่ยจะมีมือของกลูโคสประมาณ 25 อนุ และแตกกิ่งออกทุก ๆ 5-8 อนุของกลูโคส แป้งที่ได้จากพืชจะมีทั้งอะมัยโลสและอะมัยโลเพ็คตินในสัดส่วนต่าง ๆ กัน เช่น

แป้งข้าวโพดมีอะมัยโลสร้อยละ 26 แป้งข้าวเจ้ามีร้อยละ 17-30 แป้งมันสำปะหลังมีร้อยละ 18 เป็นต้น แต่สัตว์ปีกมีความสามารถย่อยได้ทั้ง α -1, 4 linkage และ β -1, 6 linkage สัตว์ปีกจะย่อยแป้งได้สูงประมาณร้อยละ 95 แป้งเมื่อถูกย่อยจะได้เด็คซ์ทริน แล้วจะถูกย่อยต่อไปได้มอลโตสและกลูโคส

โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides)

โอลิโกแซคคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย โมโนแซคคาไรด์ 2 หน่วย หรือมากกว่าแต่ไม่เกิน 9 หน่วย โอลิโกแซคคาไรด์ที่มีความสำคัญทางด้านโภชนาการของสัตว์ปีกคือ ไดแซคคาไรด์ (disaccharides) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย โมโนแซคคาไรด์ 2 หน่วย ที่สำคัญคือ ซูโครส (sucrose) และมอลโตส (maltose) ส่วนไดแซคคาไรด์อื่น ๆ และโอลิโกแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย โมโนแซคคาไรด์ 3 และ 4 หน่วย มีความสำคัญน้อย ซูโครสประกอบด้วย กลูโคส 1 หน่วย กับฟรุคโตส 1 หน่วย จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ซูเครส (sucrase) ส่วนมอลโตสประกอบด้วยกลูโคสทั้ง 2 หน่วย ส่วนใหญ่จะได้จากการย่อยแป้ง มอลโตสจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์มอลเตส (maltase) แล้วได้กลูโคส

โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharides)

โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส (D-glucose) ฟรุคโตส (D-fructose) กาแลคโตส (D-galactose) และแมนโนส (D-mannose) พบว่ากลูโคสมีความสำคัญที่สุดสำหรับสัตว์ปีก ทั้งในด้านโภชนาการและเมตาบอลิซึม กลูโคสเป็นแหล่งของพลังงานขั้นพื้นฐานในสัตว์ พวกโมโนแซคคาไรด์ที่พบในรูปอิสระในธรรมชาติมีอยู่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับที่พบอยู่ในรูปของโพลีแซคคาไรด์และไดแซคคาไรด์ กลูโคสจะถูกนำไปใช้ในการผลิตพลังงานสำหรับเซลล์ต่าง ๆ โดยผ่านวงจรเครป (Krebs cycle)

บทบาทของเซลลูโลสในอาหารสัตว์ปีก

เซลลูโลส (cellulose) เป็นโมเลกุลที่ไม่มีกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาว ๆ โดยพันธะ B (1-->4) ซึ่งไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในกระเพาะและลำไส้ของสัตว์ปีก จึงไม่สามารถจะเข้าประโยชน์ได้ เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ (cell wall) ของพืช เซลลูโลสในผนังเซลล์จะเกาะอยู่กับสาร 3 ชนิด คือ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) และเอ็กซ์เทนซิน (extensin) เฮมิเซลลูโลสเป็นสารจำพวกไซแลนส์ (xylans) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของไซโตสหรือโมโนแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม เพคตินเป็นโพลีเมอร์ของ methyl-D-galacturonate ส่วนเอ็กซ์เทนซินเป็นไกลโคโปรตีนชนิดหนึ่งเกาะอยู่กับเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบด้วย เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากพืช ซึ่งผนังเซลล์ของพืชมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ถ้าหากวัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่ผ่านการบดแล้วจะทำให้การย่อยได้ของแป้ง น้ำตาล โปรตีน และไขมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ลดลง เนื่องจากน้ำย่อยจากระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีกไม่สามารถจะเข้าย่อยได้ (Lloyd, McDonald and Crampton 1978) แต่เซลลูโลสก็มีบทบาทช่วยให้การย่อยและการดูดซึมของอาหารในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีกดีขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสจะทำให้การเคลื่อนผ่านของอาหารในระบบทางเดินอาหารช้าลง นอกจากนี้ยังไม่ทำให้น้ำมูล (feces) ที่ขับถ่ายออกมาแข็งเกินไป (Patrick and Schaible, 1980)

ไขมัน (Lipid)

ไขมันประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ไขมันให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนประมาณ 2.25 เท่า Scott, Nesheim และ Young (1976) ได้แบ่งไขมันตามองค์ประกอบทางเคมีเป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ ไขมันธรรมดา (simple fats) ไขมันประกอบ (compound fats) และอนุพันธ์ไขมัน (derived fats)

ไขมันธรรมดา (simple fats) เป็นไขมันที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เท่านั้น เมื่อเอาไปไฮโดรไลส์ (hydrolyzed) จะได้ กลีเซอรอลกับกรดไขมัน (fatty acid) ไขมันธรรมดาแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ

ก. ไขมันแท้ (true fat) ได้แก่ ไขมันและน้ำมันที่ได้จากสัตว์และพืช ไขมันธรรมดาที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นพวกกลีเซอไรด์ (glyceride) และที่พบมากที่สุดคือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ไตรกลีเซอไรด์เมื่อถูกไฮโดรไลส์จะได้กลีเซอรอล 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล

ข. ไขมันไม่แท้ (untrue fat) เป็นไขมันธรรมดาที่เกิดจากกรดไขมันกับ แอลกอฮอล์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ได้แก่ พวกแว็กซ์ (wax) ต่าง ๆ ไขมันพวกนี้ไม่ค่อยมีบทบาทด้านโภชนาการ เพราะระบบทางเดินอาหารของสัตว์ย่อยได้น้อยหรือย่อยไม่ได้เลย จึงมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ

ไขมันประกอบ (compound fats) เป็นไขมันที่รวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) โกลโคไลปิด (glycolipid) และไลโปโปรตีน (lipoprotein) เป็นต้น ไขมันเหล่านี้จึงมีสูตรโครงสร้างซับซ้อนยิ่งขึ้น

อนุพันธ์ไขมัน (derived fats) เป็นไขมันที่ได้จากการแตกตัวของไขมันธรรมดา หรือไขมันประกอบ เช่น กรดไขมัน กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ สเตอรอล เป็นต้น

กรดไขมัน (fatty acids) กรดไขมันเป็นสารอินทรีย์พวกกรดโมโนคาร์บอกซิลิก (monocarboxylic acid) กรดไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไขมันที่พบในธรรมชาติ เกือบทุกชนิด การแยกประเภทของกรดไขมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การแยกประเภทกรดไขมันโดยใช้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุล และการแยกประเภทกรดไขมันโดยใช้โครงสร้าง

การแยกประเภทของกรดไขมันโดยใช้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

- ก. กรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (short chain fatty acid)
- ข. กรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดปานกลาง (medium chain fatty acid)
- ค. กรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดยาว (long chain fatty acid)

การแยกประเภทกรดไขมันโดยการใช้โครงสร้าง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

(unsaturated fatty acids)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เป็นการไขมันที่มีคาร์บอนในโมเลกุลถูกไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มแล้ว และไม่สามารถจะรับไฮโดรเจนหรือธาตุอื่น ๆ เข้าไปในโมเลกุลได้ ทำให้โครงสร้างของกรดไขมันชนิดนี้มีเฉพาะพันธะเดี่ยว (single bond) กรดไขมันประเภทนี้ส่วนใหญ่มักพบมากในไขมันที่ได้มาจากสัตว์ กรดไขมันในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดสเตียริก (stearic acid)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) เป็นการไขมันที่มีคาร์บอนในโมเลกุลที่มีไฮโดรเจนเกาะอยู่ไม่เต็มที่ ทำให้มีพันธะคู่ (double bond) เกิดขึ้น ถ้ามีพันธะคู่ 1 แห่งในโมเลกุลก็จะมีไฮโดรเจนน้อยกว่าชนิดอิ่มตัว 2 อะตอม กรดไขมันที่พบในธรรมชาติอาจจะมีพันธะคู่มากกว่า 1 แห่ง อาจจะเป็น 2 หรือ 3 แห่ง กรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่จะพบมากในน้ำมันที่สกัดมาจากพืช เช่น น้ำมันข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในพืชจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ จึงเรียกรดไขมันชนิดนี้ว่า กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) ซึ่งได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) กรดอะราชีโดนิก (arachidonic acid)

ปัจจัยที่มีผลต่อการได้รับประโยชน์ได้ของไขมันในสัตว์ปีก

ก. ชนิดของไขมัน ไขมันชนิดต่าง ๆ มีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกัน น้ำมันพืชมีกรดไขมันพวกที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงกว่ากรดไขมันที่อิ่มตัว ส่วนไขสัตว์จะมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว Scott, Nesheim และ Young (1976) รายงานว่า ไก่จะดูดซึมกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว นอกจากนี้ความยาวของกรดไขมันก็จะมีผลต่อการดูดซึมด้วย โดยการดูดซึมจะลดลงตามขนาดของความยาวของกรดไขมันที่เพิ่มขึ้น

ข. อายุ อายุสัตว์ปีกมีผลต่อการย่อยได้และดูดซึมของไขมัน สัตว์ปีกอายุน้อยระบบทางเดินอาหารยังเจริญไม่เต็มที่ จึงทำให้การย่อยและการดูดซึมได้ต่ำกว่าสัตว์ที่มีอายุนมากขึ้น โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์ของไขมันจะใช้ได้เต็มที่เมื่ออายุมากกว่า 8 สัปดาห์

ค. พันธุ์สัตว์ ไก่พันธุ์นิวแฮมเชียร์ (New Hampshire) จะใช้ประโยชน์จากไขว

ได้สูงกว่าไก่พันธุ์เล็กฮอร์น (white leghorn) และไก่พันธุ์เนื้อ (broiler type)

นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันในสัตว์ปีกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น การใช้ไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวร่วมกับไขมันที่อิ่มตัว จะทำให้การใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าผลรวมเฉลี่ยของไขมันแต่ละชนิดรวมกัน

การประเมินคุณภาพของไขมัน

การประเมินคุณภาพของไขมันโดยวิธีทางเคมี

ก. ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวของไขมัน ไอโอดีนัมเบอร์เป็นค่าที่แสดง ถึงจำนวนกรัมของไอโอดีนหรือฮาโลเจน (halogen) ที่ถูกดูดซึมโดยไขมัน 100 กรัม โดยทั่วไปไขมันที่บริสุทธิ์แต่ละชนิดจะมีค่าไอโอดีนัมเบอร์ไม่เท่ากัน ค่าไอโอดีนสูงแสดงว่า มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่สูง

ข. สะปอนนิฟิเคชันัมเบอร์ (Saponification number) เป็นการวัดขนาดความยาวของโมเลกุลของกรดไขมัน (chain length of fatty acid) โดยการนำไขมันไปต้มกับด่างทำให้เกิดกลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน ค่าสะปอนนิฟิเคชันัมเบอร์แสดงถึงจำนวนมิลลิกรัมของด่าง ที่ทำให้กรดไขมัน 1 กรัมเป็นกลาง ไขมันที่มีค่าสะปอนนิฟิเคชันัมเบอร์ต่ำ แสดงว่าประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดยาว

ค. เอซิดัมเบอร์ (Acid number) เป็นการหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ในไขมัน ซึ่งเป็นการตรวจสอบความเก่าใหม่ของไขมัน เอซิดัมเบอร์แสดงถึงจำนวนมิลลิกรัมของด่าง ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระ 1 กรัมเป็นกลาง

การประเมินคุณภาพของไขมันโดยวิธีทางกายภาพ

ก. จุดหลอมเหลว (Melting point) กรดไขมันแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวต่างกัน จุดหลอมเหลวของไขมันจากพืชและสัตว์มีค่าเป็นช่วง (range) ของอุณหภูมิที่ไขมันเริ่มหลอมเหลวจนกระทั่งหลอมเหลวหมด จุดหลอมเหลวของไขมันมีค่าต่ำหรือสูงขึ้นอยู่กับน้ำหนัก

โมเลกุลและจำนวนพันธะคู่ ไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากก็จะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำเช่นกัน

ข. จุดเกิดควัน (Smoking point) ไขมันเมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิหนึ่งก็จะสลายตัวและเกิดเป็นควัน เรียกอุณหภูมินี้ว่าจุดเกิดควันของไขมัน โดยไขมันแต่ละชนิดมีจุดเกิดควันที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

ค. การเหม็นหืน (Rancidity) การเกิดการเหม็นหืนของไขมันเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อไขมันถูกกับอากาศชื้นและความร้อนมาก ๆ จะทำให้คุณภาพของไขมันเสื่อมลง โดยเฉพาะรสและกลิ่นผิดปกติ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของไขมันก็ลดลงด้วย

2.2.2 หน่วยของพลังงานในอาหารสัตว์ปีก

เมื่อสัตว์ปีกได้รับอาหารก็จะมีขบวนการย่อย การดูดซึม และขบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ซึ่งจะมีขั้นตอนของการใช้พลังงานตามแผนภาพที่ 1

Sibbald (1982) อธิบายถึงลำดับขั้นตอนการใช้พลังงานในสัตว์ปีกดังนี้คือ

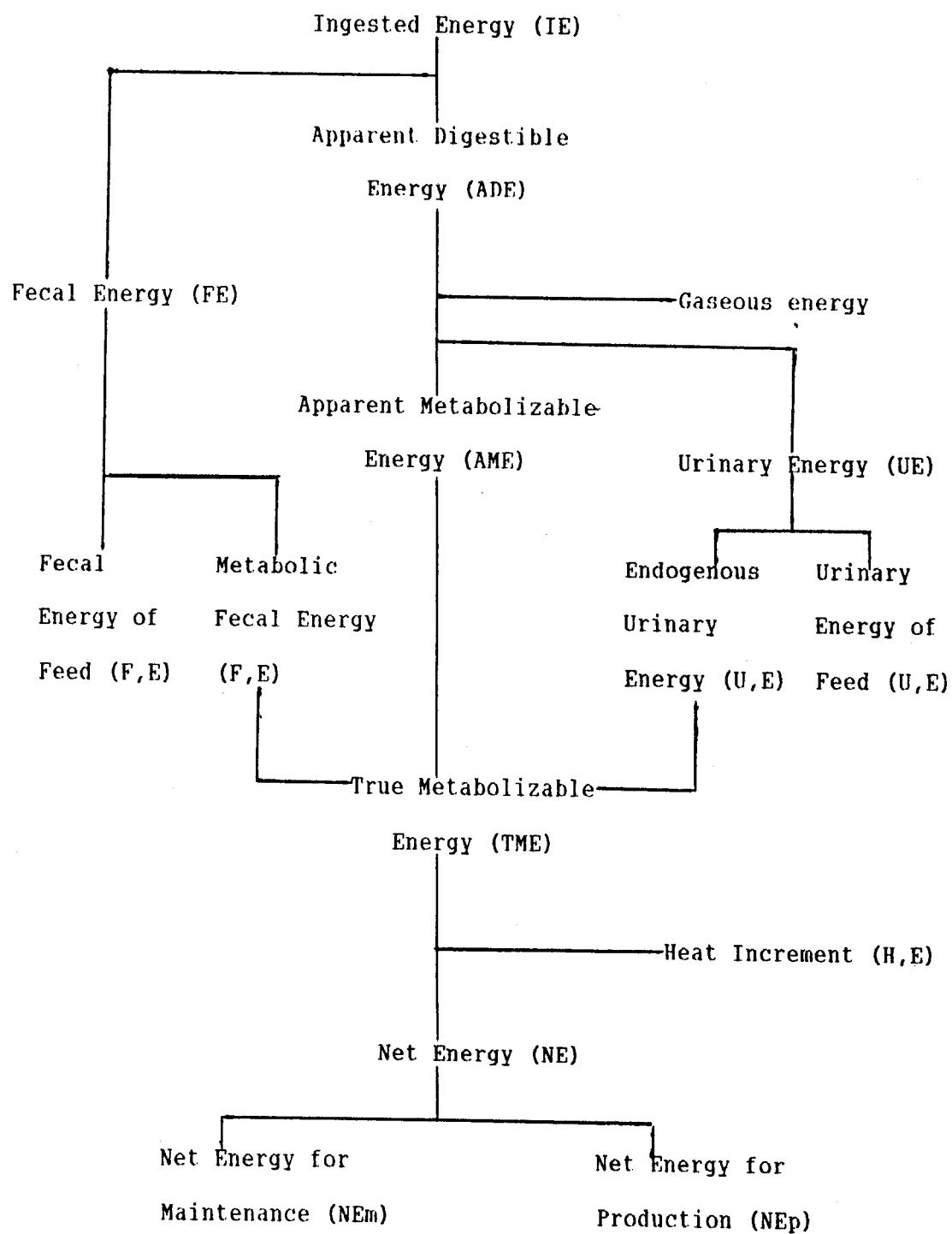
2.2.2.1 พลังงานรวม (Gross energy; GE หรือ Ingested energy; IE) คือพลังงานที่มีอยู่ทั้งหมดในอาหารที่สัตว์กินเข้าไป คำนวณได้จากการนำอาหารมาเผาในแคลลอรีมิเตอร์ แล้ววัดความร้อนที่เกิดขึ้น

2.2.2.2 พลังงานที่สูญเสียในมูล (Fecal energy, FE) เป็นพลังงานที่ได้จากการนำมูลไปเผาในแคลลอรีมิเตอร์ พลังงานส่วนนี้เป็นพลังงานที่สูญเสียไปจากร่างกาย โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

ก. พลังงานในอาหารส่วนที่สัตว์ย่อยไม่ได้ (Fecal Energy of Feed F_fE)

ข. พลังงานที่ได้จากขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolic Fecal Energy, F_mE) ซึ่งได้แก่ น้ำย่อย เซลล์เยื่อทางเดินอาหารที่หมดอายุ และไม่ถูกย่อย รวมทั้งจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร ซึ่งจะถูกขับออกมาทางมูล

ภาพที่ 1 แสดงลำดับการใช้พลังงานในสัตว์ปีก



ที่มา : Sibbald (1982)

2.2.2.3 พลังงานที่ย่อยได้ (Apparent Digestible Energy, ADE) คือ พลังงานที่ได้จากอาหารที่สัตว์กิน หักออกด้วยพลังงานที่มีอยู่ในมูล (GE-FE) ซึ่งเป็นส่วนของพลังงานที่ย่อยและถูกดูดซึมได้

2.2.2.4 พลังงานที่สูญเสียไปในรูปแก๊ส (Gaseous products of digestion, GPD) เป็นพลังงานในแก๊สที่สันดาปได้และสูญหายไปจากร่างกายในขั้นตอนการย่อย และการดูดซึม แก๊สเหล่านี้มีมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ก็มีไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อะซิโตน และอีเทน แก๊สเหล่านี้มักสูญเสียจากร่างกายสัตว์โดยไม่ได้รวมไว้ในพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าพลังงาน ความคลาดเคลื่อนนี้จะมีมากในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะมีการสูญเสียของแก๊สสูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว

2.2.2.5 พลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะ (Urinary Energy, UE) เป็นพลังงานที่มีอยู่ในเศษเหลือของขบวนการเผาผลาญโภชนะในร่างกาย ในขบวนการนี้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทั้งการสังเคราะห์ และการเผาผลาญโภชนะ โดยแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก. พลังงานที่ได้จากโภชนะส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ (Urinary energy of Feed, U_1E) ในร่างกาย ซึ่งอาจจะเกิดจากการสังเคราะห์และการเผาผลาญโภชนะในอาหาร ส่วนของโภชนะที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ก็จะถูกขับออกมา

ข. พลังงานที่ได้จากโภชนะส่วนที่เหลือที่มีอยู่แล้วในร่างกาย (Endogenous Urinary Energy, U_2E) โดยเกิดจากการที่มีการสลายเนื้อเยื่อของร่างกายมาใช้ส่วนของโภชนะที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ก็จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ซึ่งได้แก่ amine group จากโปรตีนก็จะถูกขับทิ้งไป

2.2.2.6 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy; ME) ซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ (Apparent Metabolizable Energy; AME) มีค่าเท่ากับพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมดลบด้วยพลังงานที่สูญเสียในปัสสาวะ และพลังงานที่สูญเสียไปในรูปแก๊ส ดังสมการข้างล่าง

$$AME = ADE - UE - GPD \text{ หรือ } AME = IE - FE - UE - GPD$$

ข. พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True Metabolizable Energy: TME) มีค่าเท่ากับพลังงานในอาหารทั้งหมด ลบด้วยพลังงานในมูลจากส่วนที่ย่อยไม่ได้ ซึ่งมาจากอาหารและจากภายในร่างกาย และพลังงานที่ได้จากโภชนะส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ในปัสสาวะ ซึ่งมาจากอาหารและจากร่างกาย ดังสมการข้างล่าง

$$TME = IE - (F_1E + U_1E - F_2E - U_2E)$$

2.2.2.7 พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับขบวนการเผาผลาญในร่างกาย (Heat increment, HI) เป็นปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นหลังจากสัตว์กินอาหารเสร็จแล้วและสัตว์นั้นอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่สบาย ความร้อนส่วนนี้ประกอบด้วย ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักของอาหาร (heat of Fermentation) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญโภชนะ (heat of nutrient metabolism) ความร้อนส่วนนี้จะสูญหายไปจากร่างกายหรือสูญเสียออกจากร่างกาย ยกเว้นในกรณีที่สัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature) ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนส่วนนี้จะใช้ประโยชน์ในการรักษาร่างกายให้อบอุ่น และถือว่าเป็นพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีพ

2.2.2.8 พลังงานใช้ประโยชน์สุทธิ (Net Energy; NE) มีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้กับพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับขบวนการเผาผลาญในร่างกาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

$$ANE = AME - HI$$

$$TNE = TME - HI$$

พลังงานในส่วนนี้เป็นพลังงานสุทธิที่สัตว์สามารถจะใช้ประโยชน์ในการดำรงชีพ (Net Energy of Maintenance, NE_m) พลังงานสุทธิที่ใช้เพื่อการให้ผลผลิต (Net energy for production; NE_p)

พลังงานสุทธิที่ใช้ในการดำรงชีพ (NE_m) หรืออีกนัยหนึ่งเป็นพลังงานส่วนที่รักษาปริมาณพลังงานในร่างกายสัตว์ให้อยู่ในดุลยภาพ คือไม่ลดและไม่เพิ่ม ประกอบด้วย

- 1) พลังงานพื้นฐาน (basal metabolism) เป็นปริมาณพลังงานที่ร่างกายต้องการขั้นต่ำสุดเพื่อดำรงสภาพการมีชีวิตอยู่ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาพื้นฐานภายในเซลล์

การหมุนเวียนโลหิต การหายใจ เป็นต้น การวัดอัตราการใช้พลังงานพื้นฐานจะต้องวัดเมื่อสัตว์มีสุขภาพสมบูรณ์ พักก่อนแต่ไม่หลับ อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่สบาย และกินอาหารเมื่อสุดหิวมาแล้วไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง 2) พลังงานเพื่อกิจกรรมที่จำเป็น (heat of activity) เป็นพลังงานที่สัตว์ใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพ เช่น การลุกขึ้น ยืน ล้มลงนอน เดินไปกินอาหารและน้ำ รวมทั้งการยืนพัก เป็นต้น 3) พลังงานเพื่อการควบคุมความร้อนในร่างกาย (Heat of Thermal Regulation) พลังงานในส่วนที่ช่วยให้สัตว์ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า Zone of thermoneutrality รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ พลังงานส่วนที่ใช้เพื่อการหอบ เพื่ออัตราการหายใจ เพิ่มความเร็วของการเต้นของหัวใจ และเป็นพลังงานความร้อนที่ช่วยให้สัตว์อบอุ่น เมื่อสัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าวิกฤต ส่วนพลังงานเพื่อการผลิต (NFE_p) เป็นพลังงานที่สัตว์ต้องการใช้ในการสร้างผลผลิต ได้แก่ การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในร่างกาย ขี้ ขน เป็นต้น

2.2.3 การวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยการคำนวณจากการวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์หา ME โดยตรงจากตัวสัตว์ ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และเสียเวลามาก นักอาหารสัตว์หลายคนพยายามใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารมาคำนวณหาค่า ME ของอาหารต่าง ๆ

Axelsson (1939 อ้างถึงใน Sibbald, 1982) ได้เสนอการหาค่า AME ในอาหารสัตว์ปีก โดยคำนวณจากโปรตีนที่ย่อยได้ (Digestible crude protein; DCP) ส่วนประกอบที่เป็นไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งแนวความคิดนี้ได้รับการสนับสนุนจาก Halnan (1951) ในขณะที่ Fraps, Carlyle และ Fudge (1940 อ้างถึงใน Sibbald, 1982) รายงานว่า ค่า AME ของอาหารไก่สามารถคำนวณได้จากสมการ $ME = 4.39(DCP) + 9.46(EE) + 4.21 (NFE+CF)$ ต่อมาได้มีการเสนอการคำนวณค่า ME จากส่วนประกอบทางเคมีกันหลายคน เช่น Carpenter และ Clegg (1956, อ้างถึงใน Scott, Nesheim and Young, 1976) ได้เสนอสมการคำนวณหา ME (Kcal/Kg) = $53+38(\% CP + 2.25 \times \% EE + 1.1 \times (\% Starch +$

sugar)) ซึ่งพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างการประเมินหาโดยการคำนวณจากสมการนี้กับค่าที่ได้รับจากการวัดหา ME โดยตรงมีค่าประมาณ ± 190 Kcal/Kg ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5-8 เท่านั้น การใช้ค่าแบ่งและน้ำตาลแทนค่า NFE ในสมการจะทำให้ค่า ME ที่ได้ถูกต้องกว่า แต่การคำนวณหา ME สำหรับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีพวกเยื่อใยสูง ถ้าใช้สมการนี้จะได้รับค่าที่ถูกต้องน้อยลง นอกจากนี้ยังมีสมการการคำนวณหาค่า ME ของนักวิทยาศาสตร์อาหารสัตว์อีกหลายคน ซึ่งสมการต่าง ๆ ก็สามารถจะนำมาใช้ได้แต่ผู้ที่ใช้ควรจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม และทราบถึงความค้นแปรของข้อมูลที่ได้จากการใช้สมการนั้น ๆ Lodhi, Singh และ Tohhponani (1976; อ้างถึงใน Sibbald, 1982) กล่าวว่าสมการของ Carpenter และ Clegg (1956), Bolton (1962) และ Sibbald และคณะ (1963) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่า AME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตร้อน

2.2.4 การวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยวิธีทางชีววิทยา

การประเมินหาค่า ME โดยการใช้ค่าส่วนประกอบทางเคมีคำนวณจากสมการหาค่าค่าที่ได้ไม่ได้เกิดจากการตอบสนองของสัตว์โดยตรง ดังนั้นค่าที่ได้จากการประเมินโดยวิธีนี้ จำเป็นจะต้องได้รับการทดสอบว่าสัตว์สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงหรือไม่เพียงใด โดยการใช้วัตถุดิบนั้นทดสอบโดยตรงจากตัวสัตว์ ซึ่งเรียกว่าการทดสอบทางชีววิทยา ซึ่งสำหรับการหา ME โดยวิธีนี้มีอยู่ 2 วิธีการหลัก ๆ คือ

2.2.4.1 การประเมินหาโดยใช้วิธีการเก็บมูลและปัสสาวะ (Excreta) ทั้งหมด ซึ่งวิธีนี้จะมีการวัดหาปริมาณอาหารที่กิน มูลและปัสสาวะที่ถูกขับออกมา การวิเคราะห์หาพลังงานรวมในอาหารและในมูลแล้วนำไปคำนวณหาค่า ME ปัจจุบันการประเมินหา ME โดยการเก็บมูลทั้งหมดสามารถทำได้หลายวิธีคือ การวิเคราะห์หาโดยวิธีปกติ (coventional method) Schneider และ Flatt (1975) ได้อธิบายถึงวิธีการประเมินเพื่อสรุปได้ดังนี้ คือ สัตว์ หากการคัดเลือกสัตว์ทดลองที่มีอายุ ขนาด และน้ำหนักใกล้เคียงกัน และต้องเป็นสัตว์ที่มีสุขภาพดี โดยปกตินิยมใช้สัตว์เพศผู้โตเต็มวัยแล้ว เพื่อสะดวกในการเก็บมูลจำนวนสัตว์ที่ใช้ในการทดลองนี้ยิ่งจำนวนเข้ามาก จะยิ่งทำให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

โดยอย่างน้อยไม่ควรต่ำกว่า 4 ชั่วโมง

อาหารและการให้อาหาร การให้อาหารจะต้องให้อย่างน้อย 1 สัปดาห์ก่อนที่จะทำการเก็บมูล เพื่อว่าสัตว์จะได้ชินกับอาหารนั้นและจะทำให้ระบบทางเดินอาหารจะได้ไม่มีอาหารเก่าตกค้างอยู่ ระยะนี้เรียกว่า ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) จากนั้นจะถึงระยะทดลองจริง (experimental period หรือ collection period) ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงสามารถจะค้นแปรไปได้ตามชนิดของสัตว์ เช่น ในสุกร และสัตว์ปีก ควรจะใช้เวลาแต่ละช่วงนาน 4-7 วัน ส่วนในสัตว์เคี้ยวเอื้องควรใช้เวลาแต่ละช่วงนาน 10-14 วัน

การให้อาหาร ควรให้ในเวลาเดียวกันทุกวัน และปริมาณที่ให้กินในแต่ละวันก็ควรจะทำเท่า ๆ กัน เพราะถ้าไม่ให้เท่ากัน เช่น มื้อสุดท้ายให้มากกว่าปกติ มูลที่ขับออกมาอาจจะยืดเวลาออกไปจนถึงระยะเลิกเก็บมูลได้ ทำให้ปริมาณมูลที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ปริมาณอาหารที่ให้สัตว์ควรจะให้พอดี ๆ ที่สัตว์จะกินได้หมด

การคำนวณค่า AME สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$AME = IE - (FE + UE)$$

AME = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ

IE = พลังงานรวมทั้งหมดในอาหาร

FE = พลังงานรวมทั้งหมดในมูล

UE = พลังงานรวมทั้งหมดในปัสสาวะ

การประเมินโดยวิธีนี้จำเป็นต้องทราบปริมาณที่แน่นอนของอาหารที่กิน และมูลที่ขับออก เพราะฉะนั้นในระหว่างการทดลองจะต้องทำการบันทึกอาหารที่กิน และมูลที่ขับออกมาทุกวัน สำหรับการเก็บมูลนั้นในสัตว์ขนาดเล็ก เช่น หนู และสัตว์ปีก ปริมาณมูลที่ขับออกมานมีน้อยจึงควรเก็บมูลทั้งหมด ส่วนในสัตว์ทดลองขนาดกลาง เช่น สุกร แพะ และแกะ นิยมเก็บตัวอย่างมูลไว้เพียงร้อยละ 10 ของมูลที่ขับออกมา ส่วนสัตว์ใหญ่ เช่น โค กระบือ อาจเก็บเพียงร้อยละ 1 ก็ได้

Sibbald (1976) ได้เสนอวิธีการหา ME ที่เรียกว่า TME โดยการใช้ไก่เพศผู้ทำการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นให้กินอาหารที่ต้องการทดสอบจำนวน 40 กรัม แล้วทำการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ก็เก็บมูลไปวิเคราะห์ ทำการอดอาหารต่อไปอีก 24 ชั่วโมง ทำการเก็บมูลเพื่อจะหาพลังงานที่ถูก

ขับออกมาเมื่อไม่ได้รับอาหาร ($FE_m + UE_e$) นำไปคำนวณหาค่า TME ดังสมการข้างล่างนี้

$$TME = IE - (FE + UE - FE_m - UE_e)$$

Farrell (1978) ได้นำเอาวิธีการของ Sibbald (1976) มาประยุกต์ โดยการฝึกให้ไก่เพศผู้กินอาหารอัดเม็ดจำนวน 70 กรัมในเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บมูลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง นอกจากนี้แล้วยังมีนักวิจัยอาหารสัตว์อีกหลายคนได้นำวิธีการของ Sibbald (1976) ไปประยุกต์เพื่อประเมินหาค่า ME เช่น Chami, Vohra และ Kratzer (1980) และ Vohra, Chami และ Oyawoye (1982) เป็นต้น

2.2.4.2 การประเมินโดยใช้อินดิเคเตอร์ เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอินดิเคเตอร์ (indicator) เป็นสารที่เติมลงไปในการทดสอบเพื่อช่วยให้สะดวกในการเก็บมูลโดยไม่ต้องเก็บมูลทั้งหมด สารโซ (2523) กล่าวถึงคุณสมบัติของอินดิเคเตอร์ที่ดีจะต้องเป็นสารที่สลายย่อยและดูดซึมไม่ได้ ไม่ทำให้ระบบทางเดินอาหารเปลี่ยนแปลง มีการเคลื่อนตัวผ่านระบบทางเดินอาหารด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ อินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ โครมิกออกไซด์ (chromic oxide) ลิกนิน (lignin) เป็นต้น

Hill และ Anderson (1958; อ้างโดย Scott, Nesheim and Young 1976) ได้พัฒนาวิธีการหาค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยใช้อินดิเคเตอร์ วิธีการทดลองทำได้โดยการให้ไก่ทดลองได้รับอาหารเปรียบเทียบ ซึ่งจะมีกลูโคสเป็นส่วนประกอบในสัดส่วนที่สูงเก็บมูล 4 วันสุดท้ายของการให้อาหารมาวิเคราะห์หาพลังงานรวม เป็นไก่ทดลองกลุ่มที่ 1 ส่วนไก่ทดลองอีกกลุ่มหนึ่งให้ได้รับอาหาร ซึ่งมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่จะทำการทดสอบทดแทนระดับกลูโคสในระดับร้อยละ 30-40 เปรียบอาหารนี้ว่าอาหารทดสอบ การเก็บมูลก็ทำเช่นเดียวกับในกลุ่มที่ได้รับอาหารเปรียบเทียบ ในอาหารทั้งสองนี้ใส่โครมิกออกไซด์ร้อยละ 0.1-0.2 เพื่อใช้หาการย่อยได้ในอาหาร แล้วนำไปคำนวณหา ME ดังสมการข้างล่าง

$$ME \text{ kcal/gms} = GE - (EE + 8.22 \times NR)$$

GE = พลังงานรวมทั้งหมดในอาหารที่กิน (kcal/gms)

EE = พลังงานรวมทั้งหมดในมูลและปัสสาวะที่ขับออกมา (kcal/gms)

NR = ไนโตรเจนที่เก็บสะสมไว้ในร่างกาย (gms/gms)

8.22 = เป็นค่าพลังงานรวมของไนโตรเจนในการคยूर (kcal/gms)

ส่วน ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ทดแทนกลูโคสคำนวณได้จากสมการ

$$ME = 3.64 - \frac{RME - TME}{P}$$

P

3.64 = พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกลูโคส (kcal/gms กลูโคส)

ME = พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่ทดสอบ (kcal/gms)

RME = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ที่เลี้ยงด้วยอาหารเปรียบเทียบ (kcal/gms)

TME = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดสอบ (kcal/gms)

P = อัตราส่วนของอาหารทดสอบที่ทดแทนอาหารคาร์โบไฮเดรตในอาหารเปรียบเทียบ

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

2.2.5.1 ชนิดสัตว์ทดลอง

Sugden (1974) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่า AME ของอาหารผสมระหว่างไก่กับเป็ด 6 การทดลอง พบว่าค่า AME ของอาหารผสมที่ได้จากไก่จะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากเป็ด 4 การทดลอง โดยมีเพียง 1 การทดลองเท่านั้นที่ค่า AME ที่ได้จากเป็ดมีค่าสูงกว่าในไก่

Mohamed และคณะ (1984) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่า AME_n และ TME_n ของข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดฝ้ายที่ประเมินจากเป็ดเทศกับไก่กระทองอายุ 8 สัปดาห์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่า AME_n และ TME_n ของข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ เมื่อประเมินจากเป็ด

และไก่ ส่วนค่า AME_n และ TME_n ของกากถั่วเหลืองและกากเมล็ดฝ้าย จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างเปิดกับไก่ Sibbald (1976) ได้ทำการศึกษา ค่า TME ของข้าวโพด ปลาบ่น ไร่ข้าวสาลี กากถั่วเหลือง เปรียบเทียบระหว่างไก่กับไก่วง พบว่ามีเพียงค่า TME ของกากถั่วเหลืองเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันในระหว่างสัตว์ 2 ชนิดนี้ โดยค่า TME ที่ได้จากไก่วงจะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากไก่ คือ 3,397 kcal/kg เปรียบเทียบกับ 3,228 kcal/kg ในไก่ ($P < 0.01$) ต่อมา Parsons และ Poter (1980) ก็ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดสัตว์ที่มีต่อค่า TME เช่นกัน โดยการหาค่า TME ของกากถั่วเหลืองจากไก่วงกับไก่ ก็พบว่า ค่า TME ของกากถั่วเหลืองที่ได้จากไก่วงสูงกว่าที่ได้จากไก่

Dale และ Fuller (1980) รายงานว่าค่า TME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันระหว่างไก่กับไก่วง ยกเว้น ค่า TME ของกากถั่วเหลือง ซึ่งค่าที่ได้จากไก่วงจะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากไก่ ซึ่งเขาได้ตั้งสมมุติฐานที่อาจจะเป็นไปได้ว่า อาจเกิดจาก cecal microflora ของไก่วง มีความสามารถในการหมักคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ของกากถั่วเหลืองได้ดีกว่าไก่ ส่วน Kessler และ Thomas (1980) รายงานว่า เมื่อมีการตัดส่วนของกระพุ้งลำไส้ออก (cecectomized) ในไก่ ก็พบว่าค่า TME ของกากถั่วเหลืองจะลดลง

Lu, Huang และ Shen (1985) ได้ศึกษาค่า TME ของ ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง กากถั่วเหลือง ปลาบ่น ไร่ข้าวสาลี และกลบโดยใช้ เป็ดบ้วยจ่าย (mule drakes) กับ domestic (Tsaiya) duck ซึ่งเขารายงานว่ามีเพียงค่า TME ของข้าวโพดกับกากถั่วเหลืองเท่านั้นที่สามารถใช้แทนกันได้ ในระหว่างเปิดบ้วยจ่ายกับเปิดพื้นเมือง

2.2.5.2 อายุของสัตว์ทดลอง

การศึกษาเกี่ยวกับผลของอายุสัตว์ที่มีต่อค่า AME และ TME ซึ่งมีการศึกษากันมากมาย Zelenka (1973a,b) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของค่า AME ของอาหารในแต่ละวันในไก่ โดยเริ่มจากเมื่อฟักออกมาจนถึงอายุ 22 วัน จากนั้นจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า AME ทุก ๆ 2 วัน จนถึงอายุ 70 วัน พบว่าค่า AME ของอาหารลดลงอย่าง

รวดเร็วเมื่ออายุ 6-8 วัน และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุประมาณ 14 วัน และต่อไปจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งการที่ค่า AME ลดลงในช่วงแรกนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากว่ามีการขับผลพลอยได้ของการใช้ yolk ออกมา และต่อมาการที่ค่า AME เพิ่มขึ้นก็เนื่องจากการใช้ yolk ลดลง ค่า AME ที่ได้จะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อสัตว์ปีกโตเต็มวัยแล้ว และจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในการเปลี่ยนอาหารเมื่อสัตว์มีพลังงานต่ำ

Sibbald (1978) ได้ทำการศึกษาค่า TME ของอาหารในไก่กระทองที่มีอายุต่าง ๆ กัน คือ 24, 38, 53 วัน และเมื่อโตเต็มวัยในการทดลองที่ 1 ส่วนการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบในอายุ 29, 43, 57 และเมื่อโตเต็มวัย เขาพบว่าในการทดลองที่ 1 ค่า TME ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามอายุของไก่ที่เพิ่มขึ้น คือ 3.86, 3.82, 3.98 และ 3.97 Kcal/กรัม ตามลำดับเมื่ออายุไก่เป็น 24, 38, 53 วัน และเมื่อโตเต็มวัย แต่การทดลองที่ 2 ค่า TME กลับลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น คือ 4.06, 3.99, 3.95 และ 3.93 Kcal/กรัม ตามลำดับ เมื่ออายุ 29, 43, 57 วันและเมื่อโตเต็มวัย เขาได้เสนอแนะว่าควรจะใช้ไก่ที่โตเต็มวัยแล้วในการประเมินค่า TME ของอาหาร

Muztar และ Slinger (1979) ได้ศึกษาผลของอายุที่มีต่อค่า TME ของกากถั่วเหลืองและ rapeseed meal ในไก่อายุ 10 เดือนกับ 2 ปี พบว่า TME ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและได้ให้ข้อเสนอแนะว่า เมื่อสัตว์โตเต็มวัยแล้วอายุที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลกระทบต่อค่า TME

Terapuntawat และ Tasaki (1985) ได้ทำการประเมินค่า TME_n ของไก่เล็กฮอร์สเพศผู้ต่าง ๆ กันจาก 1 ถึง 19 สัปดาห์ พบว่าค่า TME_n ของแป้งข้าวโพดในไก่แต่ละช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อประเมินค่า TME_n ของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองพบว่าไก่อายุ 3 สัปดาห์มีการใช้ TME_n ได้ 3,776 kcal/kg เมื่อเปรียบเทียบกับค่า 2,849 และ 2,660 kcal/kg เมื่อไก่มีอายุ 1 และ 19 สัปดาห์ ส่วนโปรตีนสกัดจากไบอัลฟาพบว่า เมื่อไก่มีอายุมากขึ้นสามารถใช้พลังงานได้สูงขึ้น จาก 1,991 kcal/kg เป็น 2,651 kcal/kg เมื่ออายุ 1 และ 9 สัปดาห์ ตามลำดับ การที่สัตว์ปีกมีการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุและองค์ประกอบที่แตกต่างกันในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ทดสอบ ซึ่งการตรวจสอบค่า TME_n ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ปีกควรใช้ไก่ที่เจริญเต็มวัยแล้วเป็นสัตว์ที่ทดสอบ จะทำให้ค่าความแปรปรวนจากอายุสัตว์ทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงค่า AME_n และ TME_n (Kcal/kg) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ
เปรียบเทียบระหว่างเปิดเตสกับไก่

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ชนิดสัตว์	AME _n	TME _n
ข้าวโพด	เปิดเตส	2,949 (39)	3,136 (37)
	ไก่	3,042 (51)	3,152 (50)
		NS	NS
ข้าวสาลี	เปิดเตส	2,736 (53)	2,897 (54)
	ไก่	2,692 (66)	2,794 (66)
		NS	NS
ข้าวบาร์เลย์	เปิดเตส	2,709 (39)	2,882 (40)
	ไก่	2,650 (56)	2,757 (56)
		NS	NS
กากถั่วเหลือง	เปิดเตส	2,575 (36)	2,822 (40)
	ไก่	2,311 (37)	2,466 (37)
		**	**
กากเมล็ดฝ้าย	เปิดเตส	1,677 (49)	1,868 (45)
	ไก่	1,944 (70)	2,059 (62)
		*	*

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงจะอยู่ในรูปต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง

: ตัวเลขในวงเล็บเป็นค่า SE

: ** เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$

: * เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

ที่มา : Mohamed และคณะ (1984)

2.2.5.3 ปริมาณอาหารทดสอบ

Sibbald (1975) รายงานว่าระดับอาหารที่ใช้ทดสอบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า AME ที่วัดคือ ถ้าระดับอาหารที่ใช้ทดสอบมีปริมาณมากก็จะทำให้ค่า AME ที่ประเมินได้มีค่าลดลง ซึ่งตรงกับรายงานของ Muztar และ Slinger (1980). Farrell (1980) ให้ข้อเสนอแนะว่าควรใช้ปริมาณอาหารประมาณ 70 กรัมในการประเมินแทนที่จะเป็น 20-40 กรัม ซึ่งเสนอโดย Sibbald (1975) โดยให้เหตุผลว่าถ้าหากใช้อาหารทดสอบปริมาณน้อยแล้ว จะทำให้การเก็บมูลเป็นไปด้วยความลำบาก Ostrowski-Meissner (1984) ได้ทำการทดสอบหา AME และ TME ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในเป็ด โดยมีปริมาณอาหาร 3 ระดับคือ 30, 50 และ 70 กรัม จากการทดลองได้เสนอแนะว่าปริมาณอาหารทดสอบ 70 กรัม นั้นจะเหมาะสม โดยจะต้องมีการฝึกให้เป็ดกินอาหารในปริมาณที่กำหนดก่อนทำการทดลอง ซึ่งจะไม่ทำให้นิยัปัญหาเรื่องการขย้อนอาหารออกมา

ในการศึกษาการวัดหา TME ของอาหารนั้นพบว่าระดับของอาหารทดสอบที่ใช้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TME (Sibbald, 1976; Muztar and Slinger, 1980) ต่อมา Sibbald (1977) ได้รายงานไว้ว่า ระดับอาหารทดสอบที่ใช้ในช่วง 10-100 กรัม จะไม่ทำให้ค่า TME เปลี่ยนแปลง

2.3 การประเมินคุณค่าของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์

2.3.1 การประเมินการย่อยได้ (Digestibility) Scott, Nesheim และ Young (1976) กล่าวว่า การประเมินการย่อยได้เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมานานแล้ว สำหรับการประเมินคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ การประเมินทำได้โดยการหาปริมาณอาหารที่กิน และปริมาณมูล (Feces) ที่ถูกขับออกมา ประกอบกับการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาโภชนะต่าง ๆ ในอาหารและมูล แล้วนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ ดังสมการ

$$\text{การย่อยได้ (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ปริมาณอาหารที่กิน} \times \text{โปรตีนในอาหาร}) - (\text{ปริมาณมูล} \times \text{โปรตีนในมูล}) \times 100}{(\text{ปริมาณอาหารที่กิน} \times \text{โปรตีนในอาหาร})}$$

การประเมินการย่อยได้ของโปรตีนในสัตว์ปีก Scott และคณะ (1976) รายงานว่า ได้มีความพยายามที่จะหาวิธีการประเมินการย่อยได้ในสัตว์ปีก โดยวิธีการเก็บมูลและปัสสาวะที่ผสมกัน แต่เนื่องจากปัสสาวะที่ขับออกมามีปริมาณกรดยูริก (uric acid) และแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) สูง จึงทำให้การวัดการย่อยได้ของโปรตีนโดยตรง โดยวิธีการวัดไนโตรเจนในมูลไม่สามารถจะทำได้ในสัตว์ปีก จึงมีวิธีการวัดหาการย่อยได้ของโปรตีนโดยวิธีทางอ้อม (indirect method) 2 วิธีคือ

2.3.1.1 การวิเคราะห์โดยวิธีของ Ekman โดยการใช้โปตัสเซียมเพอแมงกานेटเป็นตัวทำละลายกรดยูริก จากนั้นใช้ uranyl acetate ตกตะกอนโปรตีน แล้วนำโปรตีนที่ตกตะกอนแล้วไปล้าง เพื่อแยกเอาไนโตรเจนที่ปนเปื้อนอยู่ในมูลออก นำโปรตีนที่ตกตะกอนไปวิเคราะห์หาไนโตรเจน และถือว่าไนโตรเจนส่วนนี้เป็นไนโตรเจนในอาหารที่ย่อยไม่ได้

2.3.1.2 โดยการวิเคราะห์หาไนโตรเจนจากปัสสาวะที่ปนอยู่ในมูล โดยมีสมมุติฐานว่า ยูริกแอซิดไนโตรเจน (uric acid nitrogen) มีค่าคงที่ในยูรีนารีไนโตรเจน (urinary nitrogen) ปกติถือว่าร้อยละ 80 ของไนโตรเจนในปัสสาวะจะอยู่ในรูปยูริกแอซิดไนโตรเจน ส่วนไนโตรเจนที่เหลือในอุจจาระและปัสสาวะจะเป็นส่วนของไนโตรเจนจากอาหารที่ย่อยไม่ได้ แล้วนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ แต่ปริมาณกรดยูริกในปัสสาวะจะมีการผันแปรไปได้บ้างขึ้นอยู่กับระดับของโปรตีนในอาหาร การสลายที่เกิดจากแบคทีเรียในอุจจาระและปัสสาวะ และปัจจัยอื่น ๆ

นอกจากนี้ยังมีการประเมินการย่อยได้ของโปรตีน โดยใช้วิธีการค้ำคัตแยกท่อนับถ่ายมูลและปัสสาวะออกจากกัน เพื่อที่จะสามารถเก็บมูลและปัสสาวะแยกกันได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ประเมินการย่อยได้ของโปรตีนได้ดี เพราะสามารถจะหาปริมาณโปรตีนในปัสสาวะได้แม่นยำ ทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนถูกต้องมากขึ้น

2.3.2 การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธีทางชีววิทยา คุณภาพของโปรตีน (Biological value) หมายถึง ความสามารถในการย่อย การดูดซึม และการนำปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นของโปรตีนแต่ละชนิดไปใช้ได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับว่าชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่ดูดซึมเข้าไปในร่างกายนั้นพอเพียง และตรง

กับความต้องการของสัตว์มากนักน้อยเพียงใด การประเมินคุณภาพของโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี Scott, Nesheim และ Young (1976) ได้กล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินดังนี้

2.3.2.1 ไบโวลิจิคอล แวลิว (Biological value, BV) คือ การประเมินคุณภาพของโปรตีน โดยการคิดสัดส่วนของโปรตีนในรูปของไนโตรเจนที่เก็บไว้ในร่างกาย (retention) จากโปรตีนในรูปของไนโตรเจนที่ดูดซึม (absorption) ทั้งหมด หรืออีกนัยหนึ่ง เป็นการวัดสัดส่วนของโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ในการดำรงชีวิตและการให้ผลผลิต ค่า BV จึงเป็นค่าชี้ให้เห็นถึงชนิด ปริมาณ และสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนนั้น ตรงกับความต้องการสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน (protein anabolism) ของสัตว์ได้มากนักน้อยเพียงใด

$$BV \text{ (ร้อยละ)} = \frac{D - (E - f) + (u - u)}{D - (F - f)} \times 100$$

D = ปริมาณไนโตรเจนที่กินโดยคำนวณจากอาหารที่กินทั้งหมด

F = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในมูล

f = ปริมาณไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากอาหารแต่มาจากร่างกายสัตว์

U = ปริมาณไนโตรเจนที่ได้มาจากอาหารแต่ละ

u = ปริมาณไนโตรเจนที่ได้มาจากการสลายตัวของโปรตีนในร่างกาย

การประเมินค่า BV จำเป็นต้องวัดโปรตีนในรูปของไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมาทั้งทางมูลและปัสสาวะ และโปรตีนในรูปของไนโตรเจนที่ขับออกมาทางมูลและปัสสาวะที่ไม่ได้มาจากอาหาร ในทางปฏิบัติพบว่ายุ่งยากและต้องใช้เวลาและแรงงานมาก นักอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จึงนิยมวัดค่า BV โดยประมาณ โดยไม่ได้นำค่าของไนโตรเจนที่ขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ ที่ไม่ได้มาจากอาหารมาหักออก เรียกค่านี้ว่า แอปพาแลนไบโวลิจิคอล-แวลิว (Apparent biological value, BV_p) โดยคำนวณได้จากสมการ

$$BV_p \text{ (ร้อยละ)} = \frac{D - (F + U)}{D - F} \times 100$$

2.3.2.2 สมดุลไนโตรเจน (Nitrogen balance; NB) คือ การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธีเก่า แต่ยังเป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งซึ่งยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับสัตว์ที่มีการขับถ่ายมูล และปัสสาวะแยกออกจากกัน สัตว์ปีกจำเป็นต้องผ่าตัด เพื่อแยกท่อปัสสาวะออกจากท่อขับมูล การประเมินโดยวิธีนี้เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างปริมาณไนโตรเจนที่ร่างกายได้รับจากอาหาร กับปริมาณไนโตรเจนที่ร่างกายขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ ถ้าสัตว์ปีกมีการขับถ่ายไนโตรเจนสูง แสดงว่าโปรตีนชนิดนั้นมีคุณภาพไม่ดี สมการที่ใช้คำนวณค่า NB

$$NB = D - (F + U)$$

D = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่กิน

F = ปริมาณไนโตรเจนในมูล

U = ปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะ

2.3.2.3 เนตโปรตีนยูทิลไลเซชัน (Net protein utilization, NPU) คือ การประเมินคุณภาพของโปรตีน โดยการนำค่าการย่อยได้ (digestibility) มาประเมินร่วมกับค่า BV ซึ่งจะคำนวณค่า NPU ได้ดังสมการ

$$NPU = BV \times \text{digestibility}$$

$$\text{หรือ } NPU = \frac{BNT - BNF}{D}$$

D

BNT = ปริมาณไนโตรเจนในซากสัตว์ที่กินอาหารทดสอบโปรตีน

BNF = ปริมาณไนโตรเจนในซากสัตว์ที่กินอาหารไม่มีโปรตีน

D = ปริมาณไนโตรเจนที่กินทั้งหมดจากอาหาร

2.3.2.4 เนตโปรตีนเรโซ (Net protein ration, NPR) คือ การประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยการวัดการเจริญเติบโตกับปริมาณโปรตีนที่กิน วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในอาหารสัตว์ปีกและสัตว์เล็กทั่ว ๆ ไป เพราะสะดวกและไม่เสียเวลามากนัก

$$NPR = \frac{BWT - BWF}{P}$$

P

BWT = น้ำหนักสัตว์ที่กินอาหารทดสอบโปรตีน

BWF = น้ำหนักสัตว์ที่กินอาหารไม่มีโปรตีน

P = ปริมาณโปรตีนที่กินทั้งหมดในอาหาร

2.3.2.5 เนตโปรตีนแวลิว (Net protein value, NPV) เป็นวิธีการประเมินคุณภาพโปรตีนในสัตว์ปีกที่กำลังเจริญเติบโต วิธีนี้ไม่ต้องเก็บมูลและปัสสาวะไปวิเคราะห์ แต่จะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในซากสัตว์ ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$NPV = \frac{B_f - B_k + I_k}{I_f} \times 100$$

I_f

B_f = ปริมาณไนโตรเจนในซากสัตว์ที่กินอาหารทดสอบโปรตีน

B_k = ปริมาณไนโตรเจนในซากสัตว์ที่กินอาหารไม่มีโปรตีน

I_f = ปริมาณไนโตรเจนที่กินทั้งหมดจากสัตว์ที่กินอาหารทดลอง

I_k = ปริมาณไนโตรเจนที่กินทั้งหมดจากสัตว์ที่กินอาหารไม่มี
ไนโตรเจน

2.3.2.6 โปรตีนรีเทนชันเอฟิเซียนซี (Protein retention efficiency, PRE) เป็นการประเมินคุณภาพของโปรตีนในลักษณะเดียวกับ NPU และ NPV แต่ PRE จะใช้ค่าของน้ำหนักสัตว์แทนค่าไนโตรเจนในซากสัตว์ และคูณด้วยค่าของโปรตีนในซากสัตว์ คือ

$$PRE = \frac{G_f - G_k}{P_f} \times 18.0$$

P_f

G_f = น้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้นของสัตว์ที่กินอาหารทดสอบโปรตีน

G_k = น้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มหรือลดลงของสัตว์ที่กินอาหารไม่มีโปรตีน

P_f = ปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่สัตว์กินในอาหารทดสอบโปรตีน

2.3.2.7 โปรตีนเอฟิเซียนซีเรโซ (Protein efficiency ratio, PER) เป็นการประเมินคุณภาพของโปรตีนที่รวดเร็วมากอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมวิเคราะห์กัน โดยมากจะใช้โปรตีนร้อยละ 9 ในสูตรอาหาร โดยใช้เคซีน (casein) เป็นโปรตีนมาตรฐาน

ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$PER = \frac{BWG}{P}$$

P

BWG = น้ำหนักสัตว์เพิ่มในระหว่างการทดลอง

P = ปริมาณโปรตีนที่กินทั้งหมดในอาหาร

2.3.2.8 อะมิโนเอสิคอะไวลาบิลิตี้ (Amino acid availability, AA) เป็นการประเมินคุณภาพของโปรตีน โดยการวัดปริมาณการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในอาหารทดสอบ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$AA = \frac{AI - (FAT - FAF)}{AI}$$

AI

AI = ปริมาณกรดอะมิโนที่กินทั้งหมด

FAT = ปริมาณกรดอะมิโนในมูลจากสัตว์ที่กินอาหารทดสอบ

FAF = ปริมาณกรดอะมิโนในมูลจากสัตว์ที่กินอาหารไม่มีโปรตีน

2.3.3 การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธีทางเคมี

การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยตรงจากตัวสัตว์นั้น ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น Block และ Mitchell (1946; อ้างโดย Lloyd, McDonald and Crampton, 1978) จึงได้ใช้วิธีการทางเคมีในการประเมินคุณภาพของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยใช้ค่า chemical score เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของโปรตีน ค่า chemical score คำนวณได้จากจำนวนของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดในโปรตีนชนิดนั้น เมื่อคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดเดียวกันในโปรตีนมาตรฐานคือ โปรตีนจากไข่ เช่น ไลซีน (lysine) เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนของข้าวสาลีที่มีปริมาณน้อยที่สุด (ร้อยละ 2.7) เมื่อคิดเป็นสัดส่วนร้อยละกับปริมาณของไลซีนในไข่ (ร้อยละ 7.2) ดังนั้นค่า chemical score ของข้าวสาลีมีค่าร้อยละ 37.5 $[(2.7 \div 7.2) \times 100]$

การใช้ค่า chemical score มีข้อเสียคือ เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ แล้ว ค่าที่ได้จะไม่สามารถยืนยันได้ว่า สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามที่วิเคราะห์ได้ การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนที่จำเป็นอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามขบวนการแปรรูปหรือการเก็บ เช่น E-amino groups อีสาระของไลซีนในโปรตีนปกติ เมื่อไปทำปฏิกิริยากับ active groups อื่น ๆ แล้วเกิดพันธะขึ้นทำให้อยู่ในสภาพคงตัว (stable) ทำให้น้ำย่อยไม่สามารถย่อยได้ จึงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนลดลง ซึ่งวิธีการนี้อาจจะใช้ได้สำหรับโปรตีนจากสัตว์ แต่อาจจะมีปัญหาสำหรับโปรตีนจากพืช

2.4 ความต้องการโปรตีนและพลังงานในเบ็ด

2.4.1 เบ็ดปักกิ่ง

Dean, Scott และ Young (1965) รายงานว่า เบ็ดปักกิ่งจะมีน้ำหนักตัวเพิ่มและอัตราการแลกเนื้อจะดีที่สุดเมื่ออาหารมีระดับโปรตีนและพลังงาน (ร้อยละ กิโลแคลลอรี่ ME) 22:2960 กิโลแคลลอรี่ ME ในช่วงอายุ 0-7 วัน, 20:3013 ในช่วง 7-14 วัน และ 18:3062 กิโลแคลลอรี่ ในช่วงอายุ 14 ถึง 21 วัน ต่อมา Dean (1972) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับระดับของ โปรตีนในอาหารโดยมีโปรแกรมการให้อาหาร 3 โปรแกรม คือ 1) ให้ระดับโปรตีนในอาหารมีค่าร้อยละ 28 ในช่วง 2 หรือ 4 สัปดาห์แรก จากนั้นจะลดลงเหลือร้อยละ 16 2) ให้ระดับโปรตีนในอาหารมีค่าร้อยละ 28 ตลอดการทดลอง และ 3) ให้ระดับโปรตีน ในอาหารมีค่าร้อยละ 16 ตลอดการทดลอง ผลการทดลองพบว่า แม้ว่าการให้อาหารที่มี โปรตีนร้อยละ 28 จะทำให้น้ำหนักตัวและอัตราการแลกเนื้อสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 2-4 สัปดาห์แรก เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารที่มีโปรตีนระดับร้อยละ 16 แต่พบว่า น้ำหนักตัวและอัตราการแลกเนื้อเมื่อสิ้นสุดการทดลองนั้นกลับไม่แตกต่างกัน ซึ่ง Wilson (1975) ก็ได้ทำงานทดลองในลักษณะเดียวกัน และได้ให้ข้อเสนอแนะว่าหลังจากอายุมากกว่า 14 วันแล้ว ไม่ควรใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนสูงกว่าร้อยละ 18

Siregar, Cumming และ Farrell (1982a,b) รายงานว่า ระดับพลังงานและโปรตีนในช่วงอายุ 0-2 สัปดาห์ และ 3-8 สัปดาห์ มีค่าร้อยละ 19:3024 กิโลแคลลอรี (ME) และร้อยละ 16:3024 กิโลแคลลอรี (ME) ตามลำดับ ก็เพียงพอกับความต้องการแล้ว

Chin และ Hutagalung (1984) รายงานว่า ระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารสำหรับเขตร้อน (ทำการทดลองในมาเลย์เซีย) ควรจะมีค่าร้อยละ 22-24:3500 กิโลแคลลอรี ในช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ และร้อยละ 20-22:3850 กิโลแคลลอรี (ME) ในช่วงอายุ 7-10 สัปดาห์ จะทำให้มีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพของการใช้อาหารดีที่สุด (ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในการทดลองนั้นได้จากการวัดโดยตรงจากเปิดก่อนทำการทดลอง)

National Research Council (1984) ได้แนะนำระดับโปรตีนและพลังงาน (ร้อยละ : กิโลแคลลอรี ME) 22:2900 ในอาหารเปิดปากถึงระยะ 0-2 สัปดาห์ และ 16:2900 ในระยะ 2-7 สัปดาห์ ส่วนอาหารพ่อ-แม่พันธุ์เท่ากับ 15:2900

2.4.2 เบ็ดเทศ

Leclercq และ De Carville (1975) รายงานว่า เบ็ดเทศเพศเมียต้องการระดับโปรตีนร้อยละ 15 ในช่วงอายุ 4-6 สัปดาห์ และร้อยละ 14.5 ในช่วงอายุ 6-8 สัปดาห์ หลังจาก 8 สัปดาห์แล้วสามารถจะให้อาหารที่มีโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 13 ได้ ต่อมาเขาได้ทดลองหาระดับโปรตีนในอาหารเพศผู้ โดยในอาหารมีค่าพลังงาน 3,000 กิโลแคลลอรี (ME) ก็พบว่าระดับความต้องการโปรตีนในอาหารสำหรับช่วงอายุ 4-8 สัปดาห์นั้นก็ไม่ควรเกินร้อยละ 15 และในช่วง 8-10 สัปดาห์คือร้อยละ 12

Schubert, Richter และ Gruhn (1982) ได้ทำการศึกษาโปรแกรมการให้อาหารในเบ็ดเทศเพศผู้ และได้ให้คำแนะนำว่าควรแบ่งระยะการให้อาหารเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกในช่วงอายุ 0-3 สัปดาห์ โดยมีระดับโปรตีนร้อยละ 21 ส่วนระยะที่สอง ในช่วงอายุ 4-11 สัปดาห์ ใช้ระดับโปรตีนร้อยละ 18 นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ระดับโปรตีนร้อยละ 18 ในอาหารได้ตลอดช่วงอายุ 1 วัน ถึง 11 สัปดาห์ในเบ็ดเทศ เช่นที่สามารถจะใช้กันในเบ็ดปากถึง ทั้งนี้เพราะสามารถจะลดค่าใช้จ่าย

เจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์แรกของอายุที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนไม่เพียงพอ หรือขาดโปรตีนได้

2.4.3 เป็ดบัวลาย

Shen (1977) ได้ทำการศึกษาเพื่อจะหาความต้องการของระดับโปรตีนและพลังงานในเป็ดบัวลายที่เลี้ยงด้วยอาหาร ข้าวโพด-กากถั่วเหลือง เป็นหลัก เขาได้แนะนำให้ใช้ระดับโปรตีนและพลังงานร้อยละ 17:2750 กิโลแคลลอรี่ (ME) ในช่วงอายุ 0-3 สัปดาห์ และเมื่อพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 2600 เป็น 3000 กิโลแคลลอรี่ พบว่าสามารถใช้ระดับโปรตีนในอาหารคงที่ร้อยละ 18 ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นประมาณร้อยละ 5 เมื่อพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นทุก ๆ 150 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม

Shen (1979) ได้ศึกษาหาระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในเป็ดบัวลาย ช่วงอายุ 4-10 สัปดาห์ เขากล่าวว่าในอาหารนั้นจะต้องมีพลังงานใช้ประโยชน์อย่างน้อย 2900 กิโลแคลลอรี่ เพื่อให้ให้มีประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าดีที่สุด

2.4.4 เป็ดอื่น ๆ

ประทีป (2522) ได้ให้คำแนะนำว่า ในอาหารเป็ดหัว ๆ ไปในประเทศไทยควรมีระดับโปรตีนและพลังงานร้อยละ 20:2559 กิโลแคลลอรี่ในระยะเปิดเล็ก ร้อยละ 17:2518 กิโลแคลลอรี่ในระยะเปิดสาว และร้อยละ 17:2301 กิโลแคลลอรี่ในเป็ดให้ไข่-เป็ดพันธุ์ แต่ต่อมา โฉม (2530) รายงานว่าระดับโปรตีนสำหรับเป็ดตั้งแต่อายุ 2 สัปดาห์ขึ้นไปนั้นน่าจะลดลงมาได้อีกจากระดับร้อยละ 20 เมื่อมีการเพิ่มระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในอาหารให้สูงขึ้นจาก 2556 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม

นรินทร์ (2533ก,ข) ได้ศึกษาความต้องการของพลังงานในเป็ดลูกผสมกาก็แคมป์เบลล์ กับพันธุ์พื้นเมืองเทศเมียว ในช่วงอายุ 0-4 สัปดาห์ โดยมีระดับพลังงานในอาหาร 5 ระดับคือ 2,700, 2,750, 2,800, 2,850 และ 2,900 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม โดยมีอัตราส่วนของโปรตีนต่อพลังงานเท่ากันคือ 1 ต่อ 151.35 ซึ่งระดับโปรตีนมีค่าร้อยละ

17.84, 18.17, 18.50, 18.83 และ 19.16 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าลูกเบ็ดที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 2,750 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นสูงสุด แต่ลูกเบ็ดที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 2,700 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีที่สุด ส่วนในช่วงอายุ 4-18 สัปดาห์ก็ใช้ระดับพลังงานเช่นเดียวกันในช่วงอายุ 0-4 สัปดาห์ แต่มีอัตราส่วนของโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ 1 ต่อ 180.6 โดยมีระดับโปรตีนร้อยละ 16.05, 15.78, 15.50, 15.22 และ 14.95 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า เบ็ดพวกที่ได้รับพลังงาน 2,900 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม มีน้ำหนักตัวเพิ่มและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่าพวกอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Krachang (1985) รายงานว่า เบ็ดลูกผสมกาก็แคมป์เบลล์กับพันธุ์พื้นเมืองต้องการอาหารที่มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) 2,811 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม และมีโปรตีนร้อยละ 20 ในเบ็ดเล็ก ส่วนเบ็ดรุ่นต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 2,749 กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม และมีโปรตีนร้อยละ 17.90