

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำผลจากการศึกษาส่วนแรกไปทดลองเลี้ยงในฟาร์มสัตว์ปีก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดไฟฟ้า มี 2 ขนาด คือ
 - 1.1 ขนาดชั่งได้สูงสุด 12,000 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.1 ก. สำหรับชั่งมูลสดในการหาค่า ME
 - 1.2 ขนาดชั่งได้สูงสุด 220 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.0001 ก. สำหรับชั่งตัวอย่าง (อาหารและมูล) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis)
2. ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บมูลไก่ โดยนำมูลไก่ใส่ถุงพลาสติกแช่แข็งเพื่อรอกอบแห้ง
3. ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)
4. โถอบแห้ง (desiccator) ที่บรรจุซิลิกาเจล (silica gel)
5. เตาเผา (muffle furnace)
6. ช้อนตักสาร (spatula)
7. แท่งแก้ว (glass rod)
8. ปิเปตอัตโนมัติ (autopipette)
9. เครื่องบดตัวอย่างอาหารและมูลไก่ ขนาดบดละเอียด 1 มม.
10. เครื่องย่อย (digestion apparatus) และเครื่องกลั่น (distillation apparatus)
11. เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)
12. เครื่องหาเชื้อใย (crude fiber apparatus) และปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)
13. เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานรวม (Ballistic bomb calorimeter)
14. เครื่องทำตัวอย่างให้แห้งอุณหภูมิต่ำกว่าความดัน (freeze dryer)
15. เครื่องระเหยสารควบคุมความดัน (rotary evaporation)

16. เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (centrifuge)
17. เครื่องเขย่าสารความถี่สูง (sonicate)
18. เครื่องนึ่งความดัน (autoclave)
19. เครื่องผสมสาร (vortex mixer)
20. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)
21. คอลัมน์ชนิด reversed phase column; Ultra C18 ขนาด 250×4.6 มม. (LiChrospher 100, end-capped 5 มค.ม.) ยี่ห้อ Restek

ส่วนฟาร์มทดลอง ประกอบด้วย

การหาค่า ME และการย่อยได้

1. กรงขังเดี่ยว (metabolic cage) สำหรับการศึกษาค่า ME และการย่อยได้ กรงมีขนาด 43×36×51 ซม. ได้กรงมีถาดรองรับมูลซึ่งเป็นถาดอะลูมิเนียม รองด้วยพลาสติกใส
2. ไก่พันธุ์ไข่เพศผู้โตเต็มที่ อายุประมาณ 4 เดือน จำนวน 24 ตัว
3. กระบอกฉีดยา (syringe) และสายยาง เพื่อสอดไปที่กระเพาะพัก (crop) ของไก่ทดลอง
4. เครื่องชั่งชนิดไฟฟ้า ขนาดชั่งได้สูงสุด 3,110 ก. มีความละเอียดอ่านได้ 0.01 ก. สำหรับชั่งตัวอย่างอาหารที่ใช้กรอกปากไก่

การศึกษาในไก่เนื้อ

1. ไก่เนื้อสายพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์ (Arbor acre) เพศผู้ อายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 1,400 ตัว
2. คอกทดลองแบบปล่อยพื้น ขนาดคอกละ 1.5×4.0 ตร.ม. จุไก่เนื้อคอกละ 70 ตัว มีจำนวน 20 คอก อยู่ในโรงเรือนเดียวกัน ซึ่งเป็นโรงเรือนปิด ใช้ระบบการระเหยน้ำ (Evaporative cooling system)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักมี 3 ชนิด คือ
 - 3.1 แบบไฮดรอลิก ขนาดชั่งได้สูงสุด 150 กก. ความละเอียดอ่านได้ 50 ก. สำหรับชั่งน้ำหนักอาหาร และน้ำหนักไก่

- 3.2 แบบสปริง ใช้ซังไก่ โดยตัดแปลงตรงจากรองให้เป็นกรวยสำหรับใส่ไก่แต่ละตัว ขนาดซังได้สูงสุด 3.0 กก. ความละเอียดอ่านได้ 10 ก.
- 3.3 แบบไฟฟ้า ขนาดซังได้สูงสุด 3,110 ก. ความละเอียดที่อ่านได้ 0.01 ก. สำหรับซังสารผสมล่วงหน้า ซึ่งได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ เกลือ ไคแคลเซียมฟอสเฟต กรดอะมิโน (ดีแอล-เมทไธโอนีน และแอล-ไลซีน)
4. เครื่องผสมอาหารสัตว์ แบบนอน (horizontal mixer) ขนาดผสมได้สูงสุดครั้งละ 100 กก.
5. ถังใส่อาหารพร้อมฝาปิด ขนาดบรรจุอาหารได้ถึงละ 10 กก.
6. ภาชนะใส่น้ำขนาด 2 ลิตร ใช้ในช่วงอายุ 1-2 สัปดาห์ หลังจากนั้นใช้รางน้ำอัตโนมัติแบบหยด และภาชนะใส่อาหารแบบเขวน จำนวนคอกละ 3 ใบ
7. เครื่องกกลูกไก่ (hired hand heater) สำหรับให้ความอบอุ่นแก่ลูกไก่ในระยะกก ซึ่งจะเลิกใช้เมื่อไก่เนื้อมีอายุ 4 สัปดาห์

การศึกษาในไก่ไข่

1. ไก่ไข่ลูกผสมพันธุ์ชัวร์บราวน์ (Isa Brown) อายุ 24 สัปดาห์ จำนวน 240 ตัว
2. กรงคืบ แบบขังเดี่ยวชั้นเดียว ขนาดช่องละ 24×40×36 ซม. จำนวน 240 ช่องสำหรับใส่ไก่ไข่ ตั้งแต่เริ่มจนถึงเสร็จสิ้นการทดลอง
3. รางน้ำและรางอาหาร ลักษณะเป็นรางยาวตลอดแถว ซึ่งแต่ละแถวมีกรงไก่อยู่จำนวน 108 ช่อง ส่วนของรางอาหารจะทำแผ่นไม้กั้นแยกออกจากกันในแต่ละซ้าเพื่อกันไม่ให้ไก่ข้ามไปกินอาหารของกลุ่มอื่น ส่วนรางน้ำอยู่ตรงกลางด้านบนของ 2 แถวที่หันหลังชนกัน เพื่อใช้ร่วมกันยาวตลอดทั้งแถว
4. เครื่องชั่งน้ำหนักมี 2 ชนิด คือ
 - 4.1 แบบสปริง ใช้ซังไก่โดยตัดแปลงตรงจากรองให้เป็นกรวยสำหรับใส่ไก่เพื่อชั่งเป็นรายตัว ขนาดซังได้สูงสุด 3 กก. ความละเอียดอ่านได้ 10 ก. และเครื่องชั่งชนิดซังได้สูงสุด 60 กก. สำหรับชั่งอาหาร ซึ่งชั่งปีนรายซ้า
 - 4.2 แบบใช้ไฟฟ้า ขนาดซังได้สูงสุด 3,110 ก. ความละเอียดที่อ่านได้ 0.01 ก. สำหรับชั่งสารผสมล่วงหน้า และชั่งน้ำหนักไข่ไก่
5. เครื่องผสมอาหารแบบนอน ขนาดผสมได้สูงสุดครั้งละ 100 กก.
6. เครื่องวัดความหนาเปลือกไข่ แบบ TelCock มีความละเอียดอ่านได้ 0.001 มม. วัดความหนาเปลือกไข่ 3 ตำแหน่ง (ด้านบน กลาง และด้านแหลม) ของฟองไข่ โดย

ลอกเยื่อหุ้มเปลือกไข่ออกก่อนวัด จากนั้นนำไปหาค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกไข่ออกทั้ง 3 ตำแหน่งดังกล่าว

7. เครื่องวัดความสูงไขขาว ยี่ห้อ TTS ใช้วัดความสูงไขขาวบริเวณกึ่งกลางระหว่างไขขาวชั้นทั้งสองชั้น โดยให้ห่างจากไข่แดงประมาณ 1 ซม. แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า Haugh Unit
8. พัดเทียบสีไข่แดง ใช้ของบริษัท โรช (Roche yolk color fan) มีค่าความเข้มของสีจากน้อยถึงมากตั้งแต่เบอร์ 1 ถึง 15

วิธีการทดลอง

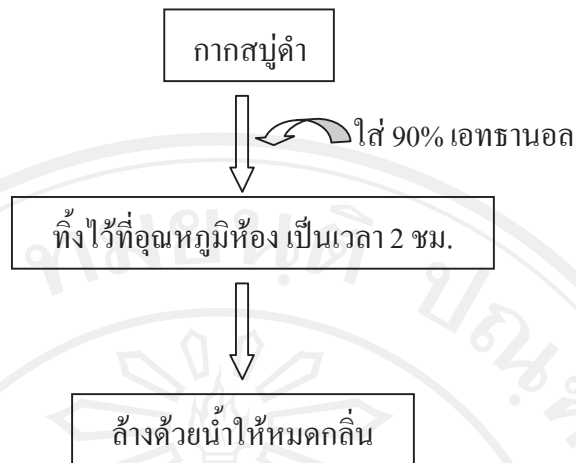
- การศึกษาในห้องปฏิบัติการ มี 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 : การลดสารพิษและการหาลักษณะประกอบทางเคมีของกากสบูดำ

การลดสารพิษ

นำกากสบูดำที่ได้จากการสกัดน้ำมันออกโดยขบวนการบีบอัดแบบเชิงกล (mechanical pressing) เพื่อนำไปทำไบโอดีเซล ของภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ไปลดสารพิษด้วยวิธีการ ดังนี้

- 1) แบบไม่ผ่านความร้อน ทำโดยใส่ 90% เมทธานอล ลงไปในกากสบูดำในอัตราส่วน 10:1 (v/w) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชม. ล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น (ภาพ 9)
- 2) แบบผ่านความร้อน จำแนกเป็น
 - 2.1 ใช้ autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °ซ ภายใต้ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 นาที มี 7 วิธี (ภาพ 10) ดังนี้
 - 2.1.1 นำกากสบูดำไปใส่ใน autoclave จากนั้นชะล้างด้วย 92% เมทธานอล จำนวน 4 เท่าของปริมาณกากสบูดำ และล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น
 - 2.1.2 ใส่น้ำลงไปกากสบูดำ ในอัตราส่วน 2:1 (v/w) จากนั้นนำไป autoclave เมื่อครบกำหนดแล้วชะล้างด้วย 92% เมทธานอล จำนวน 4 เท่าของปริมาณกากสบูดำ และล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น



ภาพ 9 ขั้นตอนการลดสารพิษโดยไม่ใช้ความร้อน

2.1.3 ใส่ 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไปในกากสบูดำ ในอัตราส่วน 2:1 (v/w) นำไป autoclave เมื่อครบกำหนดแล้วชะล้างด้วย 92% เมทธานอล จำนวน 4 เท่าของปริมาณกากสบูดำ และล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น

2.1.4 เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3 แต่ไม่ต้องล้างด้วยเมทธานอล

2.1.5 ใส่ 0.07% โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) ลงไปในกากสบูดำ ในอัตราส่วน 5:1 (v/w) นำไป autoclave เมื่อครบกำหนดแล้วล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น

2.1.6 ใส่ 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 10% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ลงไปในกากสบูดำ ในอัตราส่วน 2:1 และ 0.1:1 (v/w) นำไป autoclave เมื่อครบกำหนดแล้วล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น

2.1.7 ใส่ 90% เอทานอล ลงไปในกากสบูดำในอัตราส่วน 10:1 (v/w) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบกำหนดแล้วล้างด้วยน้ำ หลังจากนั้นใส่ 0.07% โซเดียมไบคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 5:1 (v/w) นำไป autoclave เมื่อครบเวลากำหนดแล้วล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น

2.2 ใช้แบบต้ม โดยนำกากสบูดำไปต้มในน้ำเดือด อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 40 นาที (นับจากน้ำเดือด) จากนั้นชะล้างด้วย 92% เมทธานอลปริมาณ 4 เท่าของกากสบูดำ และล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น (ภาพ 11)

2.3 ใช้แบบนี้ โดยนำกากสบู่ออกไปใส่ในหม้อนึ่ง (ซึ่ง) มีฝาปิดสนิท มีน้ำอยู่ชั้นล่างสุดของหม้อนึ่ง ทำการนึ่งเป็นเวลา 40 นาที (นับจากน้ำเดือด) จากนั้นชะล้างด้วย 92% เมทธานอล จำนวน 4 เท่าของปริมาณกากสบู่ออก และล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น (ภาพ 11)

รายละเอียดการลดสารพิษแบบสรุปย่อ แสดงไว้ในตาราง 4

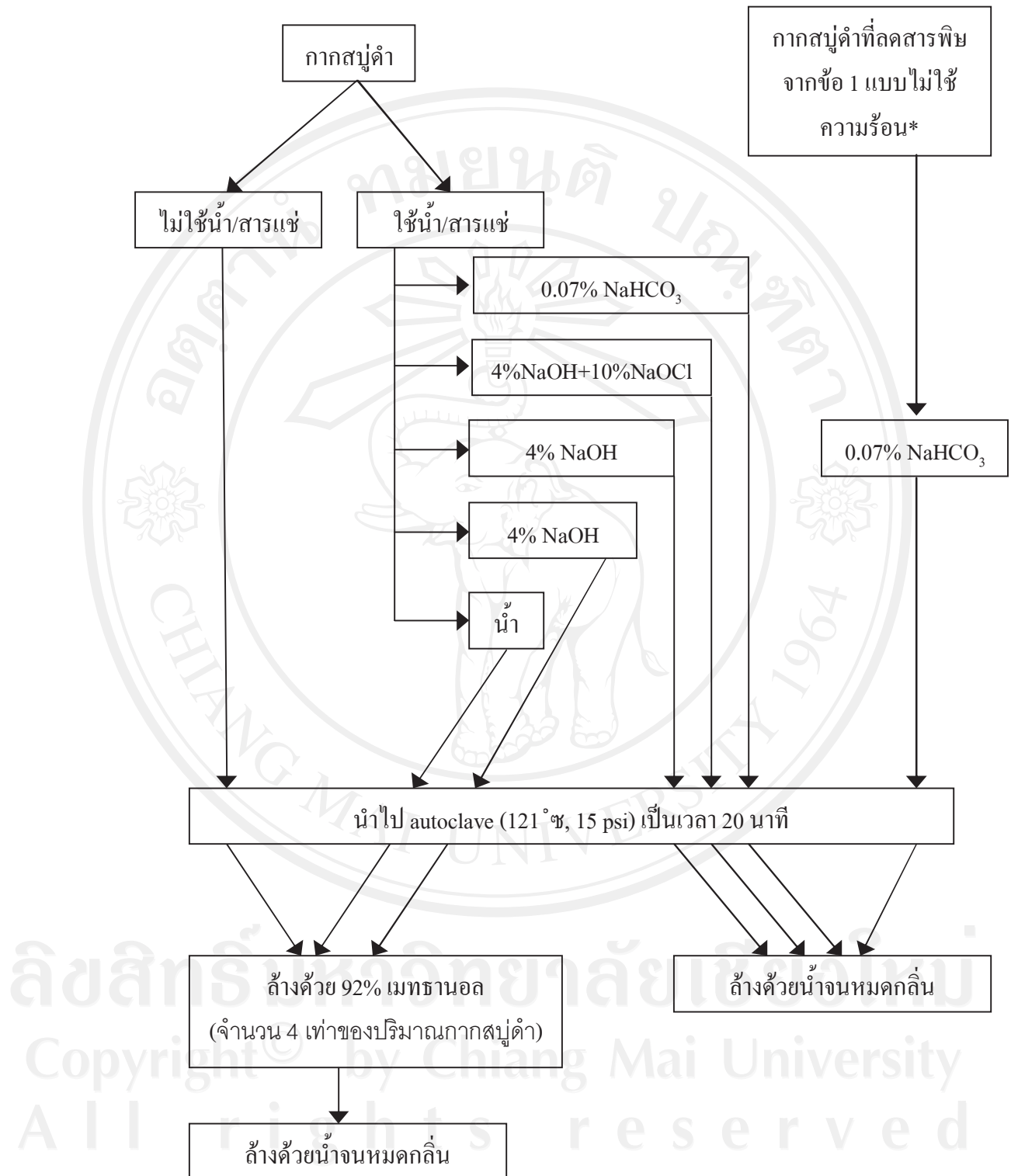
ตาราง 4 วิธีการลดสารพิษฟอรับอลเอสเทอร์ในกากสบู่ออก และแหล่งอ้างอิง

วิธีที่	สารที่ใช้แช่กากสบู่ออก	วิธีการให้ความร้อน	การชะล้าง	แหล่งอ้างอิง
1	90% เอทานอล	- ^{1/}	น้ำ	Martinez-Herrera <i>et al.</i> (2006)
2	-	autoclave ^{2/}	92% เมทธานอล + น้ำ	Aregheore <i>et al.</i> (2003)
3	น้ำ	autoclave ^{2/}	92% เมทธานอล + น้ำ	Aregheore <i>et al.</i> (2003)
4	4% NaOH	autoclave ^{2/}	92% เมทธานอล + น้ำ	Aregheore <i>et al.</i> (2003)
5	4% NaOH	autoclave ^{2/}	น้ำ	Aregheore <i>et al.</i> (2003)
6	0.07% NaHCO ₃	autoclave ^{2/}	น้ำ	Martinez-Herrera <i>et al.</i> (2006)
7	4% NaOH + 10% NaOCl	autoclave ^{2/}	น้ำ	Aregheore <i>et al.</i> (2003)
8	90% เอทานอล	- ^{1/}	น้ำ	Martinez-Herrera <i>et al.</i> (2006)
	0.07% NaHCO ₃	autoclave ^{2/}	น้ำ	
9	-	ต้ม ^{3/}	92% เมทธานอล + น้ำ	-
10	-	นึ่ง ^{3/}	92% เมทธานอล + น้ำ	-

^{1/} ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

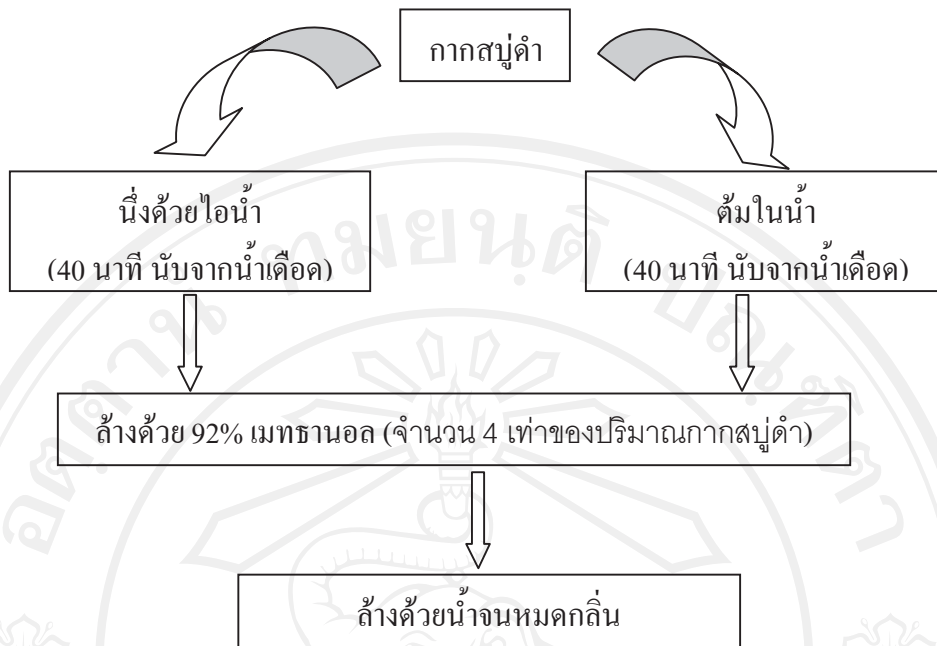
^{2/} อุณหภูมิ 121 °ซ; แรงดัน 15 psi. เป็นเวลา 20 นาที

^{3/} อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 40 นาที นับจากน้ำเดือด



ภาพ 10 ขั้นตอนการลดสารพิษโดยผ่าน autoclave เป็นเวลา 20 นาที ทั้งแบบใช้ ไม่ใช้น้ำ หรือสารแช่ ชนิดต่างๆ

(* ใส่ 90% เอทานอลลงในกากสปุดำ ในอัตราส่วน 10:1 (v/w) ที่งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบกำหนดแล้วล้างด้วยน้ำ)



ภาพ 11 ขั้นตอนการลดสารพิษโดยนำไปต้มและนึ่ง เป็นเวลา 40 นาที

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์

- การสกัดสารฟอรับอลเอสเทอร์

ใช้วิธีการตามที่บ่งไว้โดย Makkar *et al.* (1998) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งกากสบู่ดำ 2 ก. ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล. เติม 100% เมททานอล เพื่อทำการสกัดจำนวน 15 มล. นำไปเข้าเครื่องโซนิเคต (sonicate) ภายใต้ความเข็น 3 นาที
2. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8,600 rpm นาน 8 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ)
3. คูคเอาสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดก้นกลม (round bottomed flask) ขนาด 150 มล. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 จนถึงข้อ 3 อีก 2 รอบ
4. นำสารละลายส่วนใสซึ่งมีส่วนของเมททานอลปนอยู่ในขวดก้นกลมไประเหยออก ภายใต้สภาพแรงดันต่ำ อุณหภูมิต่ำกว่า 40 °ซ
5. เติม 100% เมททานอล จำนวน 2 มล. ลงในขวดก้นกลมแล้วนำไปโซนิเคต 3-4 นาที หลังจากนั้นบีบเมททานอลในขวดก้นกลมออกใส่หลอดทดลอง 10 มล. ทำซ้ำ 2 รอบ

6. ใช้ก๊าซไนโตรเจนระเหยเมทานอลในหลอดทดลองให้เหลือประมาณ 2 มล. หลังจากนั้นเขย่าตะกอนกับสารละลายให้เข้ากัน คูดสารละลายใส่หลอดพลาสติกมีฝาปิด (vial)
 7. นำหลอดพลาสติกไปปั่นเหวี่ยงที่ 48,600 rpm นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นคูดสารละลายส่วนใสออก ใส่หลอดพลาสติก
 8. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยตัวกรองไนลอนขนาด 0.45 มค.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มม.
 9. ฉีดตัวอย่าง 20 มค.ล. ในคอลัมน์ HPLC เพื่อหาสารฟอรับอลเอสเทอร์
- รายละเอียดการสกัดปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ในกากสปูดำแบบสรุปย่อแสดงไว้ในภาพ 12

- การวิเคราะห์ปริมาณฟอรับอลเอสเทอร์

ใช้เทคนิค reverse-phase HPLC โดยใช้คอลัมน์ reversed phase ขนาด 250×4.6 มม. (LiChrospher 100, end-capped 5 มค.ม.) อัตราการไหลผ่านคอลัมน์ 1.3 มล./นาที ภายใต้อุณหภูมิ 25 °ซ และใช้ระบบตรวจวัด UV ที่ความยาวคลื่น 280 nm. โดยเปรียบเทียบปริมาณกับสารมาตรฐาน (phorbol-12-myristate 13-acetate) มีขั้นตอนดังนี้

สารสกัดฟอรับอลเอสเทอร์



กรองสารผ่านกระดาษกรองไนลอน (0.45 มค.ม.)

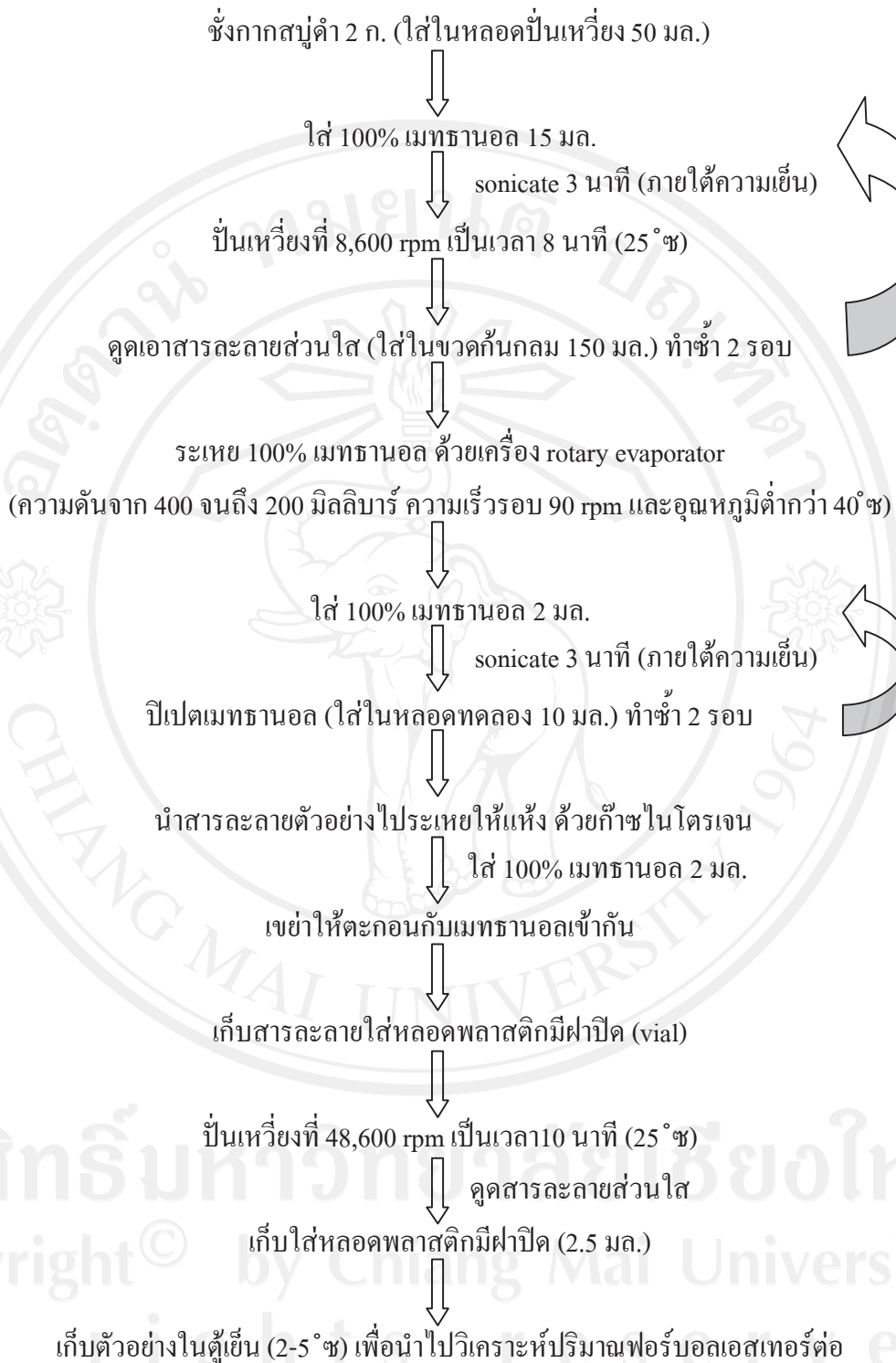


นำตัวอย่าง 20 มค.ล. ฉีดเข้าเครื่อง HPLC

สารละลายที่ใช้ A: 1.75 มล. o-phosphoric acid (85%) ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

B: acetonitrile (HPLC grade)

C: Tetrahydrofuran (HPLC grade)



ภาพ 12 ขั้นตอนการสกัดสารฟลอร์บอลเอสเทอร์ ตามวิธีที่อ้างโดย Makkar *et al.* (1998)

การหาค่าประกอบทางเคมี

นำกากสับุดำที่ได้จากขบวนการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตขนาดเล็กของภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และกากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษแล้วทั้ง 10 วิธี มาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีอย่างหยาบ Proximate analysis (AOAC, 2000) และหาค่าพลังงานรวม (Gross energy; GE) โดยใช้เครื่อง Ballistic bomb calorimeter (บุญล้อม และบุญเสริม, 2525)

การทดลองที่ 2 : การหาค่าการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก : แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังนี้

การทดลองที่ 2.1 : ใช้วิธีการกรอกกากสับุดำทางปาก (force feeding)

ใช้ไก่ไข่เพศผู้โตเต็มที่อายุประมาณ 4 เดือน จำนวน 24 ตัว นำมาเลี้ยงในกรง metabolic cage แบบขังเดี่ยวที่มีถาดรองรับมูลได้ตรง ภาชนะใส่อาหารและน้ำให้แยกกันเป็นรายตัว กรอกกากสับุดำเข้าทางปากไก่ ตามวิธีดัดแปลงจาก SibbalD (1977a;b) การทดลองใช้เวลา 9 วัน ในช่วง 7 วันแรกไก่ทดลองทุกตัวได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16% (ตาราง 7) กินแบบเต็มที่ เพื่อให้ไก่ปรับตัวคุ้นเคยกับสภาพกรง รวมทั้งให้พักฟื้นจากการขนย้าย (ระยะ preliminary period) หลังจากนั้นทำการอดอาหารไก่ทุกตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) เพื่อให้ขับถ่ายมูลเก่าออกให้หมด เมื่อครบกำหนดแบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว กลุ่มแรก ให้ได้รับกากสับุดำที่ไม่ผ่านการลดสารพิษปริมาณตัวละ 30 กรัม กลุ่มที่ 2 และ 3 ให้ได้รับกากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้มและนึ่ง ตัวละ 30 กรัม (บันทึกปริมาณที่แน่นอนที่ ให้ไก่แต่ละตัวกิน) ส่วนอีกกลุ่มให้ออดอาหารต่อไปอีก 1 วัน รวมเป็น 2 วัน ทำการเก็บและบันทึกน้ำหนักมูลจากไก่ทุกตัวหลังจากกรอกอาหารครบ 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีและพลังงานรวมเช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวมาแล้ว มูลที่ถ่ายออกจากไก่ออกกลุ่มที่อดอาหาร (กลุ่มที่ 4) ถือว่ามาจากร่างกาย (endogenous loss) ซึ่งจะนำไปคำนวณค่า ME แท้จริง (True ME, TME) แต่ถ้าไม่นำค่า endogenous loss ไปหักออกจากมูลไก่ของตัวที่ให้อาหาร ค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่า ME ปรากฏ (Apparent ME, AME) by Chiang Mai University

นำมูลที่เก็บได้จากไก่แต่ละตัวไปใส่ถุงพลาสติก บันทึกน้ำหนักสด แล้วนำไปแช่แข็ง เมื่อพร้อมจะทำการวิเคราะห์ นำมูลมาทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 2 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง บันทึกน้ำหนักมูลก่อนและหลังอบ แล้วนำมูลมาบดผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 1 มม. นำตัวอย่างอาหารและมูลไปวิเคราะห์ การคำนวณค่า AME และ TME ใช้สูตรดังนี้

$$\text{AME (kcal/g, DM)} = \frac{(\text{GE}_i \times F_i) - (\text{GE}_r \times E_r)}{F_i}$$

$$\text{TME (kcal/g, DM)} = \frac{(\text{GE}_i \times F_i) - [(\text{GE}_r \times E_r) - (\text{GE}_r \times E_r)]}{F_i}$$

- เมื่อ
- GE_i = พลังงานรวมของกากสับคั่วที่ให้ไก่กิน (kcal/g, DM)
 - GE_r = พลังงานรวมของมูลไก่ตัวที่ได้รับกากสับคั่ว (kcal/g, DM)
 - GE_r = พลังงานรวมของมูลไก่ตัวที่อดอาหาร (kcal/g, DM)
 - F_i = ปริมาณกากสับคั่วที่ใช้กรอกปากไก่ (g, DM)
 - E_r = ปริมาณมูลไก่ตัวที่ได้รับกากสับคั่ว (g, DM)
 - E_r = ปริมาณมูลไก่ตัวที่อดอาหาร (g, DM)

นอกจากนี้ นำมูลไก่ที่อบแห้งแล้วมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ เพื่อคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในกากสับคั่ว โดยใช้สูตร

$$\text{การย่อยได้ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน} - (\text{โภชนะที่ขับออกในมูล} - \text{โภชนะที่ขับออกในมูลของไก่ตัวอดอาหาร}) \times 100}{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน}}$$

(หมายเหตุ: การย่อยได้นี้เป็นแบบอนุโลม เพราะไม่ใช่การย่อยได้จริง เนื่องจากมิได้ทำการแยกปัสสาวะออกจากมูล)

การทดลองที่ 2.2 : ใช้วิธีแทนที่ในอาหารฐาน (Basal diet)

ใช้ไก่ไข่เพศผู้โตเต็มที่อายุประมาณ 6 เดือน จำนวน 16 ตัว เลี้ยงในกรงขังเดี่ยว ทำการศึกษาด้วยวิธีใช้กากสับคั่วแทนที่ส่วนของอาหารเปรียบเทียบ (replacement for a reference diet) หรืออาหารฐาน (basal diet) ที่ระดับต่างๆ คำนวณหาค่า ME ของกากสับคั่ว โดยอาศัยสมการถดถอย (regression method) วางแผนการทดลองแบบ 2×4 Factorial โดยส่วนผสมของอาหารฐาน และอาหารทดลองของแต่ละสูตร (มี 4 สูตร) แสดงไว้ในตาราง 5 และ 6 ตามลำดับ ทำการแบ่งไก่ทดลองออกเป็น 2 ชุดๆ ละ 8 ตัว ดังนี้

- ชุดที่ 1 ให้กากสับคั่วที่ไม่ผ่านการลดสารพิษแทนที่อาหารฐานระดับ 0, 10, 20 และ 30%
- ชุดที่ 2 ให้กากสับคั่วที่ผ่านการลดสารพิษแล้วด้วยวิธีการนึ่งแทนที่อาหารฐานระดับ 0, 10, 20 และ 30%

ตาราง 5 ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารไก่ไข่เพศผู้ที่ใช้ศึกษาหาค่า ME และการย่อยได้

ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณ (กก.)	คุณค่าทางโภชนา (% air dry basis)	
ข้าวโพด	57.40	โปรตีน	16.00
รำละเอียด	22.30	พลังงานใช้ประโยชน์ (kcal/g)	3.00
กากถั่วเหลือง (44% CP)	14.55	เยื่อใย	4.85
ปลาป่น (60% CP)	3.00	ไขมัน	5.48
โดแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	0.73	แคลเซียม	1.00
แอล-ไลซีน	0.04	ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.32
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.05	เมทไธโอนีน	0.35
หินเกล็ด	1.43	ไลซีน	0.81
เกลือ	0.25		
พรีมิกซ์ ^{1/}	0.25		
รวม	100.00		

^{1/} ไบโตามินและแร่ธาตุมีหน่วยเป็น ก./กก. (ยกเว้นที่ระบุ) : กลุ่มวิตามิน; เอ 1.2 MIU; อี 0.8; เค, 0.2; บี₁ 0.01; บี₂ 0.4; บี₆ 0.3; บี₁₂ 0.001; กรดแพนโทนิค 0.95; ไนอาซิน 1.5; กรดโฟลิก 0.05; ไบโอดีน 0.009; กลุ่มแร่ธาตุ; ซีลีเนียม 0.001; เหล็ก 6; แมงกานีส 6; สังกะสี 4; ทองแดง 0.6; ไอโอดีน 0.035; สารถนอมคุณภาพ 0.625 และ สารปรุงแต่ง 2.5

ตาราง 6 ระดับของกากสับดูต้าที่ใช้ในอาหารทดลองแต่ละสูตร

	สูตรอาหารทดลอง			
	1	2	3	4
อาหารฐาน (basal diet) ^{1/}	100	90	80	70
กากสับดูต้า ^{2/}	0	10	20	30
โปรตีน (% , จากการค้าจำนวน)	16.00	16.93	17.86	18.79

^{1/} ส่วนประกอบของสูตรอาหาร แสดงในตาราง 5

^{2/} มี 3 กลุ่ม; กลุ่มที่ 1 กากสับดูต้าชนิดไม่ลดสารพิษ กลุ่มที่ 2 กากสับดูต้าชนิดลดสารพิษด้วยวิธีต้ม กลุ่มที่ 3 กากสับดูต้าชนิดลดสารพิษด้วยวิธีนี้

เลี้ยงไก่แต่ละตัวใน metabolic cage เช่นเดียวกับวิธีการออกปาก แบ่งระยะเวลาทดลอง ออกเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 9 วัน รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 36 วัน โดยในแต่ละช่วงแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ ก่อนเก็บข้อมูล (preliminary period) ใช้เวลา 5 วัน เป็นระยะเวลาปรับตัวให้เคยชินกับอาหารทดลอง และจับถ่ายมูลของอาหารสูตรอื่นที่ได้รับจากรอบที่แล้ว ออกจากตัวไก่ให้หมดโดยสมบูรณ์ ส่วน 4 วันหลังเป็นระยะเวลาเก็บข้อมูล (collection period) บันทึกปริมาณอาหารที่กิน และสิ่งขับถ่ายทุก วันที่เวลา 8.30 และ 15.30 น. มูลไก่ที่เก็บได้ในแต่ละวันนำไปใส่ในตู้แช่แข็งทันที เมื่อเก็บรวบรวม ครบ 4 วัน นำมูลออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอให้ละลาย ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้น คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำมูลทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ 65°C จนแห้ง (ประมาณ 70 ชั่วโมง) ทำการ บันทึกน้ำหนักมูลก่อนอบและหลังอบ นำมูลที่ได้มาบดคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง เก็บไว้วิเคราะห์ หาค่าพลังงานรวม และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอื่นๆ เพื่อนำไปคำนวณค่าการย่อยได้แบบอนุโลม และค่า AME ดังได้กล่าวมาแล้ว

หลังจากครบ 9 วันในช่วงแรกแล้ว ให้เปลี่ยนอาหารทดลองไปให้กับไก่ทดลองตัวอื่น ต่อไป โดยการสลับตัวไก่จนไก่แต่ละตัวได้รับอาหารครบทั้ง 4 สูตร ดังแสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 7 แผนผังการสลับตัวไก่ โดยใช้กากสับุดำแทนที่สูตรอาหารฐาน 4 ระดับ

รอบที่	กากสับุดำแทนที่สูตรอาหารฐาน (%)			
	0	10	20	30
1	C1	C2	C3	C4
2	C2	C3	C4	C1
3	C3	C4	C1	C2
4	C4	C1	C2	C3

C = cock No. (ไก่ตัวที่)

การหาค่าการย่อยได้อนุโลมของโภชนะในกากสับดูดำ คำนวณจาก 2 วิธี คือ

1. Different method คำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะจากการใช้กากสับดูดำแทนที่สูตรอาหารฐานแต่ละระดับด้วยสมการ ดังนี้

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะในกากสับดูดำ} = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{ปริมาณ โภชนะที่ย่อยได้ใน} \\ \text{สูตรอาหารที่ระดับทดสอบ} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{โภชนะนั้นที่ได้รับจากอาหารฐาน} \times \\ \text{\%การย่อยได้ของโภชนะในอาหารฐาน} \end{array} \right]}{\text{ปริมาณ โภชนะที่ได้รับจากกากสับดูดำ}}$$

นำค่าการย่อยได้ของโภชนะที่ได้จากการแทนที่กากสับดูดำในอาหารฐานแต่ละระดับมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเป็นค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากสับดูดำโดยวิธี Different method

2. Regression method โดยใช้สูตร

$$Y = a + bX$$

เมื่อ Y คือ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะในกากสับดูดำ (%)

X คือ ระดับของกากสับดูดำ (%)

a คือ ค่าคงที่

b คือ regression coefficient

จากนั้นนำค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากสับดูดำที่คำนวณจากวิธี Different method และ Regression method มาหาค่าเฉลี่ย

สำหรับค่า AME ของกากสับดูดำเมื่อใช้แทนที่อาหารฐานแต่ละระดับ คำนวณโดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{AME}_{\text{กากสับดูดำ}} = \frac{\text{ME}_{\text{อาหารผสมที่ระดับทดสอบ}} - (\% \text{อาหารฐานที่ระดับทดสอบ} \times \text{ME}_{\text{อาหารฐาน}})}{\% \text{กากสับดูดำที่ระดับนั้นๆ}}$$

- ส่วนฟาร์มทดลอง แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 : การใช้กากสบู่ดำที่ลดพิษแล้วในอาหารไก่เนื้อ มีรายละเอียดดังนี้

ใช้ไก่เนื้อพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์ เพศผู้ อายุ 1 วัน จำนวน 1,428 ตัว ในช่วงไก่อายุ 1-7 วัน นำมาเลี้ยงและกกรวมกัน ให้ได้รับอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ด (21% โปรตีน) ที่ผลิตจากบริษัทเหมือนกัน เมื่อไก่อายุได้ 7 วัน ทำการสุ่มไก่ทดลองที่มีขนาดใกล้เคียงกันแยกเลี้ยงตามกลุ่มทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (treatment) กลุ่มละ 4 ซ้ำ (70 ตัว/ซ้ำ) ไก่ในแต่ละซ้ำเลี้ยงในคอกแบบปล่อยพื้นขนาด 12 ตร.ม. (3×4 ม.) มีแกลบเป็นวัสดุรองพื้น เลี้ยงในโรงเรือนปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับไก่ทดลองมากที่สุด ไก่ในแต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองเป็นอาหารผสมเองแบบผง มีส่วนผสมของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งในสูตรอาหารระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20% ในช่วงไก่อายุ 2-3, 4-5 และ 6 สัปดาห์ กำหนดให้อาหารทุกสูตรมีโปรตีนเท่ากับ 21, 19 และ 17% ตามลำดับ ส่วนค่า ME กำหนดให้เท่ากับ 3.2 kcal/g. เหมือนกันทุกสูตรและทุกช่วงอายุ ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองทั้ง 3 ระยะ แสดงไว้ในตาราง 8-10

ตาราง 8 ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองไก่เนื้อช่วงอายุ 8-21 วัน

กากสับดูดำในอาหาร (%)	0	5	10	15	20
ฟอรับอลเอสเทอร์ในอาหาร (มก./กก.)	0	0.0148	0.0296	0.0444	0.0592
ชนิดวัตถุดิบ :					
ข้าวโพด	51.44	48.79	46.13	43.48	40.82
กากสับดูดำที่ผ่านการลดสารพิษ ^{1/}	-	5.00	10.00	15.00	20.00
น้ำมันรำ	4.74	5.10	5.46	5.82	6.18
กากถั่วเหลือง (44% CP)	23.70	21.20	18.70	16.20	13.70
แอล-ไลซีน	0.05	0.04	0.03	0.01	-
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	0.82	0.62	0.43	0.23	0.04
เปลือกหอย	0.64	0.66	0.68	0.71	0.72
ส่วนผสมคงที่ ^{2/}	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาวะใช้เลี้ยง) :					
โปรตีน	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
ME (kcal/g.)	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
เยื่อใย	3.99	4.82	5.65	6.48	7.32
ไขมัน	8.89	10.20	11.51	12.83	14.14
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
ไลซีน	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
เมทไธโอนีน	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ราคาอาหาร (บาท/กก.)^{3/}	14.51	14.15	13.79	13.43	13.07

^{1/} ใช้แบบนี้ มีโปรตีน 25.29% ไขมัน 20.22%, เยื่อใย 20.01% และ ME 2.15 kcal/g. (รายละเอียดดูในภาคผนวก ข. ตาราง 1)

^{2/} รำละเอียด ปลาป่น (60% CP) เกลือ และฟอสฟอรัส^{3/} ใช้จำนวน 10.00, 8.00, 0.25 และ 0.25 กก.% ตามลำดับ

^{3/} ราคาวัตถุดิบ (บาท/กก.) มีดังนี้ ข้าวโพด 8.80, กากถั่วเหลือง 14.20, รำละเอียด 10.00, ปลาป่น 38.00, น้ำมันรำ 30.00, กากสับดูดำลดสารพิษ 5.00, ไคแคลเซียมฟอสเฟต 9.50, แอล-ไลซีน 70.00, ดีแอล-เมทไธโอนีน 160.00, เปลือกหอย 1.40, เกลือ 4.50 และฟอสฟอรัส 86.00

^{3/} ไวตามินและแร่ธาตุมีหน่วยเป็น ก./กก. (ยกเว้นที่ระบุ) : กลุ่มวิตามิน; เอ 2.5 MIU; อี 0.5; เค, 0.2; บี₁ 0.01; บี₂ 0.9; บี₆ 1.4; บี₁₂ 0.003; กรดแพนโทนิค 3.1; ไนอาซิน 1.5; กรดโฟลิก 0.17; ไบโอดิน 0.009; กลุ่มแร่ธาตุ; ซีลีเนียม 0.001; เหล็ก 24; แมงกานีส 24.4; สังกะสี 12.9; ทองแดง 2.4; ไอโอดีน 0.1085; สารอนอมคุณภาพ 0.30 และสารปรุงแต่ง 2.5

ตาราง 9 ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองไก่เนื้อช่วงอายุ 22-35 วัน

กากสับดูค่าในอาหาร (%)	0	5	10	15	20
ฟอรับอลเอสเทอร์ในอาหาร (%)	0	0.0148	0.0296	0.0444	0.0592
ชนิดวัตถุดิบ :					
ข้าวโพด	56.02	53.36	50.71	48.05	45.40
กากสับดูค่าที่ผ่านการลดสารพิษ ^{1/}	-	5.00	10.00	15.00	20.00
น้ำมันรำ	4.31	4.67	5.03	5.38	5.73
กากถั่วเหลือง (44% CP)	22.41	19.91	17.41	14.91	12.41
แอล-ไลซีน	0.05	0.04	0.02	0.01	-
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.07	0.06	0.04	0.02	-
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	1.05	0.86	0.66	0.47	0.27
เปลือกหอย	0.59	0.61	0.63	0.66	0.69
ส่วนผสมคงที่ ^{2/}	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาวะใช้เลี้ยง) :					
โปรตีน	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
ME (kcal/g.)	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
ไขมัน	8.34	9.65	10.97	12.28	13.59
เยื่อใย	3.98	4.81	5.64	6.47	7.31
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ไลซีน	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
เมทไธโอนีน	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
ราคาอาหาร (บาท/กก.)^{3/}	13.39	13.03	12.67	12.31	11.94

^{1/3/4/} เช่นเดียวกับตาราง 8

^{2/} รำละเอียด ปลาป่น (60% CP) เกล็ด และพรีมิกซ์^{4/} ใช้จำนวน 10.00, 5.00, 0.25 และ 0.25 กก.% ตามลำดับ

ตาราง 10 ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองไก่เนื้อช่วงอายุ 36-42 วัน

กากสับดูค่าในอาหาร (%)	0	5	10	15	20
ฟอร์บอเลสเตอรอลในอาหาร	0	0.0148	0.0296	0.0444	0.0592
ชนิดวัตถุดิบ :					
ข้าวโพด	63.55	60.88	58.23	55.57	52.92
กากสับดูค่าที่ผ่านการลดสารพิษ ^{1/}	-	5.00	10.00	15.00	20.00
น้ำมันรำ	3.44	3.80	4.16	4.52	4.88
กากถั่วเหลือง (44% CP)	19.71	17.21	14.71	12.21	9.71
แอล-ไลซีน	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.07	0.06	0.04	0.02	-
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	1.11	0.92	0.72	0.53	0.33
เปลือกหอย	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65
ส่วนผสมคงที่ ^{2/}	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพใช้เลี้ยง) :					
โปรตีน	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
ME (kcal/g.)	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
ไขมัน	7.30	8.61	9.93	11.24	12.55
เยื่อใย	3.71	4.54	5.38	6.21	7.04
แคลเซียม	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
ไลซีน	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
เมทไธโอนีน	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
ราคาอาหาร (บาท/กก.)^{3/}	12.39	12.03	11.67	11.31	10.95

^{1/3/4/} เช่นเดียวกับตาราง 8

^{2/} รำละเอียด ปลาป่น (60% CP) เกล็ด และพรีมิกซ์^{4/} ใช้จำนวน 8.00, 3.00, 0.25 และ 0.25 กก.% ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 : การใช้กากสับุดำที่ลดพิษแล้วในไก่ไข่ มีรายละเอียดดังนี้

ใช้ไก่ไข่ลูกผสมพันธุ์ชัวร์อาย 28 สัปดาห์ จำนวน 240 ตัว เลี้ยงในกรงตับแบบ ขังเดี่ยวขนาด 24×40×36 ซม. แบ่งออกโดยสุ่มเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำ (จำนวน 12 ตัว/ซ้ำ) มีรางอาหาร อยู่ด้านหน้า รางน้ำอยู่ด้านบนของกรงยาวติดต่อกันตลอดทั้งแถว ไก่มีน้ำและอาหารกินตลอดเวลา และได้รับแสงสว่างวันละ 16 ชั่วโมง ในแต่ละซ้ำรางอาหารถูกกั้นแยกออกจากกันด้วยแผงกั้นเพื่อ ป้องกันไม่ให้ไก่กลุ่มอื่นเข้ามากินอาหาร อาหารทดลองที่แม่ไก่ได้รับเป็นอาหารแบบผสมเอง ที่มี ส่วนผสมของกากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนี้ ในสูตรอาหารระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยมีระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 16% ส่วนค่า ME กำหนดให้เท่ากับ 2.8 kcal/g. เหมือนกัน ทุกสูตร ดังแสดงไว้ในตาราง 11

งานทดลองใช้กากสับุดำเป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์ปีก (ไก่เนื้อและ ไก่ไข่) นี้ กระทำที่ฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการศึกษาในไก่เนื้อใช้เวลา 6 สัปดาห์ เริ่มจากเดือน กุมภาพันธ์ - เมษายน 2553 ส่วนไก่ไข่ใช้เวลา 3 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 28 วัน (รวม 84 วัน) เริ่มจากเดือน มกราคม - เมษายน 2553

การบันทึกข้อมูลในส่วนของไก่เนื้อ ประกอบด้วย อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณ อาหารที่กิน ซึ่งบันทึกเมื่อมีการเปลี่ยนสูตรอาหาร (ครบสัปดาห์ที่ 3 และ 5) และเมื่อสิ้นสุดการ ทดลอง เพื่อนำไปคำนวณอัตราแลกน้ำหนัก ส่วนอัตราการตายและอาการผิดปกติ บันทึกทุกครั้งที่เกิดขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ไก่อายุ 6 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่มากลุ่มละ 2 ตัว/ซ้ำ เพื่อฆ่าแบบตัด เส้นเลือดดำที่คอ จากนั้นบันทึกคุณภาพซาก (เปอร์เซ็นต์ซาก อวัยวะภายใน ไขมันช่องท้อง สัตว์ ส่วน ของเนื้ออก น่อง สะโพก และปีก) รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณฟอร์บอเลสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้ออก

สำหรับการศึกษาในไก่ไข่ บันทึกผลผลิตไข่ทุกวัน และปริมาณอาหารที่กิน ในวัน สิ้นสุดท้ายของแต่ละช่วง ส่วนคุณภาพไข่ทั้งน้ำหนักไข่และจำนวนไข่แต่ละเบอร์ (เกรด และน้ำหนัก) บันทึกจากไข่ทุกฟองใน 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วง (วันที่ 26, 27 และ 28) โดยคุณภาพไข่ ด้านค่า Haugh unit ความหนาเปลือกไข่ และสีไข่แดง บันทึกจากไข่ 2 ฟองของแต่ละซ้ำใน 3 วันสุดท้ายของ แต่ละช่วง นอกจากนี้ทำการสุ่มไข่มา 2 ฟองซ้ำ (วันที่ 82, 83 และ 84) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์ บอเลสเทอร์ในไข่แดงและไข่ขาว ตามวิธีที่อ้างอิงโดย Makkar *et al.* (1998) รวมทั้งบันทึกการ เปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของไก่ไข่ เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองด้วย

ตาราง 11 ส่วนผสมและคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองไก่ไข่ช่วงอายุ 28-39 สัปดาห์

กากสับดูค่าในอาหาร (%)	0	5	10	15	20
ฟอรับอลเอสเทอร์ในอาหาร (%)	0	1.48	2.96	4.44	5.92
ชนิดวัตถุดิบ :					
ข้าวโพด	62.32	60.14	57.95	55.62	52.78
กากสับดูค่าที่ผ่านการลดสารพิษ ^{1/}	-	5.00	10.00	15.00	20.00
น้ำมันรำ	-	-	-	0.13	0.50
กากถั่วเหลือง (44% CP)	12.86	10.26	7.67	5.10	2.79
แอล-ไลซีน	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.08	0.06	0.04	0.02	-
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (12% P)	1.27	0.95	0.63	0.31	-
เปลือกหอย	6.92	7.05	7.18	7.30	7.42
ส่วนผสมคงที่ ^{2/}	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนาโดยการคำนวณ (% สภาพไข่เลี้ยง) :					
โปรตีน	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
ME (kcal/g.)	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
ไขมัน	4.33	5.31	6.28	7.36	8.66
เยื่อใย	3.45	4.29	5.13	5.96	6.79
แคลเซียม	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
ไลซีน	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
เมทไธโอนีน	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
ราคาอาหาร (บาท/กก.)^{3/}	11.30	10.87	10.44	10.04	9.69

^{1/3/} เช่นเดียวกับตาราง 8

^{2/} รำละเอียด ปลาป่น (60% CP) เกลือ และฟอสฟอรัส^{4/} ใช้จำนวน 10.00, 6.00, 0.25 และ 0.25 กก.% ตามลำดับ

^{4/} ไบโตามินและแร่ธาตุมีหน่วยเป็น ก./กก. (ยกเว้นที่ระบุ) : กลุ่มวิตามิน; เอ 1.2 MIU; อี 0.8; เค₃ 0.2; บี₁ 0.01; บี₂ 0.4; บี₆ 0.3; บี₁₂ 0.001; กรดแพนโทนิค 0.95; ไนอาซิน 1.5; กรดโฟลิก 0.05; ไบโอดีน 0.009; กลุ่มแร่ธาตุ; ซีลีเนียม 0.001; เหล็ก 6; แมงกานีส 6; สังกะสี 4; ทองแดง 0.6; ไอโอดีน 0.035; สารลดอนุมูลคุณภาพ 0.625 และสารปรุงแต่ง 2.5

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลจากการศึกษาหาค่า ME ที่ได้จากวิธีกรอกปาก ค่าการย่อยได้จากวิธีแทนที่ในอาหารฐาน และปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ที่ตรวจพบในเนื้อ และไขไก่ นำมาเข้าสมการสหสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear regression) เพื่อคาดคะเนค่า ME ค่าการย่อยได้ของกากสับุดำ และสารฟอรับอลเอสเทอร์เมื่อใช้กากสับุดำระดับสูง สำหรับข้อมูล ME ที่ได้จากวิธีแทนที่ในอาหารฐานตามแผนการทดลองแบบ 2×4 Factorial ข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ ไก่ไข่ และการย่อยได้จากวิธีกรอกปาก นำไปวิเคราะห์ค่าแปรปรวน ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) และหาลำดับความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's new multiple range test ตามที่กล่าวอ้างไว้โดย กัลยา (2544) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved