

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้เครื่องชั่ง 2 ชนิด คือ
 - 1.1 ชนิดไฟฟ้า ขนาดชั่งได้ 3,110 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.01 ก. สำหรับชั่งตัวอย่างอาหารที่ใช้กรอกเข้าทางปากของไก่ และชั่งมูลสดในการหาค่าการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์
 - 1.2 ชนิดไฟฟ้า ขนาดชั่งได้ 160 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.001 ก. สำหรับชั่งตัวอย่าง (อาหารและมูล) ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) เพื่อใช้คำนวณหา ME และการย่อยได้
2. ตู้อบใช้สำหรับอบมูลไก่และตัวอย่างอาหารให้แห้ง
3. เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter (Model IKA 400 °C) สำหรับวิเคราะห์หาค่าพลังงานรวม (Gross energy) ในอาหารและมูล
4. เครื่องบดตัวอย่างอาหารและมูลไก่ ขนาดบดละเอียด 1 มม.
5. กรงขังเดี่ยว (metabolic cage) สำหรับศึกษาหาค่า ME และการย่อยได้ ใช้จำนวน 9 กรง โดยกรงดังกล่าวมีขนาด 43 x 36 x 51 ซม. ได้กรงมีถาดรองรับมูล ซึ่งเป็นถาดอะลูมิเนียม เมื่อต้องการบันทึกน้ำหนักมูลจะรองด้วยพลาสติกใสไว้เฉพาะของแต่ละกรง
6. ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บมูลไก่ โดยนำมูลไก่ใส่ถุงพลาสติกแช่แข็งเพื่อรอการอบแห้ง
7. ไก่ไข่เพศผู้โตเต็มที่ อายุประมาณ 6 เดือน ในการหาค่า ME และการย่อยได้ ใช้จำนวน 9 ตัว
8. เครื่องอัดเม็ดอาหารแบบเกลียวสว่านขนาดเล็ก คัดแปลงจากเครื่องบดหมูตามห้องตลาด ติดมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ใช้ในการอัดเม็ดกากมันสำปะหลังเพื่อใช้กรอกเข้าทางปากของไก่ (Force feeding) วิธีการอัดเม็ดทำได้ด้วยการเติมน้ำประมาณ 35 ส่วน ลงไปผสมกับกากมันสำปะหลังที่เป็นผง จากนั้นคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปป้อนเข้าเครื่องอัด (บดหมู) จะได้กากมันสำปะหลังออกมาเป็นแท่งยาว ใช้ไม้ มีด หรืออุปกรณ์อื่นๆ ตัดให้เป็นแท่งสั้นๆ ขนาดพอเหมาะประมาณ 1 ซม./ท่อน นำไปอบที่ 60 °ซ เป็นเวลา 2 วัน แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

การศึกษาในฟาร์มทดลอง (ไก่เนื้อ ไก่ไข่ และเป็ดไข่) ใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้เครื่องชั่ง 4 ชนิด คือ

1.1 ชนิดไฮดรอลิก ขนาดชั่งได้ 150 กก. มีความละเอียด 50 ก. สำหรับชั่งน้ำหนักอาหารและน้ำหนักตัวไก่เนื้อ น้ำหนักอาหารไก่ไข่และเป็ดไข่

1.2 ชนิดไฟฟ้า ขนาดชั่งได้ 160 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.001 ก. สำหรับชั่งอวัยวะภายในของไก่เนื้อและไก่ไข่

1.3 ชนิดสปริง ขนาดชั่งได้ 3 กก. มีความละเอียดอ่านได้ 10 ก. ซึ่งได้ดัดแปลงตรงจากรองรับน้ำหนักเป็นถาดรูปกรวย สำหรับให้ไก่เนื้อ ไก่ไข่และเป็ดไข่ สอดหัวลงไปได้ โดยใช้ชั่งน้ำหนักไก่หรือเป็ดเป็นรายตัว

1.4 ชนิดไฟฟ้า ขนาดชั่งได้ 3,110 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.01 ก. สำหรับชั่งวัตถุดิบชนิดที่ใช้บ่อยในสูตรอาหาร เช่น สารผสมล่วงหน้า (premix) ซึ่งเป็นพวกวิตามิน แร่ธาตุ และสารเสริมบางชนิด เกลือ เปลือกหอย และกรดอะมิโนดีแอล-เมทไธโอนีน และแอล-ไลซีน

1.5 เครื่องน้ำหนักไข่ไก่ ชนิดที่ดัดแปลงชั่งน้ำหนักไข่ในน้ำได้ เพื่อหาความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของฟองไข่ โดยชั่งไข่เป็นรายฟอง แล้วคำนวณด้วยสูตร

$$\text{ถ.พ.} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ในอากาศ}}{\text{น้ำหนักไข่ในอากาศ} - \text{น้ำหนักไข่ในน้ำ}}$$

2. คอกทดลอง

2.1 ไก่เนื้อ แบ่งเป็นคอกย่อยจำนวน 24 คอก มีพื้นที่ 6.6 ตารางเมตร/คอก คอกทั้งหมดอยู่ในโรงเรือนเดียวกัน

2.2 ไก่ไข่ เป็นชนิดกรงคืบแบบขังเดี่ยว มีจำนวน 252 ช่อง แต่ละช่องมีขนาด 24 x 40 x 36 ซม. จูไก่ได้ 1 ตัว ช่องทั้งหมดคอกอยู่ในโรงเรือนเดียวกัน

2.3 เป็ดไข่ เป็นคอกชนิดขังรวมแบบปล่อยพื้น มีจำนวน 18 คอก อยู่ในโรงเรือนเดียวกัน แต่ละคอกมีขนาด 4 x 6 เมตร มีอ่างน้ำอยู่บนส่วนยกพื้น (slat) เพื่อให้เป็ดได้กินอย่างเต็มที่และสำหรับจุ่มหัวว่ายน้ำเล่น ทำความสะอาดและเปลี่ยนน้ำใหม่ทุกวัน

3. อุปกรณ์ให้อาหารและน้ำ

3.1 ไก่เนื้อ ใช้ขวดใส่น้ำจำนวนคอกละ 2 ใบ และถังใส่อาหารคอกละ 2 ใบ

3.2 ไก่ไข่ ใช้รางน้ำและรางอาหารเป็นรางยาวตลอดแถว โดยรางน้ำอยู่ด้านบน ส่วนรางอาหารอยู่ด้านล่าง มีแผงกั้นระหว่างรางเพื่อป้องกันมิให้ไก่ข้ามมากินอาหารของกลุ่มอื่น

3.3 เปิดไข่ ใช้กะละมังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. ลึก 20 ซม. จำนวน 2 ใบต่อกอก ใบหนึ่งใช้สำหรับใส่หญ้าให้เปิดกิน โดยให้วันละ 40 ก.ต่อวันต่อตัว ส่วนอีกใบใช้ใส่อาหารให้เปิดกิน

4. หลอดไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ สำหรับให้ความอบอุ่นแก่ลูกไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-3 สัปดาห์

5. เครื่องผสมอาหารแบบเกลียวอน มีความจุ 60 กก. ต่อการผสม 1 ครั้ง เมื่อผสมเสร็จ แต่แต่ละครั้งจะทำการกวาดอาหารที่ค้างในเครื่องผสมออกจนหมด

6. พันธุ์สัตว์

6.1 ไก่เนื้อ ใช้ลูกไก่พันธุ์ AA707 อายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 1,200 ตัว สัปดาห์แรกเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดผลิตจากบริษัทมีโปรตีน 21%

6.2 ไก่ไข่ ใช้ไก่ลูกผสมพันธุ์อิซาบราวน์ (Isa-brown) อายุเริ่มทดลอง 50 สัปดาห์ จำนวน 252 ตัว

6.3 เปิดไข่ลูกผสมพันธุ์กาคีแคมป์เบลล์ (Khaki Campbell) อายุเริ่มทดลอง 50 สัปดาห์ จำนวน 270 ตัว

7. พัดเทียบสีไข่แดงของบริษัทโรช (Roche yolk colour fan) มีระดับความเข้มของสีตามความเข้มของไข่แดงตั้งแต่ เบอร์ 1 ถึง 15

8. เครื่องวัดความหนาเปลือกไข่ชนิดดิจิตอล มีความละเอียด 0.001 มม. วัดความหนาเปลือกไข่จากตรงกลางฟองไข่ 2 ตำแหน่ง โดยทำการลอกเชื้อหุ้มเปลือกไข่ออกก่อน จากนั้นจึงนำค่าความหนาจากทั้ง 2 ตำแหน่ง มาเฉลี่ย

9. เครื่องวัดความสูงไข่ขาว ยี่ห้อ TSS โดยวัดความสูงไข่ขาวบริเวณกึ่งกลางระหว่างขั้วทั้งสองและห่างจากไข่แดงประมาณ 1 ซม. เพื่อนำค่าความสูงไข่ขาวมาเทียบกับตาราง Haugh unit ของบริษัทเดียวกัน

10. เครื่องเกรดไข่ โดยจะเกรดเป็น 5 เบอร์ โดยเบอร์ 0 มีน้ำหนักมากกว่า 70 ก., เบอร์ 1 มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 65-70 ก., เบอร์ 2 มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 60-65 ก., เบอร์ 3 มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 55-60 ก. และ ไข่ที่มีน้ำหนักต่ำกว่าเบอร์ 3 คือ มีน้ำหนักน้อยกว่า 55 ก.

วิธีการทดลอง

กากมันสตาร์คที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำมันหอมระเหยของ บริษัทลานนาโปรดักส์ กากที่ได้ดังกล่าว ยังมีความชื้นค่อนข้างสูงมากประมาณ 77% จึงได้ทำให้แห้งโดยใช้วิธีการต่างกัน 3 วิธี คือ 1) อบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 °ซ ใช้เวลาประมาณ 2 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง 2) ตากแดดจนแห้งใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน และ 3) คั่วในกระทะที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 120-140 °ซ ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำกากมันสตาร์คแห้งดังกล่าวไปศึกษาต่อไป ดังนี้

การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การหาค่าประกอบทางเคมีของกากมันสตาร์ค

นำกากมันสตาร์คที่ทำแห้งทั้งสามชนิด คือ ชนิดตากแดด ชนิดคั่วในกระทะ และชนิดอบด้วยตู้อบไฟฟ้า รวมทั้งมูลไก่ บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. เพื่อวิเคราะห์หา

1.1 องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ (Proximate analysis; A.O.A.C., 1984 อ้างโดย บุญล้อม และ บุญเสริม, 2525)

1.2 ค่าพลังงานรวม (Gross energy, GE) ของกากมันสตาร์คชนิดตากแดด และชนิดคั่วในกระทะ รวมทั้งมูลไก่ โดยใช้เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter

การหาค่าการย่อยได้ (True digestibility; TD) และพลังงานใช้ประโยชน์ (ME)

ใช้ไก่ไขเพศผู้โตเต็มทียุวัย 6 เดือน จำนวน 9 ตัว นำมาเลี้ยงในกรงขังเดี่ยว (metabolic cage) ที่มีถาดรองรับมูลได้กรง ภาชนะใส่อาหารและใส่น้ำให้แยกกันเป็นรายตัว วิธีการศึกษาใช้วิธีการกรอกกากมันสตาร์คเข้าทางปากของไก่ (force feeding) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sibbald (1977 a; b) การศึกษาการย่อยได้ใช้เวลา 27 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงๆ ละ 9 วัน ส่วนการหาค่า ME ใช้เวลา 9 วัน (1 ช่วง) ใน 7 วันแรกของแต่ละช่วง ไก่ทุกตัวได้รับอาหารที่มีโปรตีนระดับ 16.5% ให้แบบกินเต็มที่มีเหมือนกันหมด เพื่อให้ไก่ได้ปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาพกรงรวมทั้งได้พักฟื้นจากการขนย้าย ซึ่งส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของสูตรอาหารแสดงในตารางภาคผนวก ข. ที่ 1 หลังจากนั้นไก่ทุกตัวจะถูกอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) เพื่อให้ขับถ่ายมูลจากอาหารเก่าออกให้หมด เมื่อครบกำหนดทำการแบ่งไก่เป็น 3 กลุ่มๆ ละ 3 ตัว กลุ่มที่ 1 และ 2 ให้ได้รับกากมันสตาร์คอัดเม็ดชนิดตากแดดและชนิดคั่วในกระทะ ปริมาณตัวละ 30 ก. ส่วนที่เหลืออีกกลุ่มอดอาหารต่อไปอีก 24 ชั่วโมง (รวมเป็น 48 ชั่วโมง) ในช่วง 24 ชั่วโมงหลังนี้ ทำการเก็บและบันทึกมูลของไก่ทุกตัว เพื่อนำไป

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานรวมต่อไป มูลที่ถ่ายออกจากไก่อกลุ่มที่ 3 (อดอาหาร) ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่ได้มาจากอาหารแต่มาจากร่างกาย (Endogenous loss) ซึ่งจะนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (TD) และ ME แท้จริง (True ME, TME) แต่ถ้าไม่นำค่า Endogenous loss ไปหักออกจากมูลไก่อของตัวที่ให้อาหาร ค่าที่คำนวณได้จะเป็น ME ปรากฏ (Apparent ME, AME)

สำหรับการหาค่าการย่อยได้ จะทำการศึกษาต่อไปอีกในช่วงที่ 2 และ 3 ซึ่งมีวิธีการ การจัดการเลี้ยงดูไก่และการเก็บมูลเช่นเดียวกับช่วงแรก เพียงแต่ทำการสลับตัวไก่ให้ไก่แต่ละตัวได้รับอาหารชนิดถัดไปจนในที่สุดไก่ทุกตัวได้รับอาหารทุกชนิดและถูกอดอาหารเหมือนกัน แผนการให้อาหารและวิธีการจัดตัวไก่ในแต่ละช่วงแสดงไว้ในตารางภาคผนวก ข. ที่ 2

มูลที่เก็บได้จากไก่แต่ละตัวนำไปใส่ถุงพลาสติก หลังจากบันทึกน้ำหนักสดแล้วนำไปแช่แข็ง เมื่อพร้อมจะทำการวิเคราะห์ นำมูลมาทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 2 วัน หรือ จนกว่าจะแห้ง บันทึกน้ำหนักมูลก่อนและหลังอบ สำหรับมูลไก่อของกลุ่มที่อดอาหารในแต่ละช่วง นำมาบดคลุกเคล้าให้เข้ากัน ส่วนมูลของไก่ตัวที่ได้รับการรอกอกกัมสตาร์ดทั้ง 2 ชนิด แยกบดเป็นรายตัว โดยบดผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 1 มม. ตัวอย่างอาหารและมูลดังกล่าวนำไปวิเคราะห์หา วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เชื้อใย เถ้า และ NFE เพื่อใช้คำนวณหาข้อได้ของโภชนาแต่ละชนิด ซึ่งใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$TD (\%) = \frac{(F_i \times \%NU_i) - [(E_r \times \%NU_r) - (E_f \times \%NU_f)]}{F_i \times \%NU_i} \times 100$$

เมื่อ	TD	=	ค่าการย่อยได้ของโภชนา
	F_i	=	ปริมาณกากัมสตาร์ดที่รอกเข้าทางปากของไก่ (g. DM)
	NU_i	=	ความเข้มข้นของโภชนาในกากัมสตาร์ดที่ให้ไก่ (% DM)
	E_r	=	ปริมาณมูลที่ถ่ายออกมา (g. DM)
	NU_r	=	ความเข้มข้นของโภชนาในมูล (% DM)
	E_f	=	ปริมาณมูลที่ถ่ายจาก ไก่ออดอาหาร (g DM)
	NU_f	=	ความเข้มข้นของโภชนาในมูลไก่ออดอาหาร(% DM)

สำหรับข้อมูลผลการวิเคราะห์และวิธีการคำนวณค่าการย่อยได้ แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ข. ที่ 3 และ 4, ตามลำดับ

ในกรณีของการหาค่า ME นำตัวอย่างมูลและอาหารที่ได้จากการเลี้ยงไก่ในช่วงที่ 1 ไปวิเคราะห์หาค่า GE จากนั้นคำนวณหาค่า AME และ TME โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{AME (kcal/g. DM)} = \frac{(\text{GE}_i \times \text{F}_i) - (\text{GE}_r \times \text{E}_r)}{\text{F}_i}$$

$$\text{TME (kcal/g. DM)} = \frac{(\text{GE}_i \times \text{F}_i) - [(\text{GE}_r \times \text{E}_r) - (\text{GE}_p \times \text{E}_p)]}{\text{F}_i}$$

เมื่อ GE_i = พลังงานรวมของอาหารที่ให้ไก่กิน (kcal/g. DM)

GE_r = พลังงานรวมของมูลไก่ตัวที่ได้รับอาหาร (kcal/g. DM)

GE_p = พลังงานรวมของมูลไก่ตัวอดอาหาร (kcal/g. DM)

F_i = ปริมาณอาหารที่ไก่กินเข้าไป (g. DM)

E_r = ปริมาณมูลไก่ตัวที่ได้รับอาหาร (g. DM)

E_p = ปริมาณมูลไก่ตัวอดอาหาร (g. DM)

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่า GE ของมูลและอาหาร วิธีการคำนวณค่า AME และ TME แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

การใช้กากมันสตาร์ดเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ปีก

ไก่เนื้อ

ใช้ไก่เนื้อพันธุ์ Arbor Acre 707 แบบคละเพศ อายุ 1 วัน จำนวน 1,200 ตัว ในช่วงไก่อายุ 7 วันแรก นำมาเลี้ยงและกกรวมกัน ให้ได้รับอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ด (21% โปรตีน) ที่ผลิตจากบริษัทเหมือนกัน จากนั้นแบ่งไก่ออกโดยสุ่มเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ (50 ตัว/ซ้ำ) แต่ละซ้ำเลี้ยงในคอกแบบปล่อยพื้นขนาด 6.6 ตารางเมตร ไก่ทุกตัวได้กินน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ อาหารทดลองเป็นอาหารผสมเองแบบผง มีส่วนผสมของกากมันสตาร์ด 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทำให้แห้งด้วยการตากแดดและชนิดคั่วในกะทะ ในสูตรอาหารระดับ 10, 20 หรือ 30% ซึ่งเทียบเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองระดับ 21, 42 หรือ 64%; 26, 52 หรือ 78% และ 31, 62 หรือ 94% ในช่วงไก่อายุ 2-3, 4-6 และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนอาหารทดลองที่เหลืออีก 2 สูตร เป็น สูตรอาหารควบคุมที่ไม่มีการใช้กากมันสตาร์ด และสูตรที่ให้ไก่ได้เลือกกิน (free choice) ระหว่างกากมันสตาร์ดชนิดที่ทำให้แห้งด้วยการคั่วในกะทะและอาหารควบคุม โดยมีภาชนะใส่อาหารแต่ละชนิด แยกออกจากกัน ไก่มีโอกาสได้เลือกกินอย่างอิสระ

อาหารทดลองของไก่เนื้อทุกกลุ่ม แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะไก่อายุ 2-3, 4-6 และ 7 สัปดาห์ ในแต่ละระยะมีโปรตีนระดับ 21, 19 และ 17% เท่ากันทุกกลุ่ม และมี ME เท่ากับ 3.15

กิโกลแคลอรี/ก. เหมือนกันทุกระยะ ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองทั้ง 3 ระยะ แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-6

ไก่ไข่

ใช้ไก่ไข่ลูกผสมพันธุ์ช่าบราวน์ (Isa-brown) จำนวน 252 ตัว อายุเริ่มทดลอง 50 สัปดาห์ หรือไข่มาแล้วประมาณ 28 สัปดาห์ แบ่งไก่ออกโดยสุ่มเป็น 7 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ (จำนวนไก่ 12 ตัว/ซ้ำ) เลี้ยงบนกรงตีแบบชั้นเดียว ช่องละตัว มีรางอาหารอยู่ด้านหน้า รางน้ำอยู่ด้านบนของกรง ในแต่ละซักรางอาหารถูกกั้นแยกออกจากกันด้วยแผงกั้นเพื่อป้องกันมิให้ไก่กลุ่มอื่นเข้ามากินอาหาร ส่วนรางน้ำยาวติดต่อกันตลอดทั้งแถว ไก่มีน้ำ-อาหารกินตลอดเวลา และได้รับแสงสว่างวันละ 16 ชั่วโมง อาหารทดลองที่แม่ไก่ได้รับเป็นอาหารแบบผง ผสมเองที่มีส่วนผสมของกากมันสำปะหลัง 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทำให้แห้งด้วยการตากแดด และชนิดคั่วในกะทะ ในสูตรอาหารระดับ 10, 20 และ 30% หรือเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองระดับ 31, 63 และ 94% เปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุมที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลัง อาหารทดลองของไก่ไข่ทุกกลุ่ม มีโปรตีนระดับ 16% และ ME เท่ากับ 2.8 กิโกลแคลอรี/ก. เหมือนกันหมด ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาการของสูตรอาหารทดลองไก่ไข่ แสดงไว้ในตารางที่ 7

เป็ดไข่

ใช้เป็ดไข่พันธุ์ลูกผสมกาคีแคมป์เบลล์ (Khaki Campbell) จำนวน 270 ตัว อายุเริ่มทดลอง 50 สัปดาห์ หรือไข่มาแล้วประมาณ 28 สัปดาห์ แบ่งออกโดยสุ่มเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ (จำนวน 15 ตัว/ซ้ำ) เลี้ยงในคอกแบบปล่อยพื้นขนาด 4 x 6 ตารางเมตร มีภาชนะใส่อาหารคอกละใบ และอ่างน้ำซึ่งอยู่บนส่วนยกพื้นของแต่ละคอก อ่างน้ำนี้มีไว้เพื่อให้เป็ดได้กินและสำหรับว่ายน้ำหรือจุ่มหัว ทำความสะอาดและเปลี่ยนน้ำใหม่ทุกวัน นอกจากนี้ยังให้หญ้าสดปริมาณ 40 ก./ตัว/วัน และให้แสงสว่าง 16 ชั่วโมงต่อวัน

อาหารทดลองเป็นแบบผงผสมเองที่มีส่วนผสมของกากมันสำปะหลังชนิดทำแห้งด้วยการตากแดดในสูตรอาหารระดับ 0, 10, 20 และ 30% หรือเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองระดับ 0, 28, 55 และ 83% ตามลำดับ ส่วนที่เหลืออีก 2 กลุ่ม ให้เป็ดได้เลือกกิน (free choice) ระหว่างกากมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มเดือดเป็นเวลา 15 นาที หรือกากมันสำปะหลังแบบไม่ต้มกับอาหารควบคุม (กลุ่มที่ 1) อาหารทดลองทุกกลุ่มกำหนดให้มีโปรตีน 16% และ ME เท่ากับ 2.5 กิโกลแคลอรี/ก. ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองเป็ดไข่แสดงดังตารางที่ 8

อย่างไรก็ดี เมื่อทดลองไปได้ระยะหนึ่ง พบว่าเปิดไม่ยอมเลือกกินกากมันสตาร์ด จึงได้เปลี่ยนจากที่ให้เปิดเลือกกินอย่างอิสระมาเป็นการคลุกกากมันสตาร์ด (ต้มหรือไม่ต้ม) กับอาหารควบคุม โดยแบบไม่ผ่านการต้มใช้อัตราส่วนระหว่างกรกมันสตาร์ดสด : น้ำ : อาหารควบคุม เท่ากับ 2 : 1 : 3 ส่วนวิธีต้มใช้กากมันสตาร์ดสดจำนวน 2 กก. เติมน้ำ 2 กก. (อัตราส่วน 1 : 1) ต้มนับจากเดือดเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้หนึ่งคืน เมื่อนำไปคลุกผสมกับอาหารควบคุมให้ทำการปรับน้ำหนักกากมันสตาร์ดต้มเป็น 3 กก. ซึ่งปรกติจะเหลือน้อยกว่า 3 กก. เพื่อคลุกกับอาหารควบคุมจำนวน 3 กก. เช่นกัน

งานทดลองส่วนการใช้กากมันสตาร์ดเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ปีกนี้ กระทำที่ฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการศึกษาในไก่เนื้อใช้เวลา 7 สัปดาห์ เริ่มจากเดือน กุมภาพันธ์-เมษายน 2543 ส่วนไก่ไข่และเป็ดไข่ใช้เวลา 3 และ 4 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 28 วัน (รวม 84 และ 112 วัน) เริ่มจากเดือน มิถุนายน-สิงหาคม 2543 และ มิถุนายน-กันยายน 2543 ตามลำดับ ในการทดลองไก่เนื้อ ข้อมูลด้านอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่กินทำการบันทึกทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนระดับโปรตีนในสูตรอาหาร ส่วนข้อมูลด้านการผลิตไข่และปริมาณอาหารที่กินของไก่ไข่และเป็ดไข่ บันทึกในวันสุดท้ายของแต่ละช่วง คุณภาพไข่ทั้งน้ำหนักไข่และจำนวนไข่แต่ละเบอร์ (เกรด, น้ำหนัก) บันทึกจากจำนวนไข่ทุกฟองใน 3 วันสุดท้าย (วันที่ 26, 27 และ 28) ของแต่ละช่วง สำหรับคุณภาพไข่ ด้านค่า Haugh unit ความหนาเปลือกไข่ และสีไข่แดง ของไก่ไข่ บันทึกจากจำนวนไข่ 2 ฟอง ของแต่ละเช้าใน 3 วัน สุดท้ายของแต่ละช่วง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของไก่ไข่และเป็ดไข่ บันทึกเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ส่วนอัตราการตายและอาการผิดปกติ บันทึกทุกครั้งที่เกิดขึ้น แล้วรายงานผลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในกรณีไก่เนื้อได้สุ่มไก่แบบแยกเพศจำนวนเพศละ 2 ตัว/เช้า เพื่อมาแบบตัดเส้นเลือดดำที่คอ บันทึกคุณภาพซาก (เปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักตับ ตับอ่อน และไขมันในช่องท้อง) และน้ำหนักต่อมไทรอยด์ ส่วนไก่ไข่ ทำการสุ่มแม่ไก่จำนวนเช้าละตัว (3 ตัว/กลุ่ม) เพื่อบันทึกอวัยวะภายใน อันประกอบด้วยหัวใจ ตับ ตับอ่อน ไต ม้าม และไขมันในช่องท้อง และขนาดของต่อมไทรอยด์

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลจากการศึกษาหาค่า ME และการย่อยได้ นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชนิดของกากมันฝรั่ง (ตากแดด vs. ต้ว) ด้วย t-test ส่วนข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ ไก่ไข่ เป็ดไข่ อวัยวะภายในไก่ไข่ และต่อมไทรอยด์ไก่ไข่ นำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ด้วยแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (Steel and Torrie, 1984) และหาลำดับความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's new multiple range test (Duncan, 1955) สำหรับข้อมูลคุณภาพซากอวัยวะภายใน และต่อมไทรอยด์ ของไก่เนื้อวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยนำเพศเข้ามาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized block design โดยใช้เพศเป็น block (Steel and Torrie, 1984) และหาลำดับความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's new multiple range test (Duncan, 1955)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติดังกล่าวข้างต้นได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (มนต์ชัย, 2537 และ 2538)

ตารางที่ 4. ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารไก่เนื้อช่วงอายุ 7-21 วัน

ชนิดกากมีสตาร์ค		ตากแดด			คั่วในกะทะ		
		0	10	20	30	10	20
กากมีสตาร์คในอาหาร (%)	0	10	20	30	10	20	30
กากมีสตาร์คแทนที่ SBM (%)	0	21	42	64	21	42	64
ชนิดวัตถุดิบ :							
ข้าวโพด	49.31	45.48	41.69	37.86	44.74	40.18	35.61
กากถั่วเหลือง (44% CP)	27.25	21.46	15.66	9.86	21.47	15.69	9.91
กากมีสตาร์ค ^{1/}	-	10.00	20.00	30.00	10.00	20.00	30.00
น้ำมันรำ	4.72	4.55	4.37	4.20	5.28	5.84	6.39
ไคแคลเซียมฟอสเฟต	0.79	0.73	0.66	0.60	0.73	0.67	0.61
เปลือกหอย	1.09	0.99	0.90	0.81	0.99	0.90	0.81
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.16	0.15	0.13	0.12	0.15	0.13	0.12
แอล-ไลซีน	0.18	0.14	0.09	0.05	0.14	0.09	0.05
ฟอสฟอรัส ^{2/}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ส่วนผสมคงที่ ^{3/}	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพใช้เลี้ยง)							
โปรตีน	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
เยื่อใย	5.17	5.70	6.24	6.78	5.70	6.23	6.77
ไขมัน	8.44	9.78	11.12	12.46	10.78	13.13	15.47
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
ไลซีน	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
เมทไธโอนีน	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
เมทไธโอนีนรวมซิสทีน	0.78	0.77	0.77	0.76	0.77	0.77	0.76

^{1/} โปรตีน ไขมัน เยื่อใย (%) and ME (กิโลแคลอรี/ก.) ของกากมีสตาร์คชนิดตากแดดเท่ากับ 28.90, 17.07, 11.34 และ 2.724, ส่วนของกากมีสตาร์คคั่วในกะทะเท่ากับ 29.50, 20.04, 11.56 และ 2.328, ตามลำดับ

^{2/} ไวตามินและแร่ธาตุมีหน่วยเป็น ก. (ยกเว้นที่ระบุ): ไวตามินเอ 1.2 MIU; ไวตามินดี, 0.2 MIU; ไวตามินอี 1.2; ไวตามินเค, 0.15; ไวตามินบี₁, 0.15; ไวตามินบี₂, 0.4; ไวตามินบี₃, 0.2; ไวตามินบี₆, 0.0015; กรดแพนโททินิก 1.0; ไนอาซีน 1.5; กรดโฟลิก 0.05; ไบโอติน 0.003; โคลิน คลอไรด์ 15.0; ซีลีเนียม 0.0085; เหล็ก 3.0; แมงกานีส 6.0; สังกะสี 6.0; ทองแดง 0.6; โคบอลต์ 0.004; ไอโอดีน 0.04; สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ 0.625; สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ 2.5

^{3/} รำละเอียด ปลายป่น (57% CP) และเกลือ ใช้ 10.00, 6.00 และ 0.25 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 5. ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารไก่เนื้อช่วงอายุ 22-42 วัน

ชนิดกากมีสตาร์ต		ตวกแตก			ถั่วโนกะทะ		
กากมีสตาร์ตในอาหาร (%)	0	10	20	30	10	20	30
กากมีสตาร์ตแทนที่ SBM (%)	0	26	52	78	26	52	78
ชนิดวัตถุดิบ :							
ข้าวโพด	54.53	50.74	64.90	43.12	49.97	45.40	40.84
กากถั่วเหลือง (44% CP)	22.40	16.60	10.81	5.00	16.62	10.84	5.06
กากมีสตาร์ต ^{1/}	-	10.00	20.00	30.00	10.00	20.00	30.00
น้ำมันรำ	3.62	3.44	3.27	3.08	4.18	4.73	5.29
ไคแคลเซียมฟอสเฟต	0.70	0.63	0.57	0.51	0.64	0.58	0.52
เปลือกหอย	1.05	0.95	0.86	0.76	0.95	0.86	0.76
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.08	0.06	0.05	0.03	0.06	0.05	0.03
แอล-ไลซีน	0.12	0.08	0.04	-	0.08	0.04	-
พรีมิกซ์ ^{2/}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ส่วนผสมคงที่ ^{3/}	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพใช้เลี้ยง)							
โปรตีน	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
เยื่อใย	5.17	5.71	6.24	6.78	5.70	6.24	6.77
ไขมัน	7.66	9.00	10.34	11.67	10.01	12.35	14.69
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ไลซีน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
เมทไธโอนีน	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
เมทไธโอนีนรวมซีสทีน	0.64	0.63	0.62	0.62	0.63	0.62	0.61

^{1/2/} เช่นเดียวกับตารางที่ 4.

^{3/} รำละเอียด ปลาป่น (57% CP) และเกลือใช้เท่ากับ 12.00, 5.00 และ 0.25 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 6. ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 43-49 วัน

ชนิดกากมันสำปะหลัง		ตากแดด			คั่วในกะทะ		
		10	20	30	10	20	30
กากมันสำปะหลังในอาหาร (%)	0	10	20	30	10	20	30
กากมันสำปะหลังแทนที่ SBM (%)	0	31	62	94	31	62	94
ชนิดวัตถุดิบ :							
ข้าวโพด	60.96	57.14	53.33	49.50	56.39	51.84	47.26
กากถั่วเหลือง (44% CP)	18.50	12.70	6.91	1.11	12.72	6.94	1.16
กากมันสำปะหลัง ^{1/}	-	10.00	20.00	30.00	10.00	20.00	30.00
น้ำมันรำ	2.66	2.49	2.32	2.15	3.22	3.78	4.34
ไคแคลเซียมฟอสเฟต	0.69	0.63	0.56	0.50	0.63	0.56	0.50
เปลือกหอย	1.02	0.92	0.83	0.73	0.92	0.83	0.73
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.05	0.04	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01
แอล-ไลซีน	0.12	0.08	0.03	-	0.08	0.03	-
พรีมิกซ์ ^{2/}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ส่วนผสมคงที่ ^{3/}	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพที่ใช้เลี้ยง)							
โปรตีน	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
เยื่อใย	5.05	5.59	6.12	6.66	5.59	6.12	6.65
ไขมัน	6.79	8.12	9.47	10.82	9.13	11.48	13.82
แคลเซียม	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
ไลซีน	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
เมทไธโอนีน	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
เมทไธโอนีนรวมซิสทีน	0.56	0.55	0.55	0.54	0.55	0.55	0.54

^{1/2} เช่นเดียวกับตารางที่ 4

^{3/} รำละเอียด ปลาป่น (57% CP) และเกลือใช้เท่ากับ 12.00, 3.50 และ 0.25 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 7. ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารไก่ไข่ช่วงอายุ 50-62 สัปดาห์

ชนิดกากมีสตาร์ต		ตากแดด			ตัวในกะทะ		
		0	10	20	30	10	20
กากมีสตาร์ตในอาหาร (%)	0	10	20	30	10	20	30
กากมีสตาร์ตแทนที่ SBM (%)	0	31	63	94	31	63	94
ชนิดวัตถุดิบ :							
ข้าวโพด	57.16	53.34	49.52	45.70	52.60	48.02	43.45
กากถั่วเหลือง (44% CP)	18.42	12.62	6.83	1.03	12.64	6.86	1.08
กากมีสตาร์ต ^{1/}	0.00	10.00	20.00	30.00	10.00	20.00	30.00
น้ำมันรำ	0.52	0.35	0.17	0.00	1.08	1.64	2.20
ไคแคลเซียมฟอสเฟต ^{2/}	0.88	0.82	0.76	0.70	0.82	0.76	0.70
เปลือกหอย	7.89	7.80	7.70	7.61	7.79	7.70	7.60
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.11	0.09	0.08	0.06	0.09	0.08	0.07
แอล-ไลซีน	0.12	0.08	0.04	0.00	0.08	0.04	0.00
พรีมิกซ์ ^{3/}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ส่วนผสมคงที่ ^{4/}	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพใช้เลี้ยง)							
โปรตีน	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
เยื่อใย	4.89	5.43	5.96	6.5	5.42	5.96	6.49
ไขมัน	4.44	5.78	7.12	8.46	6.78	9.12	11.47
แคลเซียม	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
ไลซีน	0.8	0.8	0.8	0.81	0.8	0.8	0.81
เมทไธโอนีน	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
เมทไธโอนีนรวมซิสทีน	0.58	0.57	0.57	0.56	0.57	0.56	0.56

^{1/} เช่นเดียวกับตารางที่ 4 ^{2/} 18%P

^{3/} ไวตามินและแร่ธาตุมีหน่วยเป็น ก. (ยกเว้นที่ระบุ): ไวตามินเอ 1.2 MIU; ไวตามินดี₃ 0.24 MIU; ไวตามินอี 0.8; ไวตามินเค₃ 0.20; ไวตามินบี₁ 0.01; ไวตามินบี₂ 0.40; ไวตามินบี₆ 0.30; ไวตามินบี₁₂ 0.001; กรดแพนโททีนิก 0.95; ไนอาซิน 1.50; กรดโฟลิก 0.05; ไบโอดีน 0.009; ซีลีเนียม 0.001; เหล็ก 6; แมงกานีส 6; สังกะสี 4; ทองแดง 0.6; ไอโอดีน 0.035; สารลดอนุมูลอาหารสัตว์ 0.625; สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ 2.5

^{4/} รำละเอียด ปลาป่น (57% CP) และ เกลือ ใช้เท่ากับ 12.00, 2.40 และ 0.25 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 8. ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารเปิดไข่ช่วงอายุ 50-66 สัปดาห์

กากมันต์คาร์ดในอาหาร (%)	0	10	20	30
กากมันต์คาร์ดแทนที่ SBM (%)	0	28	55	83
ชนิดวัตถุดิบ :				
ปลายข้าว	40.41	36.50	32.59	28.68
รำหยาบ	15.44	15.44	15.44	15.44
กากถั่วเหลือง (44% CP)	21.28	15.38	9.48	3.58
กากมันต์คาร์ดแห้ง ^{1/}	-	10.00	20.00	30.00
น้ำมันรำ	1.23	1.20	1.17	1.14
ไคแคลเซียมฟอสเฟต(18%P)	0.99	0.92	0.84	0.76
เปลือกหอย	7.14	7.06	6.98	6.90
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.01	-	-	-
พรีมิกซ์ ^{2/}	0.25	0.25	0.25	0.25
ส่วนผสมคงที่ ^{3/}	13.25	13.25	13.25	13.25
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพที่ใช้เลี้ยง)				
โปรตีน	16.00	16.00	16.00	16.00
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	2.50	2.50	2.50	2.50
เยื่อใย	9.25	9.87	10.50	11.12
ไขมัน	3.50	5.09	6.68	8.27
แคลเซียม	3.20	3.20	3.20	3.20
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.35	0.35	0.35	0.35
ไลซีน	0.88	0.91	0.94	0.97
เมทไธโอนีน	0.30	0.30	0.31	0.32
เมทไธโอนีนรวมซีสทีน	0.54	0.53	0.53	0.54

^{1/} โปรตีน ไขมัน เยื่อใย (%) and ME (กิโลแคลอรี/ก.) ของกากมันต์คาร์ดแห้งเท่ากับ 28.90, 17.07, 11.34 และ 2.724

^{2/} เช่นเดียวกับตารางที่ 7

^{3/} รำละเอียด ปลาป่น (57% CP) และ เปลือก ไข่เท่ากับ 10.00, 3.00 และ 0.25 กก. ตามลำดับ