

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์

อาจารย์ ดร. แววรี บุญเทียม

ในวัตถุดิบอาหารที่มนุษย์หรือสัตว์บริโภคเข้าไปจะมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ ส่วนของความชื้นและวัตถุแห้ง โดยวัตถุแห้งที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) และสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compound) ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางเคมีพบสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน ขณะที่สารประกอบอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแร่ธาตุ (ภาพที่ 1) โดยวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดล้วนมีองค์ประกอบของโภชนาเหล่านี้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฤดูกาล และการจัดการ เป็นต้น ดังนั้น ในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารเพื่อนำมาประกอบเป็นสูตรอาหารสัตว์ครบส่วนให้แก่สัตว์จนก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อตัวสัตว์ ทั้งในด้านการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และการสืบพันธุ์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบหลักการประเมินคุณค่าของวัตถุดิบอาหารหรืออาหารสัตว์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วใน**การประเมินคุณค่าทางโภชนาการ** มักใช้การวิเคราะห์ทางเคมี การประเมินทางชีววิทยา และการวัดค่าพลังงาน **นอกจากนี้ ยังสามารถประเมินคุณค่าของอาหารสัตว์ด้านอื่นได้ด้วย** ได้แก่ การประเมินทางกายภาพ และการเปรียบเทียบมูลค่าของโภชนาก่อนตัดสินใจซื้อ ซึ่งแต่ละวิธีมีความง่าย และความเหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งต้องใช้การพิจารณาอย่างรอบคอบ

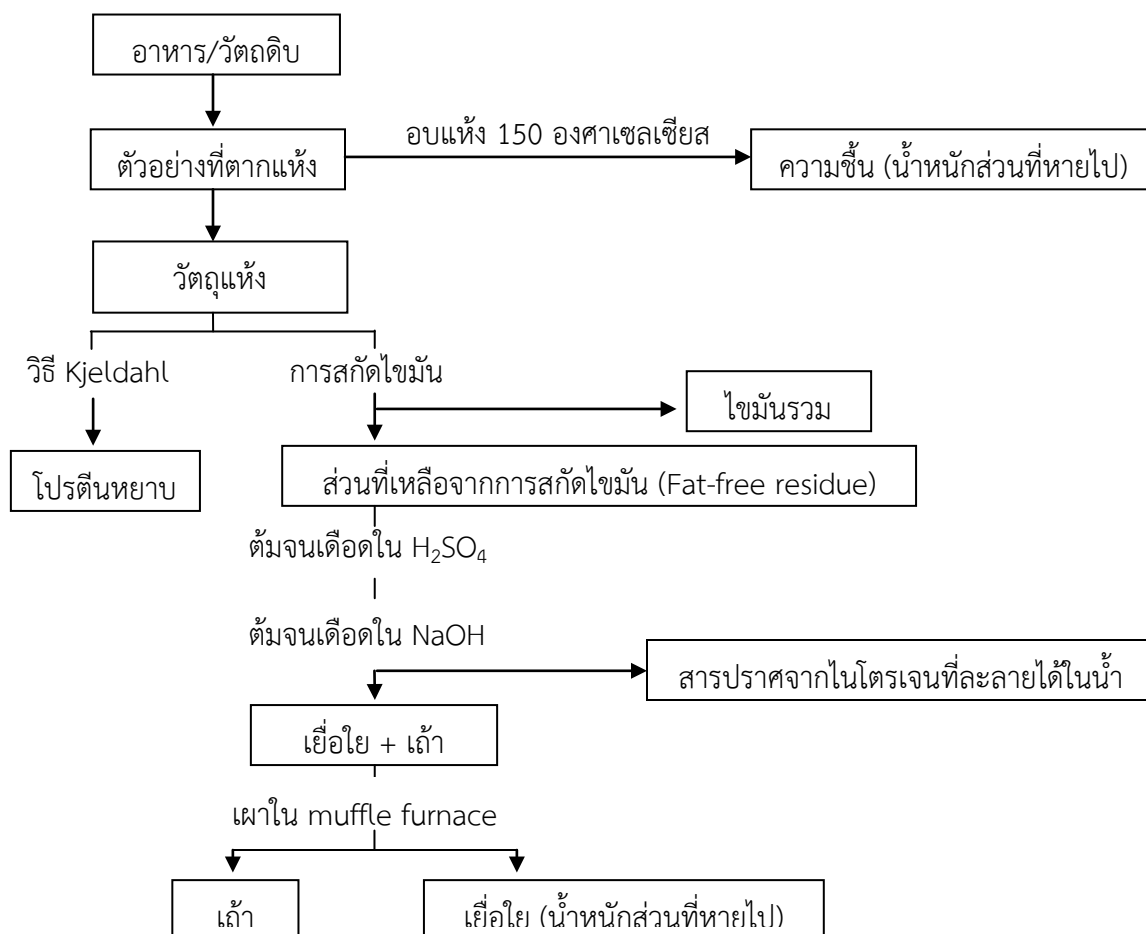


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบหลักของอาหารและอาหารสัตว์

1. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการ (Nutritive Evaluation)

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการ หมายถึง การวิเคราะห์หรือประเมินส่วนประกอบต่างๆ ของโภชนะที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารหรืออาหารผสมครบส่วน ซึ่งอาจใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี วิธีการชีววิทยา และการวัดค่าพลังงานในอาหารเพื่อหาปริมาณโภชนะแต่ละชนิดที่ประกอบอยู่ให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดแตกต่างกันโดยสังเขปดังนี้

1.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical analyses) เป็นการนำตัวอย่างอาหารที่ผ่านการทำให้แห้งมาบดให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นจึงนำไปย่อยด้วยสารเคมี ในเนื้อหาบรรยายนี้จะอธิบายเฉพาะรายละเอียดการวิเคราะห์โดยวิธีการวิเคราะห์ประมาณ (proximate analysis) เท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้ถูกนำมาใช้ประมาณคุณภาพของอาหารครั้งแรกที่ Weende Experiment Station ของประเทศเยอรมันนี โดยอาหารจะถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ น้ำ (moisture) โปรตีนหยาบ (crude protein) ไขมันรวม (crude fat หรือ ether extract) เยื่อใย (fiber) สารปราศจากไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำ (nitrogen-free extract) และเถ้า (ash) (AOAC, 1990) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในอาหารโดยวิธี proximate analysis

โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

1.1.1 น้ำหรือความชื้น (moisture) หรือบางครั้งเรียกในทางกลับกันว่าการวิเคราะห์หาสิ่งแห้ง (dry matter) เป็นการนำตัวอย่างอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารหมดจนเหลือเพียงสิ่งแห้ง (dry matter) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids) และน้ำตาลบางชนิดเกิดการสูญเสียระหว่างการอบหากใช้อุณหภูมิการอบมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะถูกรวมอยู่ในความชื้นด้วย นอกจากนี้ การอบที่อุณหภูมิเหนือจุดเดือดยังทำให้ไขมันบางชนิดถูกออกซิไดส์ได้ง่าย จึงมีผลทำให้น้ำหนักของวัตถุแห้งที่ได้มีค่าแปรปรวน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นแทนการอบ เช่น การกลั่นโดยใช้ toluene เป็นตัวทำละลาย และการอบภายใต้สุญญากาศ โดย กฤตพล (2552) รายงานว่า ในวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยทั่วไปมีองค์ประกอบของวัตถุแห้งประมาณร้อยละ 90

1.1.2 ไขมันรวม (crude fat หรือ ether extract, EE) เป็นการนำตัวอย่างอาหารมาทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ไดเอทิลอีเธอร์ (diethyl ether) ปีโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) (dichlorometane) ด้วยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Soxhlet apparatus ในการสกัด โดยใช้เวลานาน 4-16 ชั่วโมง ตัวทำละลายดังกล่าวจะละลายสารจำพวกไขมัน สารคล้ายไขมัน ขี้ผึ้ง รงควัตถุ และวิตามินที่ละลายในไขมันออกมา และเมื่อระเหยตัวทำละลายออกไปจนแห้ง จะได้ส่วนที่เหลือติดอยู่ในภาชนะซึ่งเรียกว่า “ไขมันหยาดหรือไขมันรวม”

1.1.3 โปรตีนหยาด (crude protein, CP) การวิเคราะห์โปรตีนหยาดโดยทั่วไปจะใช้วิธี Kjeldahl โดยการนำตัวอย่างอาหารมาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น วิธีนี้จะทำให้สารกลุ่มอะมิโน เอมีน และกรดอะมิโนอิสระ (ยกเว้น ไนเตรทและไนไตรท์) ถูกเปลี่ยนไปเป็น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (แอมโมเนียมซัลเฟต) จากนั้นจึงทำการกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกจากแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อทำให้แอมโมเนียถูกกลั่นออกมา แล้วนำไปไตเตรทเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนในอาหาร โดยนำไปคูณด้วยค่าโปรตีนแฟกเตอร์ (6.25 เนื่องจากโปรตีนมีไนโตรเจนร้อยละ 16) โดยมีหลักการคำนวณคือ

$$\text{โปรตีนหยาด (ร้อยละ)} = \text{ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณ (N)} \times 6.25$$

1.1.4 เถ้าหรือแร่ธาตุ (ash หรือ mineral matter) เป็นการนำตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดมาเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส หรือเผาจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ ส่วนที่เหลือจากการเผาใน crucible คือ ส่วนของเถ้าหรือแร่ธาตุที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารหรืออาหารนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การนำตัวอย่างมาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส มักทำให้แร่ธาตุบางชนิด ได้แก่ คลอไรด์ สังกะสี ซีลีเนียม และไอโอดีน เป็นต้น เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการกระเหิด จึงทำให้ปริมาณของเถ้าหรือแร่ธาตุที่วิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าปกติ

1.1.5 เยื่อใย (crude fiber, CF) คือส่วนของผนังเซลล์พืชที่มีความแข็งแรง ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) และลิกนิน (lignin) ในการวิเคราะห์เยื่อใยในอาหารนั้น ต้องนำตัวอย่างอาหารที่สกัดเอาไขมันหยาดออกมาแล้วไปผ่านการต้มจนเดือดใน 1.25% H_2SO_4 เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงทำการกรองตะกอนล้างด้วยน้ำร้อน จากนั้นจึงนำกลับไปต้มจนเดือดใน 1.25%

NaOH นาน 30 นาทีเช่นเดียวกัน จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปกรองและล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปอบจนแห้งแล้วจึงชั่งน้ำหนัก แล้วนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการหาเถ้า จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง โดยน้ำหนักที่หายไปคือ ส่วนของเยื่อใยพวกลิกนิน (lignin) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

1.1.6 สารปราศจากไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำ (nitrogen-free extract, NFE) ส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ ได้แก่ แป้งและน้ำตาล ดังนั้นการหาปริมาณ NFE จึงไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์แต่สามารถหาได้จากการคำนวณ โดยการนำผลรวมของร้อยละส่วนประกอบของน้ำ โปรตีนหยาบ ไขมันรวม เยื่อใย และเถ้า ลบออกจาก 100 ดังสมการ ส่วนที่เหลือคือ ปริมาณโดยประมาณของ NFE อย่างไรก็ตาม ปริมาณ NFE มักเกิดความผิดพลาดได้ง่ายจากขั้นตอนการวิเคราะห์โภชนาที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

$$\text{NFE (ร้อยละ)} = 100 - (\% \text{ น้ำ} + \% \text{ โปรตีนหยาบ} + \% \text{ ไขมันรวม} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ เถ้า})$$

เนื่องจากการวิเคราะห์ proximate analysis ยังมีจุดด้อย คือ ไม่สามารถบ่งบอกค่าการย่อยได้ ความน่ากินอาหาร และความเป็นพิษในอาหารได้ นอกจากนี้ ยังไม่ใช้การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยตรง แต่เป็นการวิเคราะห์ที่แบ่งตามความสามารถในการทนทานต่อการย่อยด้วยกรดหรือด่าง จึงทำให้ต้องประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนของเยื่อใย และ NFE ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1982 Van Soest จึงได้เสนอการวิเคราะห์เยื่อใยแบบ Detergent Method ซึ่งจะได้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าการวิเคราะห์แบบ proximate analysis โดยมีองค์ประกอบของเยื่อใย 3 ส่วนดังนี้

- Neutral Detergent Insoluble หรือ Neutral Detergent Fiber (NDF) ส่วนของผนังเซลล์พืชทั้งหมดซึ่งไม่สามารถละลายได้ใน detergent ที่เป็นกลาง ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) วัตถุเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และเมื่อหักคาร์โบไฮเดรตส่วนนี้ออกจากวัตถุแห้งจะเหลือส่วนของแป้งและน้ำตาล
- Acid Detergent Fiber (ADF) คือ ส่วนของผนังเซลล์ที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ
- Acid Detergent Lignin (ADL) คือ ส่วนของลิกนินซึ่งเอนไซม์และจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้

1.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการทางชีววิทยา (Biological evaluation) เป็นการให้รายละเอียดเพิ่มเติมจากวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อให้สามารถประเมินการตอบสนองของสัตว์ต่ออาหารที่กิน ทั้งในด้านของรสชาติ ความน่ากินของวัตถุดิบ และระดับการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

1.2.1 การประเมินโดยใช้ feeding trial เป็นการนำอาหารที่ต้องการทดสอบมาเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอ้างอิงซึ่งทราบปริมาณโภชนาแล้ว เพื่อดูผลการตอบสนองของสัตว์ในด้านของปริมาณการกิน การเพิ่มน้ำหนักตัว ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การเลี้ยงรอด อัตราการตาย การให้ผลผลิตไข่ การให้ผลผลิตน้ำนม คุณภาพซาก และสุขภาพสัตว์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะทำให้ทราบความน่ากินของอาหาร ความเป็นพิษ และระดับการใช้ที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสัตว์

1.2.2 การประเมินโดยการทดสอบหาค่าการย่อยได้ (digestibility trial) เพื่อใช้ประเมินหาปริมาณโภชนะในอาหารสัตว์ที่สัตว์ได้รับเข้าไปแล้วถูกย่อยโดยเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ในร่างกายได้มากน้อยเพียงใด โดยมีหลักการคือให้สัตว์กินอาหารที่ทราบปริมาณแน่นอนแล้ว แล้ววัดปริมาณโภชนะที่ขับถ่ายออกมาในมูล ซึ่งผลต่างของโภชนะในอาหารกับมูล จะบ่งบอกปริมาณโภชนะที่สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมได้ โดยใช้สมการคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละการย่อยได้} = \frac{(\text{นน. อาหารที่กิน} \times \% \text{ โภชนะในอาหาร}) - (\text{นน. มูล} \times \% \text{ โภชนะในมูล})}{(\text{นน. อาหารที่กิน} \times \% \text{ โภชนะในอาหาร})}$$

ค่าการย่อยได้อาจแสดงเป็นสัมประสิทธิ์การย่อยได้หรือร้อยละการย่อยได้ และเพื่อให้แน่ใจว่ามูลที่ขับถ่ายออกมาจากตัวสัตว์เป็นส่วนเหลือจากอาหารทดสอบอาจใช้สารบ่งชี้ (marker) ที่นิยมใช้ได้แก่ โครมิกซ์ออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ (Kong et al., 2014; Zhang and Adeola, 2017) โดย Adeola (2001) ได้แนะนำการใช้สารบ่งชี้ที่ระดับ 0.1% ของสูตรอาหาร และทำการเก็บมูลในช่วงที่เริ่มมีสารบ่งชี้ปรากฏจนกระทั่งหมดไปจากมูล โดยสารบ่งชี้นี้จะนำมาใช้ในการทดสอบต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ก) ไม่เป็นพิษต่อสัตว์
- ข) ไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมเมื่อนำมาใช้ในตัวสัตว์
- ค) สามารถกระจายตัวได้ดีในอาหารและในมูล
- ง) สามารถถูกขับออกจากร่างกายได้ทั้งหมด
- จ) มีวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ง่ายและมีความน่าเชื่อถือ

1.3 การประเมินโดยการวัดค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหาร/อาหารสัตว์ โดยทั่วไปโภชนะหลักในวัตถุดิบอาหารหรืออาหารสัตว์ที่จัดเป็นแหล่งพลังงานมักเกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ส่วนวิตามินและแร่ธาตุ มักเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเปลี่ยนโภชนะหลักให้เป็นพลังงาน ดังนั้น การวัดปริมาณพลังงานในวัตถุดิบอาหารหรืออาหารสัตว์จึงจัดเป็นการประเมินคุณค่าทางโภชนาการอีกทางหนึ่ง ซึ่งการวัดค่าพลังงานในอาหารสัตว์สามารถวัดได้หลายระบบแตกต่างกันตามพื้นฐานการเลี้ยงสัตว์ ในที่นี้จะขออธิบายรายละเอียดเฉพาะระบบการวัดโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrients, TDN) และ US. NRC เท่านั้น โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

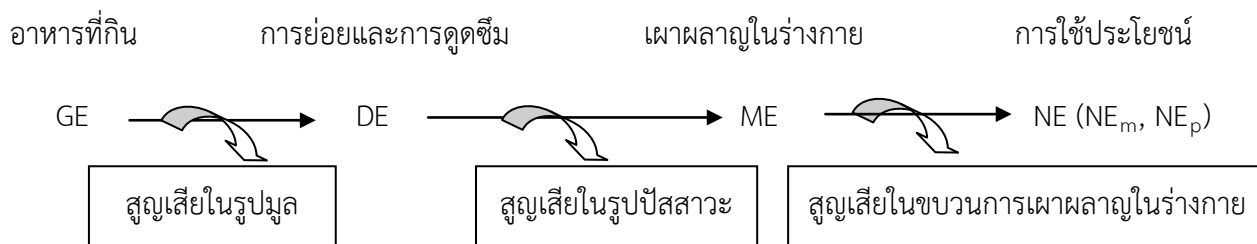
1.3.1 การวัดค่าพลังงานโดยการวัดโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) เป็นการหาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะหลัก ได้แก่ CP, EE, CF และ NFE ตามวิธีหาค่าการย่อยได้ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{TDN (ร้อยละ)} = [\text{dCP} + \text{dCF} + \text{dNFE} + (2.25 \times \text{dEE})]$$

เมื่อ การย่อยได้ของโภชนะ = ร้อยละของโภชนะในอาหาร x ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้

อย่างไรก็ตาม การวัดค่าพลังงานในรูปของ TDN ยังเป็นวิธีการวัดค่าพลังงานที่ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร เนื่องจากการวัดค่าพลังงานที่ไม่รวมพลังงานที่สูญเสียในรูปของพลังงานในปัสสาวะ พลังงานที่สูญเสียในรูปของก๊าซ (การหายใจ การเรอ) พลังงานที่สูญเสียในรูปของความร้อนจากร่างกาย ดังนั้น จึงทำให้ค่า TDN ในพืชอาหารสัตว์สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากส่วนที่สัตว์ย่อยยังอาจสูญหายไป จึงทำให้สัตว์ไม่อาจใช้ประโยชน์เพื่อการให้ผลผลิตได้

1.3.2 การวัดค่าพลังงานตามระบบของ US. NRC ได้รับความนิยมนอย่างมากในปัจจุบัน โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในร่างกายสัตว์ที่ได้จากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ทั้งในรูปของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน จะต้องผ่านกระบวนการย่อย (digestion) การดูดซึม (absorption) เพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิตและการให้ผลผลิต ดังนั้น ก่อนการประเมินความต้องการโภชนะในร่างกายสัตว์ ต้องคำนึงถึงระดับพลังงานในอาหารเป็นอันดับแรก เนื่องจากความต้องการโภชนะตัวอื่นๆ มักผันแปรไปตามระดับของพลังงานที่มีอยู่ในสูตรอาหาร โดยทั่วไปแล้วการวัดค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในทางโภชนะศาสตร์สัตว์นิยมใช้หน่วย แคลอรี (calorie, cal) ซึ่งหมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1 กรัม เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหน่วยแคลอรีมีค่าน้อยมาก ดังนั้น จึงนิยมวัดหน่วยของพลังงานเป็น “กิโลแคลอรี (kilocalorie, kcal)” แทน โดยที่ 1 กิโลแคลอรี มีค่าเท่ากับ 1,000 แคลอรี อย่างไรก็ตาม พลังงานที่สัตว์ได้รับมักมีการสูญเสียทั้งในรูปของมูล ปัสสาวะ แก๊สและความร้อน จนกระทั่งเหลือพลังงานสุทธิที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตและการให้ผลผลิต ซึ่งสามารถแบ่งส่วนพลังงาน (partitioning of energy) ที่เกิดขึ้นได้ดังภาพที่ 4



โดยสามารถอธิบายลำดับการประเมินพลังงานตามระบบของ US NRC ได้ดังนี้

1) พลังงานรวม (gross energy, GE) หมายถึง พลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารนั้น โดยการนำตัวอย่างอาหารไปเผาในเครื่อง bomb calorimeter จนได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยพลังงานที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน โดยไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตจะให้พลังงานเฉลี่ย 9.45, 5.65 และ 4.10 กิโลแคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ (Pond et al., 2005) ซึ่งจะเห็นว่าไขมันให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2.25 เท่า อย่างไรก็ตาม การวัดพลังงานรวมยังไม่สามารถใช้บ่งบอกความต้องการพลังงานของสัตว์ได้อย่างแท้จริง

2) พลังงานที่สูญเสียทางมูล (fecal energy, FE) เป็นพลังงานในส่วนที่ประกอบด้วยพลังงานในอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ (energy from undigested diet) พลังงานของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร (enteric microbes and their products) และพลังงานในตัวสัตว์เอง (endogenous fecal energy) ได้แก่ น้ำย่อยและเยื่อเซลล์ที่เสื่อมสภาพ ซึ่งพลังงานส่วนนี้ถือว่าการสูญเสียไปมากที่สุด ซึ่ง Kley (2013) พบว่า ปริมาณ FE ที่สูญเสียไปในมูลไก่เนื้อมีค่าประมาณร้อยละ 30

3) พลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) เป็นพลังงานส่วนที่ร่างกายสัตว์สามารถย่อยและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งคิดจากผลต่างของพลังงานทั้งหมดในอาหารกับพลังงานที่ขับออกทางมูลและปัสสาวะ (ในสุกร) ส่วนในสัตว์ปีกนั้นจะคิดรวมทั้งการขับถ่ายมูลและปัสสาวะที่ออกมาในรูปของกรดยูริก โดย กฤตพล (2552) รายงานว่า ปริมาณ DE ในโคเนื้อและแกะที่ได้รับหญ้าเป็นอาหาร มีการสูญเสียพลังงานประมาณร้อยละ 40 ถึง 50

4) พลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊ส (gaseous products of digestion, GPD) เป็นพลังงานที่สันดาปและสูญเสียจากร่างกายในระหว่างการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร โดยแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นองค์ประกอบหลักคือ มีเทน (methane) โดยในสัตว์กระเพาะเดี่ยวค่าพลังงานดังกล่าวจะมีการสูญเสียที่น้อยกว่าในสัตว์กระเพาะรวม นอกจากนี้ในสัตว์ปีกค่าพลังงานดังกล่าวยังมีค่าน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องการคำนึง

5) พลังงานที่สูญเสียไปในรูปปัสสาวะ (urinary energy, UE) เป็นพลังงานส่วนที่เป็นเศษเหลือของการเผาผลาญโภชนา (intermediary metabolism) รวมทั้งส่วนที่เป็นพลังงานที่มีอยู่แล้วในร่างกาย โดยโภชนาที่เหลือจากการใช้ประโยชน์จะถูกขับออกจากร่างกายในรูปของปัสสาวะ ดังนั้น หากต้องการประเมินพลังงานในส่วนดังกล่าวต้องผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธี freeze drying ก่อน ซึ่ง Kley (2013) พบว่า ปริมาณ UE ที่สูญเสียไปในมูลไก่เนื้อมีค่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 15 ในสุกรและโคประมาณร้อยละ 2-3 และ 4-5 ของปริมาณพลังงานทั้งหมดในอาหาร

6) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable, ME) คือผลต่อของพลังงานจาก GE-FE-UE-GPD หรือ DE-UE-GPD โดยพลังงานส่วนนี้เป็นส่วนที่ร่างกายสัตว์สามารถดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยค่าที่คำนวณได้คือ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (apparent metabolizable energy, AME) และเมื่อหักพลังงานที่สูญเสียทาง endogenous urinary energy แล้วจะได้ true metabolizable energy (TME) และหากมีการปรับสมดุลไนโตรเจนในร่างกายด้วยจะเรียกว่า nitrogen-corrected ME โดยในสัตว์ปีกนิยมใช้ค่า ME มากกว่า เนื่องจากส่วนของมูลและปัสสาวะถูกขับออกมาพร้อมกัน

7) Heat increment (HI) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นหลังจากสัตว์กินอาหารแล้ว และเมื่อสัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมสบาย ความร้อนที่เกิดขึ้นจะได้จากปฏิกิริยาการหมักบูดของอาหาร และความร้อนจากการเผาผลาญโภชนา ซึ่งความร้อนเหล่านี้จะสูญหายไปจากร่างกาย ยกเว้นในกรณีที่สัตว์ถูกเลี้ยงสภาพอากาศหนาวเย็น ความร้อนที่ผลิตขึ้นจะถูกนำมาใช้ในการรักษาร่างกายให้อบอุ่น และถือว่าเป็นพลังงานที่สัตว์นำมาใช้ในการดำรงชีพด้วย

8) พลังงานใช้ประโยชน์สุทธิ (Net energy, NE) เป็นพลังงานที่สัตว์นำไปใช้ในการดำรงชีพ (NE_m) การให้ผลผลิต (NE_p) หรือทั้ง 2 กิจกรรม ($NE_m + NE_p$) โดยที่ NE_m ได้แก่ พลังงานพื้นฐานที่ใช้ในการมีชีวิตรอด พลังงานพื้นฐานในการทำกิจกรรมที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพ ความร้อนเพื่อรักษาร่างกายให้อบอุ่น และความร้อนเพื่อรักษาร่างกายให้เย็นลง ส่วน NE_p คือ พลังงานสุทธิที่เหลือจาก NE_m เพื่อนำไปใช้ในการให้ผลผลิตของสัตว์ เช่น การเจริญเติบโต การสร้างเนื้อเยื่อ การให้ผลผลิตเนื้อ นํ้านม และผลผลิตไข่ เป็นต้น ซึ่งพลังงานส่วนนี้สามารถวัดได้จากปริมาณพลังงานที่มีในผลผลิต ซึ่งอาจจำเป็นต้องฆ่าสัตว์เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนในการประเมินพลังงาน

2. การประเมินคุณค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้านอื่นๆ

นอกจากจะประเมินคุณภาพของวัตถุดิบอาหาร โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโภชนาการด้วยวิธีการทางเคมี วิธีการทางชีวภาพ และการวัดค่าพลังงานแล้ว ยังสามารถประเมินคุณภาพของวัตถุดิบโดยใช้การประเมินทางกายภาพ และการเปรียบเทียบราคาโภชนะประกอบด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การประเมินคุณค่าทางกายภาพ (Physical evaluation) จะพิจารณาจากลักษณะภายนอกที่ปรากฏโดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 4 คือ ตา จมูก ลิ้น และการสัมผัส ดังนี้

2.4.1 ลักษณะภายนอก ได้แก่ ขนาดของเมล็ด ความแก่อ่อน และความสมบูรณ์ของเมล็ด เป็นต้น

2.4.2 สี ผู้ประเมินต้องมีความชำนาญและความรู้เกี่ยวกับสีที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของวัตถุดิบอาหาร

2.4.3 กลิ่น ได้แก่ เหม็นเน่า ไหม้ เหม็นหืน ปุดหรือเปรี้ยว นํ้ามัน ยาฆ่าแมลง ยาป้องกันเชื้อรา มอดหรือแมลง และกลิ่นเหม็นอับและชื้น

2.4.4 การชิม ใช้บอกความสุกดิบของกากถั่ว และความสดใหม่ของวัตถุดิบอาหาร นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ตรวจความละเอียด ความหยาบ ความยืดหยุ่น ความแข็ง และความเปราะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้

2.4.5 การสัมผัส เช่น การตรวจสอบความสดใหม่ของรำ

ตัวอย่างของการประเมินลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดที่สำคัญในการเลี้ยงสัตว์กระเพาะเดียวของประเทศไทย มีดังนี้

1) รำละเอียด ในรำใหม่จะมีกลิ่นหอม ลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มไม่สากมือเมื่อบีบ รำจะจับตัวเป็นก้อนบนฝ่ามือ ส่วนสีนั้นมักมีสีเหลืองอ่อนในกรณีของรำสด ส่วนในรำเก่านั้นมักมีกลิ่นเหม็นหืน เมื่อบีบจะรู้สึกสากมือเนื่องจากมีแกลบปลอมปน และเมื่อกำและคลายมือรำออกจะมีลักษณะเป็นผง และจับตัวเป็นก้อนได้น้อยมาก

2) ปลาขี้ขาว ควรประเมินลักษณะสีของเมล็ด โดยควรมีสีขาว ไม่มีกลิ่นเหม็นอับของยาฆ่าแมลง รวมทั้งควรพิจารณาการปลอมปนของเกล็ด แมลง รา (สีดำ) หนอน และมอด รวมด้วย

3) กากถั่วเหลือง ควรมีขนาดเมล็ดที่สม่ำเสมอโดยใช้ตะแกรงร่อน มีสีเหลืองสม่ำเสมอ กลิ่นหอม ทั้งนี้ไม่ควรนำกากถั่วเหลืองที่มีผิวสีดำ มีกลิ่นเหม็นอับ กลิ่นเหม็นไหม้ และกากถั่วเหลืองที่มีการปลอมปนของกากถั่วชนิดอื่น เชื้อรา มอด และแมลงมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์

4) เมล็ดข้าวโพด ควรเป็นเมล็ดที่แก่เต็มที่ มีการแตกหักของเมล็ดได้บ้างตามเกรดคุณภาพของข้าวโพด (ตารางที่ 1) มีสีเหลืองจนถึงสีเหลืองอมส้ม ไม่มีกลิ่นเปรี้ยวบูด เหม็นหืน น้ำมัน ยาฆ่าแมลง และเหม็นไหม้จากการอบ ตลอดจนไม่มีราเกิดขึ้น โดยสังเกตจากเมล็ดข้าวโพดส่วนที่ติดกับฝักต้องไม่ปรากฏสีเขียวหรือสีดำเกิดขึ้นรอบๆ และไม่ควรมีการปนเปื้อนของมอด หนอน ไยหนอนกัดกินเมล็ดข้าวโพด สังเกตโดยดูจากการเกิดรูหรือมีฝุ่นของแป้งออกมาปนกับเมล็ดข้าวโพด อย่างไรก็ตาม อาจพบทรายและหินเจือปนได้เล็กน้อย

5) ปลาป่น ควรเป็นผงที่บดละเอียดสม่ำเสมอ ควรมีกลิ่นปลาชัดเจน มีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่จับตัวเป็นก้อน รวมทั้งไม่มีการปลอมปนของเชื้อรา แมลง มอด และกระดุกบดละเอียด โดยควรหลีกเลี่ยงการใช้ปลาป่นที่มีกลิ่นไหม้ กลิ่น เหม็นหืน และสีดำคล้ำในการนำมาประกอบสูตรอาหาร

6) ถั่วเหลืองอบไขมันเต็ม ควรมีกลิ่นหอม มีสีสม่ำเสมอ (สีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีเหลืองแก่) จับตัวเป็นก้อนเมื่อคลายมือออก โดยควรหลีกเลี่ยงการใช้ถั่วเหลืองอบไขมันเต็มที่มีกลิ่นเหม็นเขียว และมีการปลอมปนของเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ ที่ไม่ใช่ถั่วเหลือง

7) มันสำปะหลัง ประเมินการปลอมปนทราย เศษก้านของมันสำปะหลัง มอดและเชื้อรา

8) หางนมผง ควรเป็นผงบดละเอียดสม่ำเสมอ มีกลิ่นหอมชวนกิน มีสีสม่ำเสมอตั้งแต่สีครีมไปจนถึงสีเหลืองอ่อน นอกจากนี้ หากใช้มือสัมผัสมักเกิดการฟุ้ง และไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน

นอกจากนี้ Khajarern and Khajarern (1999) ได้เสนอวิธีการประเมินอาหารโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบการปลอมปนของวัตถุดิบอาหาร โดยให้นำตัวอย่างบดผ่านตะแกรงขนาด 20 ถึง 50 mesh เพื่อตรวจสอบการปลอมปนจากลักษณะภายนอก (surface feature) และหากใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิด compound microscope ที่มีกำลังขยายสูงจะสามารถตรวจสอบโครงสร้างเซลล์ของวัตถุดิบอาหารได้ หรืออาจทำการแยกส่วนประกอบของอาหารออกจากกันโดยการลอยในสารอินทรีย์ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน เพื่อให้ส่วนของอาหารแยกออกเป็นส่วนๆ จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อไป ซึ่งจะจำแนกวัตถุดิบอาหารออกจากสิ่งแปลกปลอมได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 1 การแบ่งเกรดคุณภาพข้าวโพดที่นำมาเลี้ยงสัตว์

ลักษณะปรากฏ	ข้าวโพดเกรด 1	ข้าวโพดเกรด 2	ข้าวโพดเกรด 3
ความชื้น	<14%	<14.5%	<14.5%
เมล็ดเสีย	<2%	<7%	<8%
เชื้อราอะฟลาทอกซิน	<20 PPB	<50 PPB	<100 PPB
ขนาด	ใหญ่	ใหญ่และกลาง	หลายขนาด
การเกิดเชื้อรา	เมล็ดใหม่ สีสะอาด	พบราเขียวเพียงเล็กน้อย	พบราเขียวกระจายบ้าง
สี	เหลืองสดหรือเหลือง	เหลือง	เหลือง
กลิ่น	ปกติ	ปกติ	ปกติ
สิ่งเจือปน	ไม่พบ	<2%	<3%
แมลง	เมล็ดไม่ถูกทำลาย	เมล็ดไม่ถูกทำลาย	เมล็ดไม่ถูกทำลาย
ยาฆ่าแมลง	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
เมล็ดแตกหรือไหม้	<1%	<1.5%	<1.5%

หมายเหตุ เมื่อเกรด 1 (ดีที่สุด); เกรด 2 (ปานกลาง) และเกรด 3 (เลวสุด)

ที่มา: สารโชน และเยาวมาลย์ (2560)

2.2 การประเมินโดยการเปรียบเทียบราคาโภชนะ (nutrient cost evaluation) วิธีนี้จะใช้ประกอบการตัดสินใจซื้อวัตถุดิบอาหารสัตว์มาใช้ในการประกอบสูตรอาหาร หรือมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดบ้างที่สามารถใช้แทนได้หรือไม่ โดยที่คุณค่าอาหารโปรตีนของวัตถุดิบเหล่านั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งการประเมินวิธีนี้สามารถใช้สมการคำนวณคือ

$$\text{ราคาโภชนะ (บาท/กิโลกรัม)} = \frac{\text{ราคาวัตถุดิบ ณ ปัจจุบัน (บาท/กิโลกรัม)} \times 100}{\text{ร้อยละของโภชนะที่อยู่ในวัตถุดิบ}}$$

ตัวอย่างเช่น หากต้องการใช้กากถั่วเหลืองเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยกากถั่วเหลืองที่มีโปรตีนร้อยละ 45 มีราคา ณ วันที่ต้องการซื้อเท่ากับ 12 บาท ดังนั้น ราคาโปรตีนจากกากถั่วเหลืองจึงมีค่าเท่ากับ 26.67 บาท ($12/45 \times 100$) ซึ่งราคาดังกล่าวควรนำไปพิจารณากับแหล่งโปรตีนที่สามารถใช้แทนกากถั่วเหลืองได้ เช่น เลือกลงปลาป่นที่มีโปรตีนร้อยละ 58 มีราคา ณ วันที่ต้องการซื้อเท่ากับ 20 บาท ดังนั้น ราคาโปรตีนจากปลาป่นจึงมีค่าเท่ากับ 37.93 บาท ($22/58 \times 100$) ซึ่งจะเห็นว่าการประเมินคุณค่าอาหารของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมีราคาถูกกว่าปลาป่น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีสมดุลของกรดอะมิโนไลซีนและเมธโอนีนต่ำ ดังนั้น จึงควรเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ในสูตรอาหารด้วย

เอกสารอ่านประกอบ

กฤตพล สมมาตย์. 2552. เทคนิคการวิจัยด้านโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น.

สาโรช คำเจริญ และเยาวมาลย์ คำเจริญ. 2560. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.

Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. A.J. Lewis, L.L. Southern (Eds.), Swine nutrition (2nd ed.), CRC Press, Washington, DC. pp. 903-916.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed Association of Official Analytical Chemists; A., VA, USA.

Khajarer, J. and S. Khajarer. 1999. Manual of Feed Microscopy and Quality Control. 3rd edition, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Kong, C. and O. Adeola. 2014. Evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 27:917-925.

Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4th ed. John Wiley & Sons, New York, U.S.A. 615 p.

Zhang, F. and O. Adeola. 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. Anim. Nutr. 3:344-352.