บทที่ 9

การประเมินคุณค่าอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการ...

1. **การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี** (Chemical analysis)
   1) การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)
   2) การวิเคราะห์เพื่อวัตถุประสงค์จำเพาะ (Specific evaluation)
2. **การประเมินโดยการทดสอบทางชีวภาพ** (Biological evaluation)
   1) การประเมินโดย Feeding trial หรือ Growth trial
   2) การประเมินโดยการทดสอบการย่อยได้ (Digestion trial)
   3) การประเมินโดยวัดค่าพลังงานในอาหารสัตว์
   4) การวัดและการประเมินคุณค่าของโปรตีน
3. **การประเมินโดยลักษณะทางกายภาพ** (Physical evaluation)
   1) การประเมินด้วยตาเปล่า
   2) การประเมินความน่ากิน
   3) การทดสอบการปลอมปนด้วยกล้องจุลทรรศน์และทางเคมี
4. **การประเมินโดยเปรียบเทียบราคาโภชนะ**

การประเมินส่วนประกอบทางเคมี...

- **การวิเคราะห์โดยประมาณ** (Proximate analysis)

  เป็นวิธีที่คิดค้นโดย Weende Experiment station เมื่อ 100 กว่าปีที่ผ่านมา แต่ก็ยังนิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น...

  - น้ำ (Moisture)
  - โปรตีนหยาบหรือโปรตีนรวม (Crude protein หรือ N x 6.25)
  - ไขมันรวม หรือ สิ่งที่สกัดได้ในไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract)
  - เยื่อใย (Crude fiber)
  - สารไร้ไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Nitrogen-free extract)
  - เถ้าถ่าน หรือ แร่ธาตุ (Ash หรือ Minerals)

สาโรช (2547)

- **การวิเคราะห์เพื่อวัตถุประสงค์จำเพาะ**
  - การวิเคราะห์หาพลังงานโดย Bomb calorimeter
  - การวิเคราะห์หากรดอะมิโน โดยใช้เครื่อง...
    - Amino acid analyzer
    - High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
  - การวิเคราะห์หาสารประกอบโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer
  - การวิเคราะห์หาแร่ธาตุโดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer
  - การวิเคราะห์หาสารประกอบโดยใช้เครื่อง Chromatography
    - Paper chromatography
    - Thin-layer chromatography
    - Gas-liquid Chromatography
    - High Performance Liquid Chromatography
  - การวิเคราะห์หาส่วนประกอบของอาหารโดยใช้รังสีอินฟราเรด

สาโรช (2547)

การประเมินโดยการทดสอบทางชีวภาพ

- เป็นการทดสอบที่ให้รายละเอียดเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์ทางเคมี ในด้าน...
  - รสชาติ
  - ความน่ากิน
  - ความเป็นพิษ
  - ระดับที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบ
  - ฯลฯ

การประเมินมีหลายวิธี... เช่น...

สาโรช (2547)

1. การประเมินโดย Feeding trial หรือ Growth trial

เป็นการทดสอบวัตถุดิบโดยการผสมลงไปในสูตรอาหาร เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์อ้างอิง (ที่รู้คุณค่าทางโภชนาการแล้ว) ที่ผสมอยู่ในอาหารพื้นฐาน (Basal diet)

- **ข้อมูลที่วัด...**
  - การกินอาหาร, การเพิ่มน้ำหนักตัว, คุณภาพซาก, ประสิทธิภาพการใช้อาหาร, การให้ผลผลิตไข่, คุณภาพไข่, ความหนาของเปลือกไข่ ฯลฯ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและชนิดของโภชนะในวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบ
- **ผลที่ได้รับ...**
  - จะบอกว่าวัตถุดิบชนิดนั้น สัตว์ชอบกินมากน้อยเพียงใด, สนับสนุนสมรรถภาพการเจริญเติบโตได้ดีเพียงใด เมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นฐานที่ใช้อ้างอิง **แต่...** มิได้บอกข้อมูลว่าทำไมวัตถุดิบนั้นจึงให้ผลดีกว่าหรือด้อยกว่าวัตถุดิบอ้างอิง...

สาโรช (2547)

2. การประเมินโดยการทดสอบการย่อยได้

เป็นการทดสอบว่า... ปริมาณโภชนะในวัตถุดิบที่ทดสอบเมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้วจะถูกย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้มาก-น้อยเพียงใด **ซึ่งจะให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าที่ได้จาก Feeding trial อีกขั้นหนึ่ง**

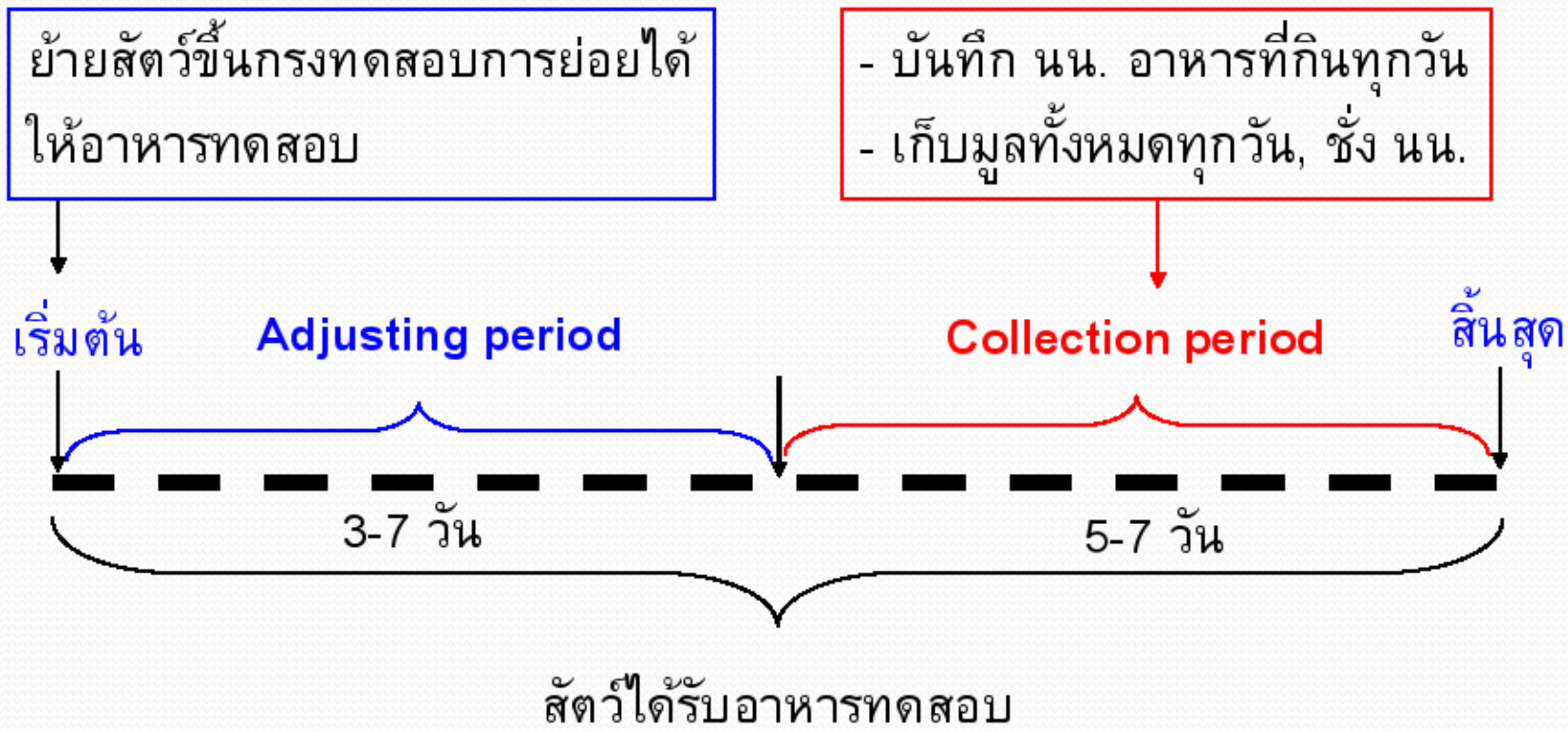
- **ค่าที่ได้...**
  - สัมประสิทธิ์ของโภชนะที่ย่อยได้ (Digestion coefficient)
  - เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ (Digestibility, %)
- **การทดสอบการย่อยได้ ทำได้หลายวิธี... เช่น...**

สาโรช (2547)

2.1 โดยการเก็บมูลทั้งหมด (Conventional หรือ total collection method)

- ทำการเลี้ยงสัตว์ด้วยอาหารที่วิเคราะห์หาส่วนประกอบของโภชนะแล้วในปริมาณที่คงที่หรือทราบปริมาณแน่นอน ในระยะเวลาที่กำหนด คือ... ประมาณ 3-7 วัน (ในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง) แล้วทำการเก็บมูลทั้งหมดที่สัตว์ขับถ่ายออกมาในระยะเวลาที่กินอาหารทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบของโภชนะ
- การทดสอบการย่อยได้ **ควรมีระยะปรับตัว** (Adjusting period) นานพอเพียงที่สัตว์จะคุ้นเคยกับอาหาร, กรงทดสอบ, และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เสียก่อนที่จะเริ่มเก็บมูล ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว ควรมีระยะปรับตัวประมาณ 5-7 วัน ถือว่าเพียงพอ
- เพื่อให้แน่ใจว่ามูลที่สัตว์ขับถ่ายออกมานั้น มาจากอาหารทดสอบ...อาจมีการเติมสารตัวหมาย (Marker) ลงไปในอาหาร และเก็บมูลในช่วงที่เริ่มมี Marker จนกระทั่ง Marker นั้นหมดไป

สาโรช (2547)


ย้ายสัตว์ขึ้นกรงทดสอบการย่อยได้
ให้อาหารทดสอบ
- บันทึก นน. อาหารที่กินทุกวัน
- เก็บมูลทั้งหมดทุกวัน, ชั่ง นน.
เริ่มต้น
Adjusting period
Collection period
สิ้นสุด
3-7 วัน
5-7 วัน
สัตว์ได้รับอาหารทดสอบ

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (%)

ผลต่างระหว่างโภชนะในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและปริมาณโภชนะที่สัตว์ขับถ่ายออกมา คือ ปริมาณโภชนะที่ย่อยได้... คำนวณได้จากสูตร...

$$\frac{\text{(นน. อาหารที่กิน x \% โภชนะในอาหาร) — (นน. มูล x \% โภชนะในมูล)}}{\text{(นน. อาหารที่กิน x \% โภชนะในอาหาร}}$$

สาโรช (2547)

2.2 โดยใช้สารบ่งชี้ช่วยทดสอบการย่อยได้ (Indicator method)

- จะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถเก็บมูลทั้งหมดได้
- **หลักการ...** เมื่อสัตว์กินอาหารที่มีสาร Indicator ในระดับความเข้มข้นที่กำหนด หลังจากการย่อยและดูดซึมโภชนะแล้ว ความเข้มข้นของสาร Indicator ในมูลจะเปลี่ยนแปลงไป (เพิ่มขึ้น) เป็นสัดส่วนกลับกับโภชนะที่ถูกย่อยและดูดซึมไปจากอาหาร ...
- **ดังนั้น...** การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโภชนะและสาร Indicator ในอาหารและในมูล ก็จะสามารถบอกปริมาณโภชนะที่ถูกย่อยและดูดซึมได้...

วิธีดำเนินการ เหมือนกับวิธี Conventional method

สาโรช (2547)

คุณสมบัติของสาร Indicator

1) ไม่เป็นพิษ
2) เป็นสารที่สัตว์ย่อยและดูดซึมไม่ได้
3) ไม่มีฤทธิ์หรือมีผลทำให้การทำงานของระบบย่อยอาหารของสัตว์เปลี่ยนแปลง
4) ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเคลื่อนตัวของอาหารในระบบทางเดินอาหารของสัตว์
5) ควรวิเคราะห์ได้ง่าย

สาร Indicator... อาจเป็น

1) **ส่วนประกอบธรรมชาติของอาหาร** (Internal indicator) เช่น... ลิกนิน, แร่ธาตุ หรือเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid insoluble ash) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ ซิลิก้า
2) **สารเคมีที่เติมเข้าไป** (External indicator) เช่น Ferric oxide, Chromic oxide ฯลฯ.

สาโรช (2547)

ค่าการย่อยได้ (%)

$$100 - \left[100 \times \frac{\%\ \text{Indicator ในอาหาร}}{\%\ \text{Indicator ในมูล}} \times \frac{\%\ \text{โภชนะในมูล}}{\%\ \text{โภชนะในอาหาร}} \right]$$

สาโรช (2547)

ค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (True digestibility)...

- ปริมาณโภชนะในมูล มาจาก 2 แหล่ง คือ...
  1) จากอาหารที่ย่อยไม่ได้ (Undigested feed หรือ Feed origins)
  2) จากแหล่งของร่างกาย (Endogenous หรือ Metabolic source หรือ Body origins) ซึ่งมาจาก...
     - น้ำย่อยที่ใช้แล้ว
     - เซลล์บุผิวทางเดินอาหารที่หลุดลอก
     - จุลินทรีย์ในระบบย่อยอาหาร
- ปริมาณโภชนะที่มาจากแหล่งของร่างกาย หาได้โดยการเก็บมูลสัตว์ที่**อดอาหาร** หรือ กินอาหารที่ไม่มีโภชนะที่ต้องการศึกษา
  - เช่น การหาการย่อยได้ของกรดอะมิโน จะหาได้จากกลุ่มที่กินแป้งข้าวโพด

สาโรช (2547)

การคำนวณค่าการย่อยได้ที่แท้จริง

$$\frac{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน} - (\text{ปริมาณโภชนะในมูล-1} - \text{ปริมาณโภชนะในมูล-2})}{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน}} \times 100$$

ปริมาณโภชนะที่กิน = นน.อาหารที่กิน x %โภชนะในอาหาร

ปริมาณโภชนะในมูล-1 = นน.มูลสัตว์ที่กินอาหารทดสอบ x % โภชนะในมูล

ปริมาณโภชนะในมูล-2 = นน.มูลสัตว์ที่อดอาหาร X % โภชนะในมูล

สาโรช (2547)

2.3 การหาการย่อยได้โดยใช้ผลต่าง (Digestibility by difference หรือ partial digestibility)

- ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถให้สัตว์กินวัตถุดิบทดสอบเพียงอย่างเดียวได้ จึงจำเป็นต้องเติมวัตถุดิบทดสอบเข้าไปในอาหารพื้นฐาน (Basal diet) เช่น ขนไก่ป่น, ปลาป่น และไขมัน ฯลฯ

  ตัวอย่าง อ่านเพิ่มเติมจาก สาโรช (2547) หน้า 406-407.

- อัตราการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสม**มักจะมีค่าสูงกว่า**ค่าการย่อยได้เฉลี่ยของวัตถุดิบแต่ละชนิดรวมกัน เหตุการณ์นี้เรียกว่า **Associative effect** ซึ่งเกิดจากโภชนะในวัตถุดิบชนิดหนึ่งไปเสริมการขาดแคลนโภชนะในวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งในอาหารแล้วทำให้เกิดความสมดุลโภชนะในอาหารนั้น**ดีขึ้น**...

สาโรช (2547)

2.4 การใช้เทคนิคการผ่าตัดเข้าช่วยในการทดสอบหาการย่อยได้

- ในสัตว์ปีก มีการขับถ่ายมูลและปัสสาวะออกมาพร้อมกันทาง Cloaca
- **ดังนั้น...** ปริมาณโภชนะในมูลที่วิเคราะห์ได้ จะเป็นค่าของ...
  - โภชนะที่ย่อยไม่ได้ (มูล)
  - โภชนะที่ย่อยและดูดซึมได้แต่ร่างกายขับออกมาเนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ปัสสาวะ, กรดยูริก)

  } Excreta หรือ Feces
- **ทำการแยกโดยการ...**
  - เปิดช่องใหม่ให้ลำไส้ใหญ่แยกออกจากตำแหน่งเดิม (Colostomy)
  - เปิดช่องปัสสาวะใหม่ (Ureter exteriorization)

สาโรช (2547)

- **<u>นักโภชนศาสตร์บางท่าน</u>**... ให้ความเห็นว่า การใช้วิธีการเก็บมูลเพื่อวิเคราะห์ค่าการย่อยได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง **กรดอะมิโน** จะไม่สะท้อนถึงค่าการย่อยได้ที่แท้จริง เนื่องจาก...
  - กรดอะมิโนบางตัวมีการเปลี่ยนแปลง (สร้างใหม่, สลายตัว) โดยจุลินทรีย์ในไส้ตันและลำไส้ใหญ่ จึงให้ความเห็นว่าควรจะหาปริมาณโภชนะหรือกรดอะมิโนที่เหลือจากการย่อยและดูดซึมขณะเคลื่อนตัวผ่านลำไส้เล็กส่วนปลายเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ เรียกว่า "**Ileal digestibility**"
- การเก็บ Ileal digesta ทำได้โดย การผ่าตัดลำไส้ส่วนปลายแล้วใส่ท่อเปิดออกสู่ภายนอก ปัจจุบันมีหลายรูปแบบ และ**นิยมหาการย่อยได้ของกรดอะมิโนในสุกรมากกว่าสัตว์ปีก**

สาโรช (2547)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้...

1) อายุของสัตว์ส่วนใหญ่จะมีอิทธิพลไม่มากนัก... แต่มักจะใช้สัตว์เพศผู้ที่โตเต็มที่แล้ว
2) สุขภาพสัตว์
3) แหล่งของอาหารและส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งจะมีผลต่อชนิดของเยื่อใยและไขมัน อันจะส่งผลต่อไปยังการย่อยได้
4) ปริมาณอาหารที่กิน... สัตว์กินอาหารมากประสิทธิภาพการย่อยจะลดลง
5) อัตราการเคลื่อนที่ของอาหารผ่านระบบทางเดินอาหาร
    1) ถ้าเร็วเกินไปมีเวลาย่อยน้อย การย่อยได้ไม่สมบูรณ์
    2) ถ้าช้าเกินไปจะทำให้เกิดการหมักและสูญเสียในรูปของแก๊ส
    3) อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของอาหารขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นส่วนของอาหารและวิธีการเตรียม
6) การขาดหรือเกินของโภชนะ จะมีผลต่อการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น
7) การย่อยได้ของอาหารผสมไม่จำเป็นต้องเป็นค่าเฉลี่ยของการย่อยได้ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน เนื่องจากมักจะเกิด **Associative effect หรือ อาจเกิด Antagonistic effect**

สาโรช (2547)

3. การประเมินโดยวัดค่าพลังงานในวัตถุดิบ

- โภชนะหลักในวัตถุดิบ (คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และโปรตีน) ให้**พลังงาน**
- จุลโภชนะ (วิตามินและแร่ธาตุ) ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการแปรรูปโภชนะหลักให้เป็น**พลังงาน**
- การวัดพลังงานในวัตถุดิบ แบ่งเป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ...

1) การวัดค่าพลังงานโดยการวัดโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrients, TDN)
2) การวัดค่าพลังงานตามขั้นตอนการใช้ประโยชน์ได้ของระบบ NRC (National Research Council)

สาโรช (2547)

3.1 การวัดค่าพลังงานโดยการวัดโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN)

- หาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะหลัก (โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย และ แป้ง) ตามวิธีหาการย่อยได้

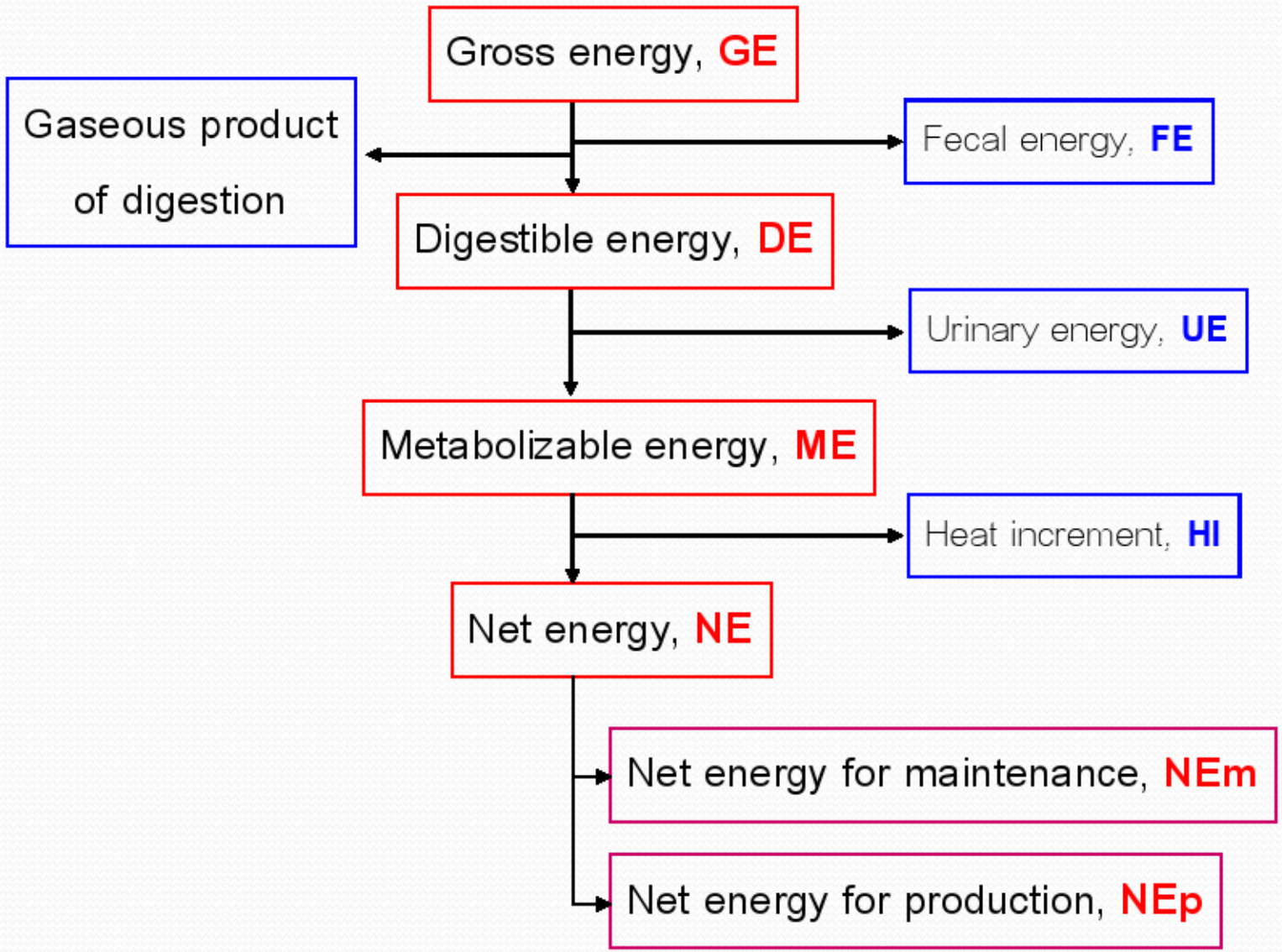
TDN, % = [Dig. CP + Dig. CF + Dig. NFE + (2.25 x Dig. EE)]

เมื่อ... Gig. Nutrient = % Nutrient in feed x Digestion coefficient

- ค่า TDN ยังเป็นวิธีการวัดพลังงานในอาหารที่ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร เพราะไม่รวมถึงพลังงานที่หายไปในรูปของ...
  - พลังงานในปัสสาวะ
  - พลังงานที่สูญเสียในรูปของแก๊ส
  - พลังงานที่สูญหายไปในรูปของความร้อนจากร่างกาย

สาโรช (2547)

3.2 การวัดค่าพลังงานตามขั้นตอนการใช้ประโยชน์



- **พลังงานที่สันดาปได้** (Gross energy, GE) คือ... พลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น ๆ หาได้โดยการนำไปเผาใน Bomb calorimeter
- **พลังงานที่สูญเสียไปในมูล** (Fecal energy, FE) คือ... พลังงานที่สูญเสียไปจากร่างกาย โดยมีองค์ประกอบสำคัญคือ...
  - พลังงานในอาหารที่สัตว์ย่อยไม่ได้
  - พลังงานในจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร
  - พลังงานจากตัวสัตว์เอง... มี น้ำย่อย, เซลล์บุผิวที่หมดอายุ ฯลฯ.
- **พลังงานที่ย่อยได้** (Digestible energy, DE) คือ... พลังงานที่ย่อยและถูกดูดซึมได้ พลังงานส่วนนี้จะมีการสูญเสียต่อไปในขบวนการเผาผลาญในร่างกาย

สาโรช (2547)

- **พลังงานที่สูญเสียไปในรูปแก๊ส** (Gaseous product of digestion) เป็นพลังงานในแก๊สที่สันดาปได้และสูญหายไปจากร่างกายในขั้นตอนการย่อยและการดูดซึม เช่น Methane, H, Co_2, H_2S ฯลฯ.
- **พลังงานที่สูญเสียไปในปัสสาวะ** (Urinary energy, UE) คือ... พลังงานที่อยู่ในเศษเหลือของขบวนการเผาผลาญโภชนะในร่างกาย ปฏิกิริยาที่เกิดในร่างกายมีทั้งสังเคราะห์และเผาผลาญโภชนะ ทั้งจากอาหารและจากร่างกาย ส่วนของอณูที่ไม่ใช้ประโยชน์จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ
- **พลังงานใช้ประโยชน์ได้** (Metabolizable energy, ME) คือ... พลังงานที่ร่างกายดูดซึมแล้วและพร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ **ค่า ME ในสัตว์ปีกหาได้ง่ายกว่า DE เพราะสัตว์ปีกจะขับถ่ายมูลและปัสสาวะออกมาร่วมกัน**

สาโรช (2547)

- **Heat increment**, HI คือ... ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากที่สัตว์กินอาหารเสร็จแล้ว และสัตว์นั้นอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่สบาย ความร้อนส่วนนี้ประกอบด้วย
  - ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาหมักบูด (Heat of fermentation)
  - ความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญโภชนะ (Heat of nutrient metabolism)

ความร้อนส่วนนี้เป็นความร้อนที่สูญเปล่า... ยกเว้น.. ในกรณีที่สัตว์อยู่ในสภาวะอากาศหนาว ความร้อนนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาร่างกายให้อบอุ่น (Heat to keep body warm)

การวัดพลังงานส่วนนี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า **Animal calorimeter หรือ Respiratory apparatus**

สาโรช (2547)

- **พลังงานใช้ประโยชน์สุทธิ** (Net energy, NE) คือ... พลังงานสุทธิที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต หรือทั้งสองอย่างได้... แบ่งออกเป็น...
  - **พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ** (NEm) หรืออีกนัยหนึ่งเป็นพลังงานส่วนที่รักษาปริมาณพลังงานในร่างกายให้สมดุล คือไม่ลด-ไม่เพิ่ม พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพประกอบด้วย
    - พลังงานพื้นฐาน (Basal metabolism)
    - พลังงานสำหรับกิจกรรมที่จำเป็น (Energy of voluntary activity)
    - พลังงานเพื่อรักษาร่างกายให้อบอุ่น (Heat to keep body warm)
    - พลังงานเพื่อรักษาร่างกายให้เย็นลง (Heat to keep body cool)

สาโรช (2547)

- **พลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิต** (NEp) คือ... พลังงานที่เกินกว่า NEm สัตว์ต้องใช้ในการสร้างผลผลิต เช่น การทำงาน, การออกกำลังกาย, การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในร่างกาย, การให้ไข่ ฯลฯ พลังงานส่วนนี้วัดได้จากปริมาณพลังงานในผลผลิต ซึ่งอาจจะต้องฆ่าสัตว์เพื่อนำเอาเนื้อเยื่อมาวัดค่าพลังงาน...

สาโรช (2547)

3.3 การหาค่า ME ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ตามวิธีของ Hill *et al*, (1960)

- Hill, F.M., Anderson, D.L., Render, R. and Carew, L.B. 1960. Studies of the metabolizable energy of grain products for chickens. Poultry Science, 39: 573-579.

1. ใช้ไก่ตัวผู้ (RIRxBPR) อายุ 2 – 4 สัปดาห์
2. น้ำหนักตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกกลุ่ม จำนวน 10 ตัว/กลุ่ม
3. ให้กินน้ำ-อาหารเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง
4. ให้อาหาร Semi-purified diet ผสม Chromic oxide 0.3%
5. เก็บมูลทุก ๆ 24 ชม. ในช่วง 4 วันสุดท้าย

- 8.22 หมายถึง เมื่อโปรตีนในเนื้อเยื่อถูก Oxidized ให้ได้พลังงานก็จะถูกขับส่วนที่เหลือออกจากร่างกายในรูปของกรดยูริก เมื่อนำกรดยูริกไปเผาจะได้พลังงาน/กรัมไนโตรเจน ซึ่งเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นเนื่องจากในปัสสาวะไก่จะมีกรดยูริกเพียงประมาณ 60-80%

3.4 การหาค่า ME ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ตามวิธีของ Sibbald (1976)

- Sibbald, I.R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feed stuffs. Poultry Science, 55: 303-308.

ME แบ่งออกเป็น...

- **Apparent metabolizable energy** (ME หรือ AME) พลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ หรือพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ คำนวณโดย...

สูตร...

$$\text{AME (kcal/g)} = \frac{(\text{Fi} \times \text{GE}) - (\text{E} \times \text{GEe})}{\text{Fi}}$$

- Fi = ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)
- E = ปริมาณมูลและปัสสาวะที่ขับถ่าย (กรัม)
- GE = ค่าพลังงานในอาหาร (kcal/g)
- GEe = ค่าพลังงานรวมในมูลและปัสสาวะ (kcal/g)

- **Apparent metabolizable energy corrected nitrogen balance** (AME_n หรือ ME_n) พลังงานใช้ประโยชน์ได้เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน คำนวณโดย...
  - **สูตร...**

$$AME_n\ (kcal/g) = \frac{[\ (Fi \times GE) - (E \times GEe)\ ] - NR \times 8.22}{Fi}$$

  - Fi = ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)
  - E = ปริมาณมูลและปัสสาวะที่ขับถ่าย (กรัม)
  - GE = ค่าพลังงานในอาหาร (kcal/g)
  - GEe = ค่าพลังงานรวมในมูลและปัสสาวะ (kcal/g)
  - NR = สมดุลไนโตรเจน (N intake – N-output)
  - 8.22 = ค่าคงที่...

- **True metabolizable energy** (TME) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง คำนวณได้จาก ...
  - **สูตร...**

$$\text{TME (kcal/g)} = \frac{[\,(\text{Fi} \times \text{GE}) - (\text{E} \times \text{GEe})\,] + (\text{FEm} + \text{UEe})}{\text{Fi}}$$

  - FEm + UEe = พลังงานที่ขับถ่ายออกมาเมื่อสัตว์ไม่ได้รับอาหาร (kcal/g)

- **True metabolizable energy corrected nitrogen balance** (TME_n) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน คำนวณได้โดย...
  - สูตร...

$$TME_n\ (kcal/g) = \frac{[\ (Fi \times GE) - (E \times GEe)\ ] + [\ (FEm + UEe) + (NR \times 8.22)\ ]}{Fi}$$

4. การวัดและการประเมินคุณค่าของโปรตีน

การประเมินคุณภาพของโปรตีนทำได้หลายวิธี เช่น...

1) **สมดุลของไนโตรเจน** (Nitrogen balance, BN)

ปริมาณ N ที่กิน – ปริมาณ N ที่ขับถ่ายออกมา

- **ถ้าสมดุล N มีค่าเป็น 0** หมายความว่า... ปริมาณ N ที่สัตว์กินเข้าไป = N ที่สัตว์ขับถ่ายออกมา **จะเกิดในสัตว์ที่โตเต็มที่, ไม่มีการเพิ่ม นน.ตัว**
- **ถ้าสมดุล N มีค่าเป็นบวก** หมายความว่า... ปริมาณ N ที่กินเข้าไป มากกว่า N ที่ขับถ่ายออกมา หมายความว่า ร่างกายสามารถกักเก็บ N ไว้ได้ส่วนหนึ่ง **จะเกิดในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต, มีการเพิ่ม นน.ตัว, มีการให้ผลผลิตต่าง ๆ**
- **ถ้าสมดุล N มีค่าเป็นลบ** หมายความว่า... สัตว์ขับ N ออกมามากกว่า N ที่กินเข้าไป **จะเกิดกับสัตว์ป่วย, จำศีล, ขาดอาหาร หรือได้รับอาหารไม่เพียงพอเนื่องจากให้ผลผลิตมาก จึงต้องดึงเอาโปรตีนที่สะสมในร่างกายออกมาใช้**

พันทิพา (2547)

2) **ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Ratio**, PER) เป็นการวัดน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของสัตว์ในระยะเจริญเติบโตต่อปริมาณโปรตีนที่ได้รับ...

$$PER = \frac{\text{นน. ตัวที่เพิ่ม (กรัม)}}{\text{โปรตีนที่กิน (กรัม)}}$$

ค่า PER สูงแสดงว่าโปรตีนคุณภาพดี

ข้อแม้...

1) อาหารนั้นจะต้องมีพลังงานและโปรตีนเพียงพอ แต่ไม่ควรเกินพอดี
2) จะวัดค่า นน. ตัวที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น
3) ระดับโปรตีนที่ต่ำกว่าความต้องการจะทำให้เห็นความแตกต่างของคุณภาพโปรตีนได้ชัดเจน ในไก่จะอยู่ที่ประมาณ 10%

พันทิพา (2547)

3) **เน็ทโปรตีนเรโช** (Net Protein Ratio, NPR)... เป็นการนำเอาค่า PER มาปรับปรุง โดยมีการจัดทำกลุ่มสัตว์ที่ได้อาหารปราศจากโปรตีน (Protein free diet) แล้วนำเอาอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสัตว์กลุ่มนี้ไปลบออกจากค่า PER ก็จะได้ค่า นน. ตัวสัตว์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนจริง ๆ

$$NPR = \frac{\text{นน. ตัวที่เพิ่มขึ้นในสัตว์กลุ่มที่ได้รับอาหารทดสอบโปรตีน} - \text{นน. ตัวที่ลดลงของสัตว์กลุ่มที่ได้รับอาหารขาดโปรตีน}}{\text{นน. โปรตีนที่สัตว์ได้รับ}}$$

ระดับโปรตีนที่ใช้วัดค่า NPR คือ ที่ระดับความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance)

ค่า NPR จะให้ความแม่นยำกว่า PER

ค่า NPR สูงแสดงว่าโปรตีนมีคุณภาพดี

พันทิพา (2547)

4) **การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ** (Net Protein Value, NPV หรือ Net protein Utilization, NPU)... การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธีทางชีวภาพในไก่ทำได้ยาก... เนื่องจาก ไก่ขับถ่ายมูล-ปัสสาวะออกมาพร้อมกัน จึงมีการแก้ไขจุดบกพร่องจุดนี้โดย การวิเคราะห์ซากมากกว่าการวัดสมดุลไนโตรเจน

$$NPV, \% = \frac{B_F - B_K + I_K}{IF} \times 100$$

โดย...

B_F = ค่า N ของซากสัตว์กลุ่มที่ได้รับโปรตีนทดสอบ

IF = ค่า N ที่ได้รับจากโปรตีนทดสอบ

B_K = ค่า N ของซากสัตว์ที่ได้รับอาหารไม่มี N (กลุ่มควบคุม)

I_K = ค่า N ที่กลุ่มควบคุมได้รับจากอาหารไม่มี N

- ค่า NPV เป็นค่าของ N ของโปรตีนที่ต้องการทดสอบซึ่งสะสมไว้ในซาก คิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของ N ที่ได้รับจากอาหาร...
- ระดับโปรตีนที่จะทดสอบจะต้องเท่ากันคือ ประมาณ 13% ในลูกไก่ ในกรณีที่ระดับโปรตีนสูงกว่านี้ จะได้ค่า NPV ต่ำลง...

... จะต้องหาระดับโปรตีนที่สัตว์ชนิดนั้น ๆ เก็บกักไว้ได้สูงสุด...

พันทิพา (2547)

5) **บีวี** (Biological Value, BV)... เป็นการวัดปริมาณ N ที่ร่างกายเก็บกักไว้ใช้เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต หรือเพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสารประกอบต่าง ๆ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ N ที่ถูกดูดซึม...

$$BV, \% = \frac{\text{N-intake} - (\text{Fecal-N} + \text{Urinary-N})}{\text{N-intake} - \text{Fecal-N}} \times 100$$

N-retention

N-absorption

- เนื่องจากปริมาณ N ที่ขับถ่ายออกมาในมูล ไม่ได้มาจากอาหารที่ย่อยไม่ได้เพียงอย่างเดียว แต่จะมาจาก เยื่อบุทางเดินอาหารที่หลุดลอก, เอนไซม์, ฮอร์โมน ฯลฯ
- ปริมาณ N ที่ขับถ่ายออกมาในปัสสาวะ ก็มี N ที่เกิดจากขบวนการเมตตาบอลิซึม ซึ่งมาจากร่างกายไม่ได้มาจากอาหาร

= Endogenous Nitrogen

พันทิพา (2547)

- **ค่าบีวีที่แท้จริง** (True BV, TBV)...

$$TBV, \% = \frac{NI - (FN - MFN) - (UN - EUN)}{NI - (FN - MFN)} \times 100$$

โดย...

NI = Nitrogen intake

FN = Fecal Nitrogen

UN = Urinary Nitrogen

MFN = Metabolic Fecal Nitrogen

EUN = Endogenous Urinary Nitrogen

การวัดค่า BV ควรให้มีระดับโปรตีนในอาหารมากพอที่ร่างกายจะเก็บกักไว้ได้ แต่จะต้องไม่มากถึงขั้นเก็บกักไว้ได้สูงสุด ถ้าโปรตีนสูงเกินไปจะทำให้กรดอะมิโนบางส่วนถูกทำลายทิ้งแล้วขับ N ออกมา และพลังงานจะต้องมีเพียงพอเพื่อป้องกันมิให้สัตว์เปลี่ยนโปรตีนไปเป็นพลังงาน

พันทิพา (2547)

การประเมินจากลักษณะทางกายภาพ

1. **การประเมินด้วยตาเปล่า**... เป็นการตรวจสอบขั้นต้น ด้วยการ...
    1. ดูสี
    2. การปลอมปนที่สังเกตเห็นด้วยตา
    3. ความสม่ำเสมอของเมล็ด
    4. ปริมาณเมล็ดแตก
    5. การเน่าเสียหรือการเกิดเชื้อรา
    6. สัมผัสในกองวัตถุดิบว่ามีความร้อนเกิดขึ้นหรือไม่
    7. สังเกตความชื้นด้วยการกำหรือใช้เครื่องมือวัดความชื้น
    8. ตรวจสอบน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน

2. **การประเมินความน่ากิน**... ด้วยการ...

1. ดูด้วยตาเปล่า
2. การดมเพื่อตรวจสอบความใหม่-เก่าของวัตถุดิบ
3. การชิม

3. **การตรวจการปลอมปนด้วยกล้องจุลทรรศน์** (Feed microscopy)...

1. ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ กำลังขยาย 20 – 100x ตรวจสอบการปลอมปนในอาหารสัตว์
2. ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบคอมปาวด์ ที่กำลังขยายสูง โดยจะต้องบดตัวอย่างอาหารสัตว์ให้ละเอียดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างของเซลล์และหาสิ่งแปลกปลอม

ต้องใช้ผู้ที่ชำนาญและมีทักษะในการจำแนก...

4. **การตรวจสอบขั้นต้นโดยวิธีทางเคมี** (Quick chemical test)... เป็นการตรวจสอบการปลอมปนของสารเคมีที่ไม่สามารถตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ เช่น ...

1. การตรวจสอบหายูเรียในอาหารโปรตีน
2. การตรวจสอบหาการปนเปื้อนยา, แร่ธาตุ และโลหะหนัก ฯลฯ
3. การตรวจสอบความสุกดิบของกากถั่วเหลือง
4. การตรวจสอบการปนเปื้อนเกลือในปลาป่น
5. การตรวจสอบโครเมียมในหนังป่น
6. ฯลฯ

การประเมินคุณค่าโดยเทียบราคาโภชนะ

- การตัดสินใจเลือกซื้อวัตถุดิบอาหารสัตว์มาใช้ จะต้องคำนึงถึงมูลค่าของโภชนะหลัก เพื่อให้ได้ราคาที่คุ้มค่าที่สุด...

$$\text{ราคาโภชนะ, บาท/กก.} = \frac{\text{ราคาวัตถุดิบ, บาท/กก.}}{\text{\% โภชนะในวัตถุดิบ}} \times 100$$

ตัวอย่าง...

กากถั่วเหลือง 44% โปรตีน ราคา กก. ละ 10 บาท และวัสดุทดแทนคือ ปลาป่น 60% โปรตีน ราคา กก. ละ 20 บาท

ดังนั้น...

ราคาโปรตีน บาท/กก. จากกากถั่วเหลือง = (10/44 x 100) = 22.73 บาท

ราคาโปรตีน บาท/กก. จากปลาป่น = (20/60 x 100) = 33.33 บาท