# บทที่ 3

# การทดลองที่ 1

## การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม

### บทนำ

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อประกอบสูตรอาหารเพราะเป็นตัวบ่งบอกว่า สัตว์มีการนำโภชนะจากวัตถุดิบไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ทำให้สามารถทราบถึงคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ได้ (เสาวนิต, 2538) และคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน กรดแอมิโน หรือพลังงาน ที่นำไปใช้ในการประกอบสูตรอาหารนั้น โดยทั่วไปเป็นค่าที่แสดงปริมาณโภชนะต่างๆ โดยประมาณ แต่ไม่ได้แสดงถึงค่าที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงๆ จึงมีการประเมินโดยตรงกับตัวสัตว์ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงคุณค่าการใช้ประโยชน์ของโภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อใช้ในการประกอบสูตรอาหารให้ตรงตามความต้องการของสัตว์ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเพื่อเป็นประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์ (สุวิทย์, 2532)

### วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์มโดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ และเพื่อประเมินค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง กรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบเหล่านี้ในตัวสัตว์

## วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### วัสดุ อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง ใช้ไก่เพศผู้พันธุ์ Hubbard Golden Comet อายุประมาณ 2 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 2.40 ± 0.08 กิโลกรัม และมีสุขภาพดี จำนวน 10 ตัว
2. วัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม ซึ่งซื้อจากร้านขายวัตถุดิบอาหารสัตว์ใน อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา
3. วัสดุและอุปกรณ์เก็บมูลและปัสสาวะ ประกอบด้วย ถุงพลาสติกเก็บมูลและปัสสาวะพร้อมสายรัด (harness) ตามแบบของ Sibbald (1986) ถาดอลูมิเนียมรองรับมูลและปัสสาวะ ถุงพลาสติกใสทนความร้อน ถุงพลาสติกดำ ถาดใส่อาหาร ขวดฉีดน้ำ กรดกำมะถันเข้มข้น 0.05 โมลาร์ และอุปกรณ์บังคับไก่สำหรับป้อนอาหาร
4. โรงเรือนและอุปกรณ์ในการเลี้ยงไก่ทดลอง
5. เครื่องมือวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ เช่น ตู้อบ เตาเผา เครื่องวิเคราะห์โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเครื่องวิเคราะห์พลังงาน
6. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

### การเตรียมอาหารทดลอง

นำตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ทดลอง ชั่งน้ำหนักให้มีปริมาณ 40 กรัมต่อไก่ 1 ตัว นำวัตถุดิบอาหารผสมกับน้ำสะอาด คลุกเคล้าให้ทั่ว หลังจากนั้นจึงทำการปั้นให้เป็นก้อน ซึ่งอาหารที่ปั้นมีลักษณะยาวเรียว (ยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 0.7 เซนติเมตร)เพื่อให้เหมาะสมกับปากของไก่ทดลอง ในส่วนของน้ำมันปาล์ม เตรียมโดยใช้ผสมกับข้าวโพดในสัดส่วน 3:1 (ข้าวโพด 30 กรัมต่อน้ำมันปาล์ม 10 กรัม) ผสมคลุกเคล้าให้ทั่วและปั้นเป็นก้อน

### การเตรียมสัตว์ทดลอง

คัดเลือกไก่เพศผู้ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.40 ± 0.08 กิโลกรัม ที่มีสุขภาพดี และตัดขนบริเวณทวารของไก่ให้สั้นเพื่อให้สะดวกในการใส่อุปกรณ์เก็บมูล จากนั้นทำการกำจัดพยาธิภายนอกโดยการจุ่มไก่ลงในน้ำยาฆ่าพยาธิภายนอก บาร์ริเคด® (ชื่อสามัญ ไซเปอร์เมธริน ของบริษัท เอฟ อี ซิลลิค กรุงเทพฯ จำกัด) และนำไก่ขึ้นกรงขังเดี่ยว

**วิธีการทดลอง**

**1. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ**

เก็บตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม ใส่ในขวดเก็บตัวอย่างที่สะอาด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความชื้น โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส เถ้า และคำนวณไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก วิเคราะห์โดยวิธีประมาณ (proximate analysis) ตามคำแนะนำของ AOAC (1990) วิเคราะห์พลังงานโดยใช้เครื่อง autobomb adiabatic bomb calorimeter (Gallenkamp autobomb calorimeter CBA-350-K) และวิเคราะห์ค่ากรดแอมิโนโดยบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด

**2. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางชีวภาพ**

เป็นการประเมินการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง กรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยทดลองกับไก่เพศผู้ ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 4 ระยะ

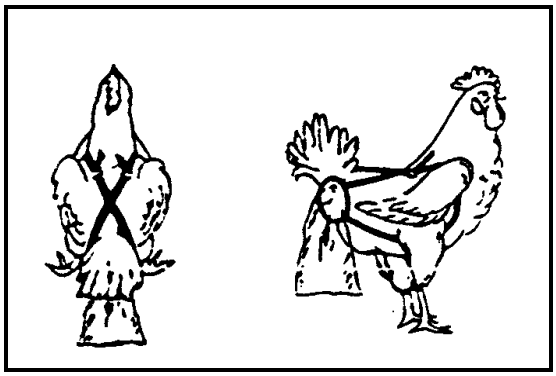
**ระยะที่ 1** ระยะก่อนเก็บข้อมูล เป็นระยะปรับตัว ชั่งน้ำหนักไก่ทุกตัว นำไก่ทดลองขึ้นกรงทดลองเพื่อให้ไก่มีความคุ้นเคยกับกรง และอุปกรณ์เก็บมูล เป็นเวลา 5 วัน โดยให้ไก่ทดลองกินอาหารผสมสูตรอาหารไก่ไข่อย่างเต็มที่ (*ad libitum*) เพื่อให้ไก่มีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นทำการฝึกป้อนวัตถุดิบอาหารที่ใช้ทดลองให้ไก่กินเป็นเวลา 4 วัน เพื่อให้ไก่คุ้นเคยกับการป้อนและกลืนอาหารได้เองตามธรรมชาติ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ป้อน คือ 40 กรัมต่อตัว

**ระยะที่ 2** เป็นการทดลองเพื่อหาค่า metabolic fecal energy และค่า endogenous urinary energy การทดลองเริ่มต้นด้วยการชั่งน้ำหนักไก่ทดลองทุกตัว จากนั้นทำการอดอาหารไก่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ไก่ทดลองขับอาหารที่เหลือในระบบทางเดินอาหารออก เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการใส่อุปกรณ์เก็บมูลครอบบริเวณทวารหนักของไก่ทดลอง (ภาพที่ 2) ภายในถุงพลาสติกเก็บมูลมีกรดกำมะถันเข้มข้น 0.05 โมลาร์ จำนวน 15 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเน่าเสีย และการสูญเสียไนโตรเจนของมูลและปัสสาวะในรูปของก๊าซ และใช้ถาดอลูมิเนียมซึ่งหุ้มด้วยถุงพลาสติกสีดำไว้รองรับใต้กรงทดลองอีกครั้ง เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาในกรณีที่มูลและปัสสาวะตกหล่น ซึ่งทำให้สามารถเก็บมูลและปัสสาวะได้ทั้งหมด

การเก็บมูลและปัสสาวะเพื่อนำไปวิเคราะห์ ทำการเก็บ 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 เก็บหลังจากใส่อุปกรณ์เก็บมูลครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเปลี่ยนถุงพลาสติกเก็บมูลใหม่ เก็บมูลและปัสสาวะครั้งที่ 2 เมื่อครบอีก 24 ชั่วโมง รวมระยะเวลาในการเก็บมูลและปัสสาวะทั้งหมด 48 ชั่วโมง (ภาพที่ 3) ซึ่งตลอดเวลา 48 ชั่วโมง ไก่ทดลองจะไม่ได้รับอาหาร แต่ได้รับน้ำตลอดเวลา หลังจากดำเนินการเสร็จแล้ว ชั่งน้ำหนักไก่ทดลองทุกตัวอีกครั้ง

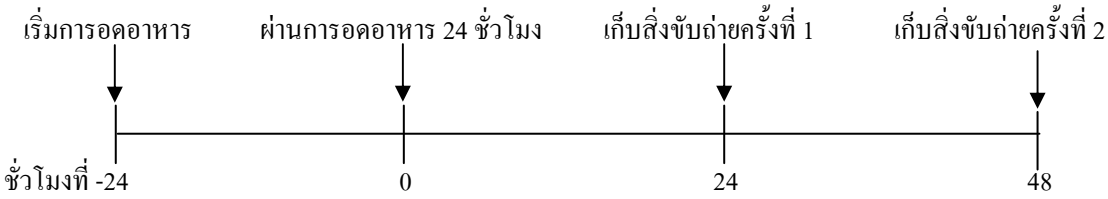
**ระยะที่ 3** ระยะพัก เป็นระยะที่ให้ไก่กินอาหารไก่ไข่เต็มที่ เพื่อให้ไก่ฟื้นตัวและมีน้ำหนักเท่ากับหรือใกล้เคียงกับน้ำหนักก่อนการทดลอง ระยะนี้ใช้เวลา 5 วัน

**ระยะที่ 4** เป็นระยะป้อนวัตถุดิบอาหารสัตว์ เริ่มต้นโดยการชั่งน้ำหนักตัวไก่ทุกตัว จากนั้นอดอาหารไก่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ไก่ทดลองขับอาหารที่เหลือในระบบทางเดินอาหารออกให้หมด เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการป้อนวัตถุดิบอาหารสัตว์ตามที่ได้ฝึกป้อน โดยทำการป้อนวัตถุดิบครั้งละชนิดให้ไก่ทั้ง 10 ตัว เมื่อป้อนอาหารเสร็จ ทำการใส่อุปกรณ์เก็บมูลครอบบริเวณทวารหนักของไก่ทดลอง ภายในถุงพลาสติกเก็บมูลมีกรดกำมะถันเข้มข้น 0.05 โมลาร์ จำนวน 15 มิลลิลิตร และใช้ถาดอลูมิเนียมที่หุ้มด้วยพลาสติกรองรับใต้กรงทดลองอีกครั้ง เพื่อเป็นการแก้ปัญหากรณีที่มูลและปัสสาวะตกหล่น สำหรับการเก็บมูลและปัสสาวะนั้นเก็บ 2 ครั้ง โดยใช้วิธีการเก็บเช่นเดียวกับการทดลองในระยะที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อเก็บมูลและปัสสาวะเสร็จแล้วจึงชั่งน้ำหนักไก่ทดลองอีกครั้ง หลังจากนั้นเป็นระยะพักให้ไก่ทดลองกินอาหารผสมสูตรอาหารไก่ไข่อย่างเต็มที่เป็นเวลา 5 วัน เพื่อให้ไก่ฟื้นตัวและมีน้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักก่อนการทดลอง จากนั้นทำการป้อนวัตถุดิบตัวต่อไปจนครบทุกชนิด

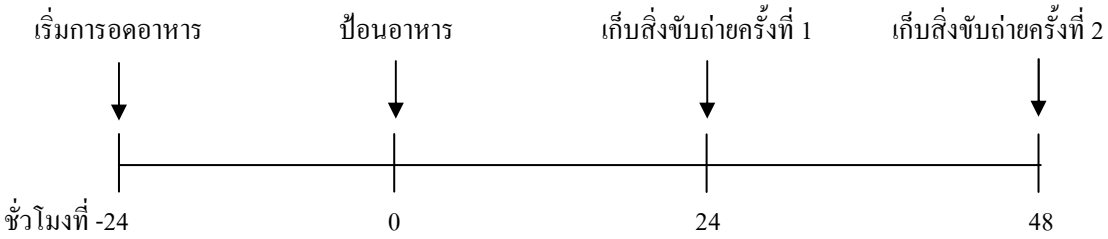


**ภาพที่ 2** วิธีการเก็บมูลและปัสสาวะของไก่ทดลองโดยการใช้ถุงพลาสติกเก็บมูลและปัสสาวะพร้อมสายรัด (harness)

**ที่มา** : Sibbald (1986)




**ภาพที่ 3** ระยะเวลาในการอดอาหารและเก็บสิ่งขับถ่ายของไก่ทดลอง




**ภาพที่ 4** ระยะเวลาในการป้อนอาหารและเก็บสิ่งขับถ่ายของไก่ทดลอง

ในแต่ละช่วงการทดลองเมื่อเก็บมูลและปัสสาวะของไก่ทดลองครบทุกตัวแล้ว ทำการเก็บขนและเกล็ดที่ปะปนอยู่ในถุงพลาสติกออกให้หมด จากนั้นจึงถ่ายมูลและปัสสาวะของไก่ทดลองแต่ละตัวในแต่ละวัน ลงในถุงพลาสติกที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน หรือจนแห้งสนิท หลังจากแห้งสนิทแล้วนำออกจากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักมูลและปัสสาวะที่อบแห้งแล้วและบดใส่ขวดเก็บตัวอย่างไว้ โดยเก็บมูลและปัสสาวะที่ได้จากทั้ง 2 ครั้ง ไว้ในขวดเดียวกัน เก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ วิเคราะห์พลังงานรวม และปริมาณกรดแอมิโน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง กรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังสมการต่อไปนี้

1. ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่แท้จริง (ประภากร, 2535) มีสูตรดังนี้

การย่อยได้ของวัตถุแห้งที่แท้จริง (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\left(\begin{array}{c}\text{ปริมาณอาหารที่กิน} \\ \text{(DM)}\end{array}\right) - \left(\begin{array}{c}\text{ปริมาณมูลและปัสสาวะ} \\ \text{ของไก่ที่ได้รับอาหาร(DM)}\end{array} - \begin{array}{c}\text{ปริมาณมูลและปัสสาวะ} \\ \text{ของไก่ระยะอดอาหาร(DM)}\end{array}\right)}{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (DM)}} \times 100$$

2. ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ (Apparent metabolizable energy ; AME) (Sibbald, 1989) มีสูตรดังนี้

$$\begin{array}{c}\text{AME} \\ \text{(กิโลแคลอรี/กรัม)}\end{array} = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e)}{F_i}$$

3. ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen corrected apparent metabolizable energy ; $AME_n$) (Sibbald, 1989) มีสูตรดังนี้

$$\begin{array}{c}AME_n \\ \text{(กิโลแคลอรี/กรัม)}\end{array} = \frac{[(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e)] - (NR \times K)}{F_i}$$

4. ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True metabolizable energy ; TME) (Sibbald, 1989) มีสูตรดังนี้

$$\begin{array}{c}\text{TME} \\ \text{(กิโลแคลอรี/กรัม)}\end{array} = \frac{(F_i \times GE_f) - [(E \times GE_e) - (FE_m + UE_e)]}{F_i}$$

5. ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen corrected true metabolizable energy ; $TME_n$) (Sibbald, 1989) มีสูตรดังนี้

$$\underset{\text{(กิโลแคลอรี/กรัม)}}{TME_n} = \frac{[(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e) - (NR \times K)] + [(FE_m + UE_e) + (NR_0 \times K)]}{F_i}$$

เมื่อ $F_i$ คือ ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)

$E$ คือ ปริมาณมูลและปัสสาวะที่ถูกขับถ่ายออกมา (กรัม)

$GE_f$ คือ ค่าพลังงานรวมในอาหาร (กิโลแคลอรี/กรัม)

$GE_e$ คือ ค่าพลังงานรวมในมูลและปัสสาวะ (กิโลแคลอรี/กรัม)

$NR$ คือ ไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายของไก่ที่ได้รับอาหาร

$= (F_i \times N_f) - (E \times N_e)$

$FE_m+UE_e$ คือ ค่าพลังงานรวมในมูลและปัสสาวะที่ถูกขับถ่ายออกมาของไก่ระยะอดอาหาร (กิโลแคลอรี/กรัม)

$K$ คือ ค่าพลังงานรวมของไนโตรเจนในกรดยูริค เมื่อมีการสลายไนโตรเจนที่สะสมในร่างกาย 1 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.22 กิโลแคลอรี

$NR_0$ คือ ไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายของไก่ระยะอดอาหาร

$N_f$ คือ ปริมาณไนโตรเจนในอาหารต่อกรัมของอาหาร

$N_e$ คือ ปริมาณไนโตรเจนในมูลและปัสสาวะต่อกรัมของมูลและปัสสาวะ

6. ค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ (Apparent amino acid availability) (Likuski and Dorrell, 1978) มีสูตรดังนี้

$$\text{Apparent amino acid availability} = \frac{AA_c - AA_v}{AA_c} \times 100$$

7. ค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True amino acid availability) (Likuski and Dorrell, 1978) มีสูตรดังนี้

$$\text{True amino acid availability} = \frac{AA_c - (AA_v - AA_{vf})}{AA_c} \times 100$$

เมื่อ $AA_c$ คือ ปริมาณของกรดแอมิโนทั้งหมดในอาหารที่กินเข้าไป

$AA_v$ คือ ปริมาณของกรดแอมิโนทั้งหมดในมูลที่ถูกขับถ่ายออกมาของไก่ที่ได้รับอาหาร

$AA_{vf}$ คือ ปริมาณของกรดแอมิโนทั้งหมดในมูลที่ถูกขับถ่ายออกมาของไก่ระยะอดอาหาร

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดวิเคราะห์ในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**สถานที่ทำการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการที่ฟาร์มสัตว์ปีก และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

**ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง**

**1. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ**

ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยการวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีประมาณ วิเคราะห์แคลเซียม ฟอสฟอรัส พลังงานรวม และกรดแอมิโนในปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม แสดงในตารางที่ 2 และ 3

**ตารางที่ 2** ส่วนประกอบทางเคมีและพลังงานรวมของวัตถุดิบอาหารสัตว์

| | ปลาป่น | กากถั่วเหลือง | รำละเอียด | ข้าวโพด | น้ำมันปาล์ม |
|---|---|---|---|---|---|
| ส่วนประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) | | | | | |
| วัตถุแห้ง | 90.59 | 88.89 | 85.89 | 87.22 | 99.93 |
| โปรตีนรวม | 58.02 (64.04)[1] | 45.94 (51.68) | 13.13 (15.28) | 8.25 (9.45) | - |
| ไขมันรวม | 5.10 (5.63) | 1.97 (2.21) | 14.36 (16.72) | 3.15 (3.61) | 99.93 |
| เยื่อใยรวม | 0.84 (0.92) | 6.48 (7.29) | 7.64 (8.90) | 1.88 (2.15) | - |
| เถ้า | 24.85 (27.43) | 6.32 (7.11) | 9.12 (10.62) | 1.20 (1.37) | - |
| ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก | 1.78 (1.96) | 28.18 (31.70) | 41.64 (48.48) | 72.74 (83.40) | - |
| แคลเซียม | 6.22 (6.86) | 0.30 (0.33) | 0.07 (0.08) | 0.004 (0.005) | - |
| ฟอสฟอรัส | 2.97 (3.27) | 0.69 (0.77) | 2.13 (2.48) | 0.21 (0.24) | - |
| พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/กก.) | | | | | |
| -บนฐานของน้ำหนักแห้ง | 4,205 | 4,678 | 4,841 | 4,175 | 9,205 |
| -บนฐานของวัตถุแห้ง | 4,642 | 5,263 | 5,636 | 4,787 | 9,211 |

[1] ค่าในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

จากตารางที่ 2 พบว่า สามารถจำแนกประเภทของวัตถุดิบอาหารสัตว์ออกเป็นกลุ่มๆ คือ วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงาน ได้แก่ รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม ส่วนใหญ่ได้จากเมล็ดธัญพืช จะมีพลังงานที่สัตว์ย่อยได้สูง เนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งหรือน้ำตาล มีโปรตีนไม่เกินร้อยละ 20 และมีเยื่อใยไม่เกินร้อยละ 18 (จารุรัตน์, 2528) และวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน ได้แก่ ปลาป่นและกากถั่วเหลือง ซึ่งมีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 20 และมีเยื่อใยต่ำ (Church, 1986) จากการวิเคราะห์วัตถุดิบในการทดลองนี้ พบว่า รำละเอียดและข้าวโพด มีระดับโปรตีน คือ 15.28 และ9.45 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ส่วนปลาป่นและกากถั่วเหลือง มีระดับโปรตีน 64.04 และ 51.68

เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานรวมของวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่า น้ำมันปาล์ม มีค่าพลังงานรวมสูงที่สุด คือ 9,211 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม บนฐานของวัตถุแห้ง รองลงมาคือ รำละเอียด กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และปลาป่น ซึ่งเท่ากับ 5,636, 5,263, 4,787 และ 4,642 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม บนฐานของวัตถุแห้ง ตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานของ มาโนช (2544) ซึ่งรายงานว่า พลังงานรวมของน้ำมันปาล์มมีค่าสูงที่สุด คือ 9,435 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม บนฐานของวัตถุแห้ง รองลงมาคือ รำละเอียด กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และปลาป่น ซึ่งเท่ากับ 5,082, 4,743, 4,501 และ 4,425 กิโล-แคลอรี/กิโลกรัม บนฐานของวัตถุแห้ง ตามลำดับ

**ตารางที่ 3** ส่วนประกอบของกรดแอมิโนในวัตถุดิบอาหารสัตว์

| กรดแอมิโน | วัตถุดิบอาหารสัตว์ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ปลาป่น | กากถั่วเหลือง | รำละเอียด | ข้าวโพด |
| ไลซีน | 4.81 (5.31) | 2.81 (3.16) | 0.66 (0.77) | 0.26 (0.30) |
| ธรีโอนีน | 2.19 (2.42) | 1.69 (1.90) | 0.50 (0.58) | 0.34 (0.39) |
| เมทไธโอนีน | 1.87 (2.06) | 0.64 (0.72) | 0.29 (0.34) | 0.18 (0.21) |
| ซิสตีน | 0.53 (0.59) | 0.59 (0.66) | 0.30 (0.35) | 0.18 (0.21) |
| อาร์จีนีน | 3.92 (4.33) | 3.29 (3.70) | 1.07 (1.25) | 0.33 (0.38) |
| ไอโซลูซีน | 2.73 (3.01) | 2.09 (2.35) | 0.51 (0.59) | 0.26 (0.30) |
| ลูซีน | 4.85 (5.35) | 3.61 (4.06) | 1.03 (1.20) | 0.90 (1.03) |
| เฟนิลอะลานีน | 2.59 (2.86) | 2.35 (2.64) | 0.58 (0.68) | 0.47 (0.54) |
| ฮิสติดีน | 1.58 (1.74) | 1.32 (1.48) | 0.42 (0.49) | 0.25 (0.29) |
| วาลีน | 4.98 (5.50) | 2.22 (2.50) | 0.79 (0.92) | 0.40 (0.46) |
| กรดแอสพาร์ติก | 5.86 (6.47) | 5.17 (5.82) | 1.24 (1.44) | 0.51 (0.58) |
| ซีรีน | 2.40 (2.65) | 2.77 (3.12) | 0.50 (0.58) | 0.35 (0.40) |
| กรดกลูตามิก | 8.71 (9.61) | 8.42 (9.47) | 1.96 (2.28) | 1.51 (1.73) |
| ไกลซีน | 3.95 (4.36) | 2.01 (2.26) | 0.81 (0.94) | 0.35 (0.40) |
| อะลานีน | 3.68 (4.06) | 2.14 (2.41) | 0.81 (0.94) | 0.66 (0.76) |
| โพรลีน | 2.82 (3.11) | 2.31 (2.60) | 0.62 (0.72) | 0.66 (0.76) |
| รวม | 57.47 (63.44) | 43.43 (48.86) | 12.09 (14.08) | 7.61 (8.73) |

หมายเหตุ - ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

- ตัวเลขในวงเล็บเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

จากตารางที่ 3 พบว่า กรดแอมิโนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีน ได้แก่ ปลาป่นและกากถั่วเหลือง มีกรดแอมิโนสูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงาน ได้แก่ รำละเอียดและข้าวโพด โดยวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่เป็นแหล่งของพลังงานคือ รำละเอียด มีปริมาณกรดแอมิโนโดยรวม (14.08 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) สูงกว่าในข้าวโพด (8.73 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณกรดแอมิโนแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าในรำละเอียดมีปริมาณกรดแอมิโนทุกตัวสูงกว่าในข้าวโพด ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่เป็นแหล่งของโปรตีน คือ ปลาป่น มีปริมาณ กรดแอมิโนโดยรวม (63.44 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) สูงกว่าในกากถั่วเหลือง (48.86 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปลาป่นมีกรดแอมิโนไลซีน เมทไธโอนีน และธรีโอนีนสูงกว่า อย่างไรก็ตาม กากถั่วเหลืองจัดเป็นแหล่งของโปรตีนจากพืชที่ดีที่สุด เนื่องจากมีสัดส่วนของกรดแอมิโนเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ (สุวิทย์, 2532) ยกเว้นกรดแอมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของสัตว์ จึงจัดเป็นกรดแอมิโนจำกัดอันดับ 1 (พันทิพา, 2539)

**2. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางชีวภาพ**

ผลการประเมินปริมาณกรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง สมดุลไนโตรเจน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในไก่ แสดงผลดังตารางที่ 4, 5, 6 และ 7

**2.1 ค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณและค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง** ค่าการใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณของกรดแอมิโนและค่าการใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกรดแอมิโนของปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด และข้าวโพด แสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ค่าการใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณของกรดแอมิโนและค่าการใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกรดแอมิโนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ 4 ชนิด (% ของกรดแอมิโนทั้งหมด)

| กรดแอมิโน | วัตถุดิบอาหารสัตว์ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ปลาป่น | กากถั่วเหลือง | รำละเอียด | ข้าวโพด |
| ไลซีน | 95.33 (96.25) | 92.44 (94.01) | 74.15 (80.84) | 78.81 (95.80) |
| ธรีโอนีน | 94.72 (95.95) | 92.38 (93.97) | 79.53 (84.89) | 88.03 (95.91) |
| เมทไธโอนีน | 94.85 (99.45) | 100.00 (100.00) | 70.58 (100.00) | 100.00 (100.00) |
| ซิสตีน | 86.68 (100.00) | 100.00 (100.00) | 73.46 (100.00) | 82.70 (100.00) |
| อาร์จีนีน | 95.25 (96.04) | 96.09 (97.02) | 88.31 (91.18) | 89.84 (99.16) |
| ไอโซลูซีน | 94.12 (95.22) | 91.07 (92.51) | 72.12 (78.00) | 86.18 (97.71) |
| ลูซีน | 95.37 (96.28) | 91.98 (93.20) | 76.26 (80.54) | 93.61 (98.52) |
| เฟนิลอะลานีน | 93.56 (94.71) | 92.88 (94.16) | 75.48 (80.65) | 91.85 (98.22) |
| ฮิสติดีน | 93.91 (95.70) | 92.69 (94.84) | 79.69 (86.45) | 87.55 (98.90) |
| วาลีน | 96.00 (96.89) | 89.56 (91.55) | 74.08 79.67) | 86.23 (97.27) |
| กรดแอสพาร์ติก | 92.66 (93.80) | 93.28 (94.58) | 73.86 (79.26) | 84.50 (97.65) |
| ซีรีน | 96.26 (96.91) | 96.98 (97.55) | 86.35 (89.51) | 93.16 (97.66) |
| กรดกลูตามิก | 94.47 (95.59) | 94.27 (95.42) | 79.98 (84.93) | 92.07 (98.49) |
| ไกลซีน | 87.81 (90.97) | 79.51 (85.71) | 59.98 (75.36) | 63.05 (98.66) |
| อะลานีน | 92.32 (93.72) | 87.07 (89.47) | 71.21 (77.54) | 89.84 (97.61) |
| โพรลีน | 92.03 (93.65) | 92.48 (94.46) | 69.73 (77.11) | 89.48 (96.41) |
| เฉลี่ย | 87.96 (90.07) | 87.22 (88.73) | 70.87 (79.17) | 82.17 (92.23) |

หมายเหตุ - ตัวเลขนอกวงเล็บคือค่าการใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณของกรดแอมิโน
- ตัวเลขในวงเล็บคือค่าการใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกรดแอมิโน

จากตารางที่ 4 พบว่า วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีนมีค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณสูงกว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงาน ส่วนค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดสูงกว่าค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ เนื่องจากปริมาณกรดแอมิโนในมูลไม่ได้มีเฉพาะกรดแอมิโนที่มาจากอาหารเท่านั้น แต่จะมีกรดแอมิโนที่มาจากน้ำย่อยและผนังเซลล์ด้วย ดังนั้น เมื่อนำค่ากรดแอมิโนที่มาจากน้ำย่อยและผนังเซลล์มาหักออกจากมูล ทำให้ค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงมีค่าสูงขึ้นด้วย (พันทิพา, 2539) และเมื่อเปรียบเทียบค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณกับค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่

แท้จริง พบว่า ในวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน คือ ปลาป่นและกากถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันน้อยคือ 2.11 เปอร์เซ็นต์ และ 1.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับรำละเอียดและข้าวโพด ซึ่งมีค่า 8.30 เปอร์เซ็นต์ และ 10.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า ระดับความแตกต่างจะลดลงเมื่อสัตว์ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูง เนื่องจากปลาป่นและกากถั่วเหลืองมีความสมดุลของกรดแอมิโนดีกว่าในรำละเอียดและข้าวโพด ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Parsons และคณะ (1983) ที่รายงานว่าการให้สัตว์ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีปริมาณของกรดแอมิโนที่เพียงพอและมีความสมดุล จะลดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณและค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง

**2.2 การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง** การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งของไก่ที่ได้รับปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์มผสมข้าวโพด แสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณมูลและปัสสาวะ และการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งของไก่ที่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด

| วัตถุดิบอาหารสัตว์ | ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) | | ปริมาณมูลและปัสสาวะ[1] (กรัม) | | การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำหนักแห้ง | วัตถุแห้ง | น้ำหนักแห้ง | วัตถุแห้ง | |
| ไก่ระยะอดอาหาร | | | | | |
| -ก่อนป้อนวัตถุดิบ | - | - | 6.11 ± 1.12 | 5.50 ± 1.01 | - |
| -หลังป้อนวัตถุดิบชนิดสุดท้าย | - | - | 6.51 ± 1.42 | 5.74 ± 1.25 | - |
| เฉลี่ยไก่ระยะอดอาหาร | - | - | 6.31 ± 1.26 | 5.62 ± 1.11 | - |
| ปลาป่น | 40.00 | 36.23 | 25.68 ± 2.64 | 23.80 ± 2.44 | 49.82 |
| กากถั่วเหลือง | 40.00 | 35.55 | 25.74 ± 2.82 | 23.70 ± 2.59 | 49.14 |
| รำละเอียด | 40.00 | 34.35 | 22.75 ± 2.09 | 20.60 ± 1.89 | 56.39 |
| ข้าวโพด | 40.00 | 34.88 | 9.58 ± 1.15 | 8.79 ± 1.05 | 90.91 |
| น้ำมันปาล์ม+ข้าวโพด | 40.00 | 36.16 | 15.75 ± 2.98 | 14.53 ± 2.75 | 75.36 |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 5 พบว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานซึ่งได้แก่ รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์มผสมข้าวโพด มีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งได้แก่ ปลาป่นและกากถั่วเหลือง โดยที่ข้าวโพดมีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูงที่สุด (90.91 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ น้ำมันปาล์มผสมข้าวโพด(75.36 เปอร์เซ็นต์) รำละเอียด (56.39 เปอร์เซ็นต์) ปลาป่น (49.82 เปอร์เซ็นต์) และกากถั่วเหลือง (49.14 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่ง อุทัย (2529) กล่าวว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งที่แท้จริงของสัตว์ปีกขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆและคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของวัตถุดิบนั้นๆ อันได้แก่ ปริมาณเยื่อใย ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก และเถ้า สอดคล้องกับ Raharjo และ Farrell (1984) ที่รายงานว่าหากสัตว์ได้รับอาหารที่มีปริมาณของเยื่อใยสูง จะมีการดูดซับน้ำในขณะที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารเข้าไปรวมกับเยื่อใยมากขึ้น มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้นซึ่งจะทำให้อาหารบางส่วนไม่ถูกย่อย และ Jondreville (1994) รายงานว่า วัตถุดิบประเภทธัญพืชนั้น หากมีปริมาณเยื่อใยสูง ทำให้การย่อยได้ของโภชนะโดยเฉพาะโปรตีนลดลง เนื่องจากเยื่อใยในอาหารห่อหุ้มส่วนประกอบภายในเซลล์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถย่อยโภชนะได้ ส่งผลให้การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งมีค่าต่ำลง ดังนั้นจากผลการทดลอง รำละเอียดและกากถั่วเหลือง ซึ่งมีส่วนประกอบของเยื่อใยสูง (7.64 และ 6.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จึงมีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งน้อยลง ในขณะที่ข้าวโพดมีปริมาณเยื่อใยเพียง 1.88 เปอร์เซ็นต์ จึงมีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูง สำหรับปลาป่นนั้น ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณเยื่อใยน้อย (0.84 เปอร์เซ็นต์) แต่ก็มีปริมาณเถ้าสูง (24.85 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีผลไปขัดขวางการย่อยได้และการดูดซึมโภชนะ ทำให้ค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งลดลง (Muztar *et al.*, 1977 อ้างโดย ประพจน์, 2543) เมื่อพิจารณาไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก จะเห็นได้ว่าข้าวโพดมีปริมาณไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก 72.74 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้มีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูงที่สุด เนื่องจากไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล ซึ่งสัตว์ปีกสามารถย่อยได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น หากวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายสูง จะส่งผลให้วัตถุดิบชนิดนั้นมีค่าการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูงตามไปด้วย (Scott *et al.*, 1982)

**2.3 สมดุลไนโตรเจน** สมดุลไนโตรเจนของไก่ที่ได้รับปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียดข้าวโพด และน้ำมันปาล์มผสมข้าวโพด แสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** ปริมาณไนโตรเจนที่กิน ปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่าย และสมดุลไนโตรเจนของไก่ที่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด

| วัตถุดิบอาหารสัตว์ | ปริมาณไนโตรเจนที่กิน (กรัม) | | ปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่าย[1] (กรัม) | | สมดุลไนโตรเจน[2] |
|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำหนักแห้ง | วัตถุแห้ง | น้ำหนักแห้ง | วัตถุแห้ง | |
| ไก่ระยะอดอาหาร | | | | | |
| -ก่อนป้อนวัตถุดิบ | - | - | 1.283 ± 0.295 | 1.423 ± 0.327 | -1.423 ± 0.327 |
| -หลังป้อนวัตถุดิบชนิดสุดท้าย | - | - | 1.424 ± 0.382 | 1.613 ± 0.433 | -1.613 ± 0.433 |
| เฉลี่ยไก่ระยะอดอาหาร | - | - | 1.353 ± 0.340 | 1.518 ± 0.386 | -1.518 ± 0.386 |
| ปลาป่น | 3.712 | 4.097 | 3.260 ± 0.665 | 3.517 ± 0.718 | +0.580 ± 0.718 |
| กากถั่วเหลือง | 2.732 | 3.073 | 3.852 ± 0.551 | 4.182 ± 0.598 | -1.109 ± 0.598 |
| รำละเอียด | 0.828 | 0.964 | 1.965 ± 0.427 | 2.170 ± 0.472 | -1.206 ± 0.472 |
| ข้าวโพด | 0.536 | 0.614 | 1.236 ± 0.360 | 1.346 ± 0.392 | -0.732 ± 0.392 |
| น้ำมันปาล์ม+ข้าวโพด | 0.807 | 0.874 | 1.549 ± 0.281 | 1.678 ± 0.305 | -0.804 ± 0.305 |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[2] เครื่องหมาย – หมายถึงมีการสูญเสียไนโตรเจนออกจากร่างกาย
เครื่องหมาย + หมายถึงมีการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย

จากตารางที่ 6 พบว่า สมดุลไนโตรเจนของไก่ที่อดอาหาร ทั้งก่อนป้อนวัตถุดิบและหลังป้อนวัตถุดิบชนิดสุดท้าย มีค่าเป็นลบ เนื่องจากไก่ไม่ได้รับอาหารตลอด 48 ชั่วโมง จึงทำให้ร่างกายสลายเนื้อเยื่อเพื่อใช้เป็นพลังงาน ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนขับออกมามาก ส่วนไก่ในระยะป้อนวัตถุดิบชนิดต่างๆ พบว่า ค่าสมดุลไนโตรเจนของปลาป่นเป็นบวก เนื่องจากปลาป่นมีกรดแอมิโนที่จำเป็นสมดุลและเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงใช้กรดแอมิโนซึ่งมีในปริมาณที่สูงและสมดุลช่วยสังเคราะห์โปรตีน แต่เมื่อไก่ได้รับอาหารแหล่งโปรตีนจากพืชคือ กากถั่วเหลือง รำละเอียด และข้าวโพด ซึ่งขาดกรดแอมิโนที่จำเป็นบางชนิด โดยกากถั่วเหลืองขาดกรดแอมิโน

เมทไธโอนีน รำละเอียดขาดกรดแอมิโนไลซีน และทริพโตเฟน และข้าวโพดขาดกรดแอมิโนไลซีน เมทไธโอนีน และทริพโตเฟน (พานิช, 2535 และบุญล้อม, 2541) ซึ่งทำให้สมดุลไนโตรเจนมีค่าเป็นลบ แสดงว่าในวัตถุดิบอาหารมีกรดแอมิโนที่จำเป็นในปริมาณที่ไม่สมดุลและไม่เพียงพอต่อร่างกายสำหรับการดำรงชีพ ร่างกายจึงสลายโปรตีนจากเนื้อเยื่อภายในเพื่อใช้เป็นพลังงาน ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ไก่ขับถ่ายออกมาสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนที่กินเข้าไป และการที่ข้าวโพดมีสมดุลไนโตรเจน (-0.732) น้อยกว่ากากถั่วเหลือง (-1.109) ทั้งที่กากถั่วเหลืองมีปริมาณกรดแอมิโนดีกว่าและสมดุลกว่าข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวโพด มีปริมาณไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (72.74 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่ากากถั่วเหลือง ซึ่งไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย และให้พลังงานที่เพียงพอ จึงมีการสลายเนื้อเยื่อน้อย ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมาน้อยกว่า ส่งผลให้มีสมดุลไนโตรเจนต่ำกว่าไก่ที่ได้รับกากถั่วเหลือง การทดลองนี้สอดคล้องกับทรงยศ (2543) และมาโนช (2544) ซึ่งรายงานว่าไก่ที่ได้รับปลาป่นมีค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นบวกและสูงที่สุด ส่วนไก่ที่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นซึ่งได้แก่ กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์มผสมข้าวโพด มีค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ การศึกษาค่าสมดุลไนโตรเจนในการทดลองนี้ เพื่อนำไปใช้คำนวณค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ($AME_n$) และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ($TME_n$) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด

**2.4 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้** ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม แสดงในตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** ค่าพลังงานรวมและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด

| วัตถุดิบอาหารสัตว์ | พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/กก. ของวัตถุแห้ง) | พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้[1] (กิโลแคลอรี/กก.ของวัตถุแห้ง) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | AME | $AME_n$ | TME | $TME_n$ |
| ปลาป่น | 4,642 | 2,986 ± 256 | 2,971 ± 256 | 3,494 ± 256 | 3,479 ± 256 |
| | (4,205)[2] | (2,704 ± 232) | (2,691 ± 232) | (3,166 ± 232) | (3,152 ± 232) |
| กากถั่วเหลือง | 5,263 | 2,913 ± 300 | 2,910 ± 300 | 3,430 ± 300 | 3,427 ± 300 |
| | (4,678) | (2,588 ± 267) | (2,586 ± 267) | (3,050 ± 267) | (3,047 ± 267) |
| รำละเอียด | 5,636 | 3,303 ± 246 | 3,306 ± 246 | 3,839 ± 246 | 3,842 ± 246 |
| | (4841) | (2,837 ± 211) | (2,840 ± 211) | (3,299 ± 211) | (3,301 ± 211) |
| ข้าวโพด | 4,787 | 3,849 ± 118 | 3,847 ± 118 | 4,377 ± 118 | 4,374 ± 118 |
| | (4,175) | (3,357 ± 103) | (3,355 ± 103) | (3,819 ± 103) | (3,816 ± 103) |
| น้ำมันปาล์ม[3] | 9,211 | 8,008 ± 402 | 8,008 ± 402 | 8,470 ± 402 | 8,470 ± 402 |
| | (9,205) | (8,002 ± 401) | (8,002 ± 401) | (8,464 ± 401) | (8,464 ± 401) |
| ร้อยละของพลังงานรวม | | | | | |
| ปลาป่น | | 64.32 | 64.00 | 75.27 | 74.94 |
| | | (64.30) | (63.99) | (75.29) | (74.95) |
| กากถั่วเหลือง | | 55.35 | 55.29 | 65.17 | 65.11 |
| | | (55.32) | (55.28) | (65.19) | (65.13) |
| รำละเอียด | | 58.60 | 58.66 | 68.11 | 68.16 |
| | | (58.60) | (58.66) | (68.14) | (68.18) |
| ข้าวโพด | | 80.40 | 80.36 | 91.43 | 91.37 |
| | | (80.40) | (80.36) | (91.47) | (91.40) |
| น้ำมันปาล์ม | | 86.94 | 86.94 | 91.96 | 91.96 |
| | | (86.93) | (86.93) | (91.95) | (91.95) |

[1] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[2] ค่าในวงเล็บเป็นตัวเลขบนฐานของน้ำหนักแห้ง

[3] ค่าพลังงานของน้ำมันปาล์ม คำนวณโดยการนำค่าพลังงานของข้าวโพดหักลบออกจากค่าพลังงานของน้ำมันปาล์ม+ข้าวโพด

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม ทั้งที่อยู่ในรูปของ AME $AME_n$ TME และ $TME_n$ นั้น พบว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มที่เป็นแหล่งของพลังงานมีค่าเหล่านี้สูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มที่เป็นแหล่งของโปรตีน วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ให้ค่าสูงที่สุด คือ น้ำมันปาล์ม รองลงมาคือ ข้าวโพด รำละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง ตามลำดับ สอดคล้องกับทรงยศ (2543) และมาโนช (2544) ที่รายงานว่า น้ำมันปาล์มมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวโพด รำละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง การที่น้ำมันปาล์มมีค่าพลังงานสูงที่สุด เนื่องมาจากน้ำมันปาล์มมีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งไขมันจะให้พลังงานเป็น 2.25 เท่าของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน (เสาวนิต, 2538) จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีค่าพลังงานในทุกรูปสูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่น ส่วนข้าวโพดนั้นมีการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้งสูงสุด ( 90.91 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกสูงที่สุด (72.74 เปอร์เซ็นต์) ข้าวโพดจึงเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีส่วนประกอบของแป้งเป็นส่วนใหญ่ สัตว์ปีกสามารถย่อยได้ง่ายและสามารถใช้ประโยชน์จากพวกคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย ซึ่งได้แก่ แป้งและน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานได้ดีกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่งมีแป้งและน้ำตาลอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนของรำละเอียดแม้จะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงกว่าข้าวโพด แต่ก็มีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูงจึงทำให้มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าข้าวโพดแต่มีค่าสูงกว่าปลาป่นและกากถั่วเหลือง

จากการทดลองโดยสรุป พบว่า การย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุแห้ง และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงาน มีค่าสูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีน และค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณและค่ากรดแอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีน สูงกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงาน