# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

### 3.1.1 สารเคมี

| ชื่อสารเคมี | เกรด | ยี่ห้อ |
|---|---|---|
| กรดซัลฟุริคเข้มข้น (conc. sulfuric acid 98%) | Analytical reagent | Merck |
| กรดบอริค (boric acid) | Analytical reagent | Merck |
| กรดไฮโดรคลอริค (hydrochloric acid) | Analytical reagent | Merck |
| กรดไธโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric acid) | Analytical reagent | Fluka |
| กลาเซียล์ อะซีติค แอซิค (glacial acetic acid) | Analytical reagent | J.T. Beaker |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodiumhydroxide) | Analytical reagent | Merck |
| ซีลีเนียมมิคซ์เชอ (selenium mixture) | Analytical reagent | Merck |
| ไดคลอโลมีเทน (dichlolometane) | Commercial | - |
| ไดอะตอมมาเชียส เอิร์ท (diatomaceous earth) | - | Merck |
| เมธิลเรด (methyl red) | Analytical reagent | Merck |
| เมธิลลีนบลู (methylene blue) | Analytical reagent | Merck |
| สารต้านการเกิดฟอง (anti-foaming agent) | Analytical reagent | Fluka |
| อะซีโตน (aceton) | Commercial | - |
| น้ำกลั่น | deionized water | - |

### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

| ชื่อเครื่องมือ | โมเดล | บริษัท | ประเทศ |
|---|---|---|---|
| สเปกโทรโฟโตมีเตอร์ (spectrophotometer) | DU 7500 | BECKMAN | America |
| เครื่องกลั่นโปรตีน | - | Gerhardt | Germany |
| เครื่องย่อยโปรตีน | 12 | Buchi | Germany |
| เครื่องสกัดไขมัน | EV1 | Gerhardt | Germany |
| เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย | EV26 | Gerhardt | Germany |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

| ชื่อเครื่องมือ | โมเดล | บริษัท | ประเทศ |
|---|---|---|---|
| เครื่องซัคชั่นปั๊ม (suction pump) | VDE0530 | W.Krannich | Germany |
| เครื่องบดอาหาร | 4 | Thomas-Willey | America |
| เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง | P163 | Mettler | Switzerlan |
| ถ้วยกระเบื้องเคลือบ | 109-3 | Haldenwanger | Germany |
| ถ้วยกระเบื้องเคลือบทรงสูง (porcelain crucible) | 101/50 | HCT | Germany |
| ถ้วยชั่งน้ำหนัก (weighing bottle) | - | Brand | Germany |
| โถดูดความชื้น (desiccator) | GL32 | Glaswerk wertheim | Germany |
| ทิมเบิล (thimble) | No.2800258 | Whatman | England |
| กระดาษกรอง เบอร์ 4 | - | Whatman | England |
| บุชเนอร์ฟันเนล (buchner funnel) | 127-2a | Haldenwanger | Germany |
| ขวดกรองรูปชมพู่ (suction flask) 1000 ml | No.27060 | Kimax | America |
| ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) 250 ml | No.4990 | Pyrex | America |
| ขวดก้นกลม (round bottom flask) | - | Schott Duran | Germany |
| ขวดกลั่นโปรตีน (kjeldahl flask) 500 ml | No.5420 | Pyrex | America |
| หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) | - | Buchi | Switzerlan |
| หลอดทดลองมีฝาปิดแบบเกลียว 10 ml | No.9825 | Pyrex | America |
| บีกเกอร์ (beaker) 600 ml | No.1040 | Pyrex | America |
| กระบอกตวง (cylinder) 100 ml | - | Witeg | Germany |
| ไมโครปิเปต (micropipette) 5000 ml | G23978E | Gilson | France |
| ดีสเพนเซอร์ปิเปต (dispenser pipette) | No.704650 | Brand | Germany |
| พีเอสมีเตอร์ (ph meter) | EC-phScan3 | Eutech | Germany |
| พลานิมีเตอร์ (planimeter) | AERO A.OTT | Kemten | West Germany |
| ตู้อบโอเวน (oven) | DEV | Heraeus | Germany |
| เตาเผา (muffle furnace) | MR260E | Heraeus | Germany |
| หินพัมมิซ (pumiice stone) | No.33084 | BDH | England |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

**3.2 สัตว์ทดลอง อาหารทดลองและการจัดการ**

**3.2.1** สัตว์ทดลอง ใช้สุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์ คือ ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ (Large White x Landrace) จำนวน 60 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้ตอน (barrow) 30 ตัว และเพศเมีย (gilt) 30 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลอง 40 กิโลกรัม

**3.2.2** ลักษณะคอกทดลอง

ก. คอกทดลองเป็นซองขังเดี่ยวเรียงติดกันเป็นแถว มีทั้งหมด 3 แถว แต่ละแถวมีระยะห่างกัน 1.00 ม. (Figure 15)

ข. ในแต่ละแถวจะมีจำนวนซอง แถวละ 20 ซอง (Figure 15)

ค. ขนาดของซองแต่ละซอง กว้าง 0.50 ม. ยาว 1.20 ม. สูง 0.90 ม. และวัสดุรองพื้นคอกเป็นพื้นสแล็ทคอนกรีต (Figure 16-17)

ง. มีที่ให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวจุ๊บ (nipple) ด้านหน้าคอก โดยอยู่ในตำแหน่งอยู่เหนือรางอาหารสูงจากพื้นสแล็ทคอนกรีต 0.60 ม. (Figure 16-17)

จ. มีที่ให้อาหารแบบรางติดตั้งด้านหน้าคอกวางบนพื้น ตัวรางทำจากท่อน้ำ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ผ่าครึ่งเป็น 2 ซีก วางตลอดตามความยาวของแต่ละแถว และกั้นเป็นช่องๆ เฉพาะแต่ละซองจำนวน 20 ซอง เพื่อแยกอาหารแต่ละตัวออกจากกัน (Figure 16-17)

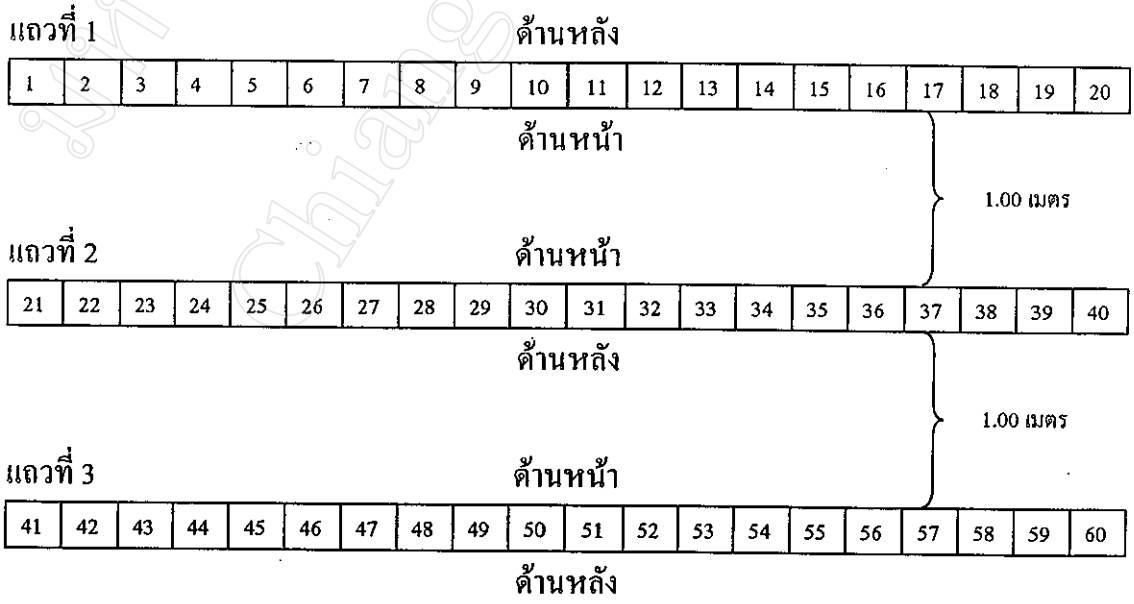



**Figure 15** Plan of individual cage for experiment.

**Figure 16** Side view of individual cage.

**Figure 17** Front view of individual cage.

**3.2.3 การวางแผนการทดลองและการจัดสัตว์เข้าคอกทดลอง**

**3.2.3.1 วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 Factorial Experiment in Completely Randomized Design** (Snedecer and Coechran, 1966) โดยกำหนดให้อาหารที่ใช้ทดลองเป็นปัจจัยที่หนึ่ง ซึ่งมี 3 สูตร คือ สูตรอาหารปกติ (T1) สูตรอาหารปกติเสริมไวตามินอี 200 มก./กก.อาหาร (T2) สูตรอาหารปกติเสริมไวตามินอี 100 และเสริมไวตามินซี 500 มก./กก.อาหาร (T3) และเพศเป็นปัจจัยที่สอง ซึ่งมี 2 เพศ คือ เพศผู้ตอนและเพศเมีย

**3.2.3.2 วิธีการจัดสัตว์เข้าคอกทดลอง** ทำการสุ่มสุกรเข้าซองขังเดี่ยว โดยให้สุกร 1 ตัว เป็น 1 ซ้ำ และในแต่ละแถวจะมีสุกรเพศผู้และเพศเมีย เพศละ 10 ตัว หลังจากนั้นทำการสุ่มสูตรอาหารให้กับแถว ซึ่งมีทั้งหมด 3 แถว โดยให้แต่ละแถวคือ 1 สูตรอาหาร

**3.2.4 การจัดการด้านอาหาร**

อาหารที่ใช้ทดลองมีทั้งหมด 3 สูตร (Table 2, 3) แต่ละสูตรมีการผสมใหม่ 3 ครั้ง สุกรในแต่ละแถวจะได้รับอาหารเพียง 1 สูตรตลอดระยะเวลาการทดลอง สุกรทุกตัวจะได้กินอาหารและมีน้ำให้ดื่มเต็มที่ (*ad libitum*) ชั่งอาหารบรรจุใส่ถุง ถุงละ 1 กก. ด้วยเครื่องชั่งแบบสปริงขนาด 3 กก. ทศนิยม 1 ตำแหน่ง แต่ละสูตรอาหารจะใช้ถุงที่มีสีต่างกัน คือ สีฟ้าสูตร 1 สีขาวสูตร 2 สีเขียวสูตร 3 ทำการเขียนลำดับหมายเลขไว้ที่ถุงทุกถุง เพื่อเป็นการตรวจสอบกับปริมาณอาหารที่ใช้ไป อาหารจะถูกนำไปวางไว้หน้าซองของสุกรแต่ละตัว วันละ 2 ถุง ในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง หลังจากนั้นเพิ่มเป็น 3-4 ถุง

วิธีการให้จะแบ่งอาหารในแต่ละถุงโดยเรียงลำดับตามหมายเลขของถุงอาหาร เทใส่รางอาหารให้สุกรกิน โดยให้มีอาหารกินตลอดเวลาในรางอาหาร อาหารที่เหลือในถุงของแต่ละวันจะนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำไปให้สุกรกินในวันต่อไป ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 12 สัปดาห์ จนกระทั่งถึงน้ำหนักที่ส่งสุกรเข้าโรงฆ่า คือ 90-100 กก.

**Table 2** Composition of experimental diets (as-fed basis).

| Ingredients (%) | T1 | T2 | T3 |
|---|---|---|---|
| Corn meal | 48.95 | 48.95 | 48.95 |
| Soy bean meal | 12.80 | 12.80 | 12.80 |
| Full fat soy bean | 2.50 | 2.50 | 2.50 |
| Rice polishing | 20.30 | 20.30 | 20.30 |
| Fish meal | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Broken rice | 7.85 | 7.80 | 7.75 |
| Tallow | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Limestone | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Salt | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| D.C.P, P 18 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| Ethoxyquin | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Microfix - plus | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Drymold | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Choline chloride | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Lysine | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| Methionine | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Threonine | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Premix [a] | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Add vitamin E [b] | 0 | 0.04 | 0.02 |
| Add vitamin C [b] | 0 | 0 | 0.05 |
| Cost, baht/kg | 6.34 | 6.59 | 6.79 |

(4 July – 30 September 1999)

[a] Premix contained vitamins and minerals; vitamin E 33 mg

[b] Form of vitamin E is tocopheryl acetate and vitamin C is adsorbyl phosphate which were obtained from Rovithai Ltd.

**Table 3** Chemical composition of experimental diets from calculation.

| Calculated composition (%) | T1 | T2 | T3 |
|---|---|---|---|
| Crude protein | 16.00 | 16.00 | 16.00 |
| ME, kcal/kg | 3063.18 | 3063.18 | 3063.18 |
| Crude fat | 5.86 | 5.86 | 5.86 |
| Crude fiber | 4.73 | 4.73 | 4.73 |
| Calcium | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| Phosphorus | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| Lysine | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Methionine + Cystine | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| Tryptophan | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| Threonine | 0.64 | 0.64 | 0.64 |

**3.3 การบันทึกข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง**

**3.3.1** บันทึกปริมาณอาหารที่สุกรกิน โดยทำการบันทึกปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินทุกๆ วัน โดยจดหมายเลขของถุงอาหารที่นำไปวางไว้หน้าซองของสุกรแต่ละตัว เพื่อเป็นการบันทึกปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินในแต่ละวัน ทำการชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือในรางอาหารและในถุง เวลา 17.00 น. ของทุกวัน โดยใช้เครื่องชั่งแบบสปริง ขนาด 3 กก. ทศนิยม 1 ตำแหน่ง สำหรับการคำนวณปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินในแต่ละวัน ทำโดยนำปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินเหลือในแต่ละวันไปลบ ออกจากปริมาณอาหารที่ให้สุกรแต่ละตัวกินในแต่ละวัน ดังแสดงในสูตร

**ปริมาณอาหารที่สุกรกินแต่ละวัน = ปริมาณอาหารที่ให้แต่ละวัน - ปริมาณอาหารที่เหลือแต่ละวัน**

**(กก./วัน)**

**3.3.2** ชั่งน้ำหนักสุกรแต่ละตัว โดยทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 สัปดาห์ การชั่งน้ำหนักทุกครั้งจะชั่งก่อนให้อาหาร และเริ่มชั่งเวลา 09.00 น. โดยใช้กรงและเครื่องชั่งแบบคาน ขนาด 200 กก. ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

**3.3.3 การเก็บตัวอย่างอาหารเพื่อการวิเคราะห์** ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองทุกครั้งที่มีการผสมอาหารใหม่ การทดลองครั้งนี้สูตรอาหารแต่ละสูตรมีการผสมใหม่สูตรละ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งที่มีการผสมอาหารใหม่จะสุ่มเก็บอาหารแต่ละสูตรจากถุงอาหารจำนวน 10 ถุงๆ ละ 1 ตำแหน่ง นำตัวอย่างอาหารที่สุ่มเก็บแต่ละครั้งมาผสมกัน นำไปบดด้วยเครื่องบดอาหาร ให้ผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. เก็บตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง และนำไปผสมกับส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรง นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม AOAC (1990) ซึ่งจะวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง โปรตีนโดยรวม ไขมันโดยรวม เยื่อใยโดยรวม และเถ้า

**3.3.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง (dry matter), AOAC (1990)**

หลักการ

เมื่อนำตัวอย่างมาทำการอบที่อุณหภูมิ 100-105 °C จนน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่หายไป คือ ความชื้น

**วิธีการทำ**

1. นำถ้วยชั่งน้ำหนัก (weighing bottle) ที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100-105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำไปไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_1$)

2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม ($W_S$) ใส่ในถ้วยชั่งน้ำหนัก

3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยเปิดฝาถ้วย เมื่อครบกำหนด ปิดฝาถ้วยแล้วนำไปไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

**วิธีคำนวณ**

$$\text{Dry matter (\%)} = \left( \frac{W_2 - W_1}{W_S} \right) \times 100$$

**3.3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยรวม (crude protein), AOAC (1990)**

หลักการ

เนื่องจากโปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์หาโปรตีนในอาหารสัตว์จึงทำการวิเคราะห์โดยวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร แล้วจึงเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนที่วัดได้ให้เป็นโปรตีน การวิเคราะห์ด้วยวิธีเจล์ดาห์ล (kjeldahl method) ตัวอย่างจะถูกย่อยด้วยกรดซัลฟุริคเข้มข้น 98% (sulfuric acid) ที่อุณหภูมิสูงเพื่อสลายไนโตรเจนทั้งหมดออกมา ซึ่งจะได้เป็นแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) เติมสาร

ละลายด่างเข้มข้นลงไป แล้วนำไปกลั่น จะได้แอมโมเนีย (ammonia) ซึ่งจะถูกจับด้วยกรดบอริค (boric acid) หลังจากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายกรดมาตรฐาน จะทำให้ทราบปริมาณของไนโตรเจน นำปริมาณไนโตรเจนไปคูณกับ 6.25 จะได้เป็นโปรตีนรวม

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริคเข้มข้น 98%
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 38%
3. กรดบอริค 4%
4. กรดไฮโดรคลอริคความเข้มข้น 0.1 $\bar{N}$ (hydrochloric acid)
5. ทาชิโร อินดิเคเตอร์ (Tashiro indicator)
6. ซีลีเนียมมิคซ์เชอร์ (selenium mixture)

วิธีการทำ

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อย (digestion tube) ใส่ซีลีเนียมมิคซ์เชอร์ 1 เม็ด (ใช้ซีลีเนียมมิคซ์เชอร์ 1 ช้อนตักสาร นำไปอัดเม็ด) เติมกรดซัลฟุริค 25 มล. ทั้งนี้จะต้องทำแบลงค์ (การไม่ใส่ตัวอย่าง) ควบคู่ไปด้วย

2. นำไปตั้งบนเตาของเครื่องย่อย ปิดฝาหลอดย่อย และต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด เปิดเครื่องย่อยและเครื่องดูดไอกรด ย่อยให้ได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชม.

3. เมื่อครบเวลาที่กำหนดหรือได้สารละลายใสแล้ว ปิดเครื่องย่อยและเครื่องดูดไอกรด ทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่น

1. เทสารละลายใสที่ได้จากขั้นตอนการย่อยข้อ 3 ลงในหลอดเจล์ดาห์ล (kjeldahl flask) ใช้น้ำกลั่นล้างสารละลายที่เหลือในหลอดย่อย แล้วเทลงในหลอดเจล์ดาห์ล เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 200 มล. และใส่ทาชิโร อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

2. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 38% ปริมาณ 70 มล. และใส่หินพัมมิซ (pumice stone) 2-3 เม็ด

3. นำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่น

4. ตวงกรดบอริค 4% ปริมาณ 40 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) เติมทาชิโร อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

5. นำปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) จุ่มลงในกรดบอริค

6. เปิดเครื่องกลั่น กลั่นจนได้สารละลายประมาณ 150 มล. หรือกลั่นจนแอมโมเนียหมด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัสสีแดงชุบน้ำ นำไปอังที่ปลายคอนเดนเซอร์ ถ้ากระดาษลิตมัสไม่เปลี่ยนสี แสดงว่าแอมโมเนียหมดแล้ว หยุดกลั่นได้

**ขั้นตอนการไทเทรต**

1. นำสารละลายของตัวอย่างและของแบลงค์ที่กลั่นได้จากข้อ 6 ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริคความเข้มข้น 0.1 $\bar{N}$ โดยไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู จดบันทึกปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรต

2. นำปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ดังแสดงในสูตร และนำเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ดังแสดงในสูตร

การคำนวณ

$$N\ (\%) = \left( \frac{\text{ml HCl(s)} - \text{ml HCl(b)} \times \bar{N}\ \text{HCl} \times 0.014}{W_s} \right) \times 100$$

$$CP\ (\%) = N\ (\%) \times 6.25$$

| | |
|---|---|
| N | = ปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ |
| HCl(s) | = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไทเทรตสารละลายของตัวอย่าง |
| HCl(b) | = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไทเทรตสารละลายของแบลงค์ |
| $\bar{N}$ HCl | = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้สำหรับไทเทรต |
| $W_s$ | = น้ำหนักตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม |
| CP | = โปรตีนรวมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ |

**3.3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันโดยรวม (ether extract) โดยวิธี soxhlet, AOAC (1990)**

**หลักการ**

ปริมาณไขมันที่มีอยู่ในอาหารสามารถสกัดออกมาได้โดยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ เช่น อีเทอร์ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เบนซิน ไดคลอโรมีเทน เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้ไดคลอโรมีเทน เพราะว่าไม่ติดไฟ ปริมาณไขมันที่สกัดได้จะเป็นปริมาณไขมันโดยรวม เพราะมีส่วนของไวตามินที่ละลายได้ในไขมัน และสารสี รวมอยู่ด้วย

สารเคมี

ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane)

วิธีการทำ

1. ใส่หินพัมมิช 2-3 เม็ด ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C จนน้ำหนักคงที่หรืออบเป็นเวลา 1 ชม.

2. นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก ($W_1$)

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ($W_S$) แล้วนำไปห่อด้วยกระดาษกรองหรือกระดาษที่ปราศจากไขมัน เสร็จแล้วนำไปใส่ในทิมเบิล (thimble)

4. นำทิมเบิลใส่ลงในซอคท์เล็ท (soxhlet)

5. นำซอคท์เลทต่อเข้าปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) เสร็จแล้วนำขวดก้นกลมมาต่อเข้ากับปลายของซอคท์เล็ท โดยให้ขวดตั้งอยู่บนเตาให้ความร้อน

6. เติมไดคลอโรมีเทนลงในขวดก้นกลมจำนวน 2 ไซฟอน (siphon) โดยผ่านทางปลายคอนเดนเซอร์

7. เปิดเครื่องทำความเย็นของน้ำและเตาให้ความร้อน

8. ปรับตั้งความร้อนของเตา โดยให้จำนวนหยดของสารละลายที่กลั่นได้จากปลายคอนเดนเซอร์เท่ากับ 5-6 หยด/วินาที ใช้เวลากลั่นประมาณ 16 ชั่วโมง

9. เมื่อครบกำหนด นำทิมเบิลออกจากซอกท์เลท กลั่นต่อเพื่อเก็บไดคลอโรมีเทนไว้ใช้ต่อไป โดยเมื่อกลั่นได้สารละลายปริมาณ ½ ของซอคท์เลท เทสารละลายที่กลั่นได้ออก กลั่นต่อจนเหลือไดคลอโรมีเทนในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อย (อย่าให้แห้ง) ปิดเครื่องทำความเย็นและเตาให้ความร้อน

10. นำขวดก้นกลมไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

11. นำขวดก้นกลมไปใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

การคำนวณ

$$\text{Ether extract (\%)} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_s}\right) \times 100$$

**3.3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยโดยรวม (crude fiber), AOAC (1990)**

หลักการ

ต้มตัวอย่างอาหารด้วยกรดและด่างเจือจาง เสร็จแล้วกรองและนำส่วนที่กรองได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ส่วนที่เหลือหลังจากเผา คือเยื่อใยโดยรวม

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริค 3.125%
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.125%
3. อะซีโตน (acetone)
4. ไดอะตอมมาเชียส เอิร์ท (diatomaceous earth)

วิธีการทำ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม ($W_S$) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มล.
2. เติมกรดซัลฟุริค 3.125% ปริมาณ 200 มล. นำไปต้มแบบรีฟลัค (reflux) ต้มเป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจับเวลาเมื่อสารละลายเดือด
3. นำมากรองด้วยบูชเนอร์ฟันเนล (buchner funnel) ซึ่งต่ออยู่กับขวดซัคชั่น (suction flask) โดยใช้กระดาษกรองและใส่ไดอะตอมมาเชียส เอิร์ท 1 ช้อนตักสาร ลงบนกระดาษกรอง เทน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดลงในบูชเนอร์ฟันเนล แล้วเปิดเครื่องซัคชั่น
4. นำสารละลายที่ต้มจนเดือดเทลงในบูชเนอร์ฟันเนล ล้างบีกเกอร์ด้วยใช้น้ำกลั่นที่ต้มเดือดจำนวน 500 มล. กรองจนได้ตะกอนที่แห้ง
5. ถ่ายตะกอนทั้งหมดลงในบีกเกอร์ใบเดิม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.125% ปริมาณ 200 มล. นำไปต้มแบบรีฟลัค (reflux) ให้เดือดเป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจับเวลาเมื่อสารละลายเดือด
6. ทำตามขั้นตอนในข้อ 3 และ 4
7. ล้างตะกอนที่กรองได้ด้วยอะซีโตน เสร็จแล้วถ่ายตะกอนทั้งหมดใส่ถ้วยกระเบื้อง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
8. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_1$)
9. นำไปเผาบนแผ่นให้ความร้อนในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ในเตาเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
10. รอให้อุณหภูมิเตาเผาลดลงเหลือประมาณ 200 °C จึงนำถ้วยออกมา ใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นใน แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

การคำนวณ

$$\text{Crude fiber (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_S}\right) \times 100$$

**3.2.3.5 หาปริมาณเถ้า (ash), AOAC (1990)**

การวิเคราะห์ หลักการ

พวกอนินทรีย์สารที่เหลือหลังจากการเผาตัวอย่างอาหาร คือ เถ้า ส่วนพวกอินทรีย์สารจะถูกเผาไหม้หมด ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างอาหารไปเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ส่วนที่เหลือหลังจากจากการเผาจะเป็นปริมาณเถ้าทั้งหมด

วิธีการทำ

1. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible) เปล่าที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C หรือเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า ($W_1$)
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหาร 2 กรัม ($W_S$) ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ
3. นำไปเผาบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) หรือ ตะเกียงบุนเซน ในตู้ดูดควันจนหมดควัน
4. นำไปเผาต่อในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ปิดไฟ รอให้อุณหภูมิเตาเผาลดลงเหลือประมาณ 200 °C จึงนำถ้วยออกมา และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

วิธีคำนวณ

$$\text{Ash (\%)} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_S}\right) \times 100$$

3.4 การศึกษาสมรรถนะการผลิต

**3.4.1 วัดปริมาณอาหารทั้งหมดที่สุกรแต่ละตัวกิน (total feed intake, TFI)** โดยวัดตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง หาได้โดยนำปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินในแต่ละวันตั้งแต่เริ่มการทดลองมารวมกันจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง วิธีการคำนวณหาปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินในแต่ละวันแสดงไว้แล้วในข้อ 3.3.1

**3.4.2 วัดปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake, ADFI)** โดยนำปริมาณอาหารทั้งหมดที่สุกรแต่ละตัวกิน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันสุดท้ายของการทดลองหารด้วยจำนวนวันที่เลี้ยง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในสูตร

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (กก./วัน)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด (กก.)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$$

**3.4.3 วัดน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (total weight gain, TWG)** โดยการนำน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งแรก เมื่อเริ่มเข้าสู่การทดลองของสุกรแต่ละตัวไปลบออกจากน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะได้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของแต่ละตัว ดังแสดงในสูตร

$$\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กก.)} = \text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลอง}$$

**3.4.4 วัดอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain, ADG)** โดยการนำน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งแรก เมื่อเริ่มเข้าสู่การทดลองของสุกรแต่ละตัวไปลบออกจากน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งสุดท้าย จะได้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของแต่ละตัวตั้งแต่เริ่มทดลอง นำจำนวนวันที่เลี้ยงมาหาร เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในสูตร (หรือ ผลจากข้อ 3.4.3 หารจำนวนวันที่เลี้ยงของแต่ละตัว)

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กก./วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น(กก.)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$$

**3.4.5 วัดอัตราการเปลี่ยนอาหาร หรืออัตราแลกเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)** โดยนำปริมาณอาหารที่กินทั้งหมดของสุกรแต่ละตัว ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันสุดท้ายของการทดลองหารด้วยน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหาได้จากการนำน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งแรก เมื่อเริ่มเข้าสู่การทดลอง

ของสุกรแต่ละตัวไปลบออกจากน้ำหนักตัวที่ชั่งครั้งสุดท้ายของการทดลอง เมื่อหารแล้วจะได้อัตราการเปลี่ยนอาหาร ดังแสดงในสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหาร} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กก.)}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กก.)}} \quad \text{หรือ} \left( \frac{\text{Feed}}{\text{Gain}} \right)$$

**3.5 การศึกษาคุณภาพซาก**

สุกรที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90-100 กิโลกรัม จะถูกนำไปศึกษาคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ โดยจะต้องอดอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมงก่อนฆ่า แต่มีน้ำให้ดื่มตลอดเวลา เพื่อชั่งน้ำหนักสุดท้ายที่อยู่ในสภาพไม่มีอาหารตกค้างอยู่ในทางเดินอาหาร ก่อนถูกนำไปส่งโรงฆ่า

**3.5.1 การขนส่งสุกร** สุกรจะถูกขนส่งไปโรงฆ่าสัตว์ช่วงเวลา 7.00-8.00 น. โดยรถบรรทุกเป็นระยะทาง 10 กม. สุกรจะถูกขังไว้ในคอกพักประมาณ 22 ชั่วโมง และไม่ได้กินอาหารและดื่มน้ำ และทั้งหมดจะถูกฆ่าในตอนเช้าของวันต่อมา (สรุปสุกรจะอดอาหาร 34 ชั่วโมง และอดน้ำ 22 ชั่วโมง)

**3.5.2 การฆ่าสุกร** จะเริ่มตั้งแต่เวลาประมาณ 6.00 น. ซึ่งใช้วิธีการฆ่าแบบไทย โดยสุกรจะถูกต้อนให้ติดด้านข้างของคอก และแทงด้วยเหล็กปลายแหลมและคม ยาวประมาณ 6 นิ้ว ที่บริเวณด้านข้างของลำตัว เพื่อให้ทะลุปอด หลังจากสุกรถูกแทงประมาณ 1-2 นาที สุกรก็จะล้มลงและเสียชีวิต

**3.5.3 การชูดขน** นำสุกรมาแช่ในกะทะใบบัวที่มีน้ำร้อนต้มอยู่ และตักน้ำร้อนในกะทะราดบนตัวสุกรส่วนที่โผล่เหนือน้ำร้อน ใช้มือลองถอนขนบริเวณขา ถ้าถอนออกได้ง่ายแสดงว่าใช้ได้แล้ว ดังนั้นจึงเริ่มชูดขนในส่วนที่โผล่เหนือน้ำร้อน โดยใช้มีดสำหรับชูดขน ยาวประมาณ 6 นิ้ว และใช้มีดตัดแต่งซาก ยาวประมาณ 6 นิ้ว ชูดขนซ้ำอีกครั้งเพื่อตกแต่ง เสร็จแล้วล้างตัวสุกรด้วยน้ำ ขั้นตอนการชูดขนใช้เวลาประมาณ 15 นาที เมื่อชูดขนเสร็จก็จะนำไปผ่าเปิดซากเพื่อเอาอวัยวะภายในออก

**3.5.4 การเอาอวัยวะภายในออก** โดยเริ่มจากพลิกสุกรให้อยู่ในลักษณะหงายท้องแล้วใช้มีดกรีดตลอดแนวกึ่งกลางลำตัวตั้งแต่คอจนถึงสะโพก แล้วจึงใช้มีดผ่าเปิดช่องท้อง ระวังอย่าให้ถูกลำไส้ ต่อจากนั้นใช้มีดปังตอผ่ากลางระหว่างขาหลังทั้ง 2 ข้าง และขาหน้าทั้ง 2 ข้าง และใช้มือดึงเพื่อแยกกระดูกสะโพกออกเป็น 2 ซีก และกระดูกอกออกเป็น 2 ซีก ตามลำดับ จากนั้นใช้มีดควานรอบช่องขับถ่ายหนัก เพื่อตัดกล้ามเนื้อที่ยึดบริเวณรอบๆ ช่องขับถ่ายให้ขาด แล้วจึงใช้มือดึงช่องขับ

ถ่ายขึ้นมาวางลงบนพื้นทั้งหมด ใช้มีดตัดหลอดอาหารที่อยู่เหนือกระเพาะอาหาร เพื่อแยกอวัยวะของระบบทางเดินอาหารออกจากอวัยวะของระบบทางเดินหายใจ เสร็จแล้วนำไปล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด และนำไปต้มให้สุก ส่วนอวัยวะภายในที่เหลือจะนำออกมาโดยใช้มีดตัดหลอดลมและหลอดอาหารแล้วดึงหลอดลมและหลอดอาหารขึ้นมา และใช้มีดช่วยตัดเนื้อเยื่อที่ยึดกับอวัยวะภายในให้ขาด เสร็จแล้วนำไปแช่น้ำในอ่าง

**3.5.5 การเอาเลือดออก** หลังจากนำอวัยวะภายในออกหมดแล้ว จะใช้มือค่อยๆ ตักเลือดที่ค้างอยู่ในช่องท้องและช่องอกออกให้หมดใส่ในภาชนะ เสร็จแล้วใช้น้ำล้างซาก 2-3 ครั้ง

**3.5.6 การตัดหัว** ใช้มีดควั่นรอบคอในตำแหน่งใต้กกหูหรือบริเวณขากรรไกรจนครบรอบแล้วใช้มีดค่อยๆ ตัดลงไปตามรอย เมื่อพบรอยต่อของกระดูกกะโหลกศีรษะกับกระดูกคอใช้มีดเลาะตามรอยต่อ จะได้ส่วนหัวหลุดออกมา

**3.5.7 การตัดขา** เริ่มจากตัดแยกขาหน้าออกจากลำตัวโดยใช้มีดปังตอควั่นรอบระหว่างรอยต่อของกระดูก radias ulna กับกระดูก humerus แล้วใช้สันมีดปังตอสับลงบนกระดูก humerus เหนือรอยต่อของกระดูกทั้งสอง ก็จะได้ขาหน้าออกมา นำไปชั่งน้ำหนัก ต่อจากนั้นตัดแยกขาหลังออกจากสะโพก โดยใช้มีดปังตอควั่นรอบรอยต่อของกระดูก femur และกระดูก tibia แล้วใช้สันมีดปังตอสับ ก็จะได้ขาหลังออกมา นำไปชั่งน้ำหนัก

**3.5.7 การผ่าซากออกเป็น 2 ซีก** ขั้นตอนนี้ทำบนพื้นปูน โดยเริ่มจากจับซากสุกรให้อยู่ในลักษณะหงายท้อง หลังจากนั้นใช้มีดปังตอสับตามแนวกระดูกสันหลังให้ขาดออกจากกัน แต่ไขมันสันหลังและหนังยังไม่ขาดออกจากกัน ต่อจากนั้นใช้มือดึงไขมันหุ้มไตออกและใช้มีดค่อยๆ เลาะกล้ามเนื้อสันในออกมาด้วย นำไปชั่งน้ำหนัก

**3.5.8 การแบ่งซาก** แบ่งซากออกเป็น 5 ส่วน คือ ขา ไหล่ สามชั้น หน้าตั้ง และสะโพก (Figure 18) เนื่องจากขาถูกตัดออกไปแล้ว ดังนั้นจึงเริ่มจากใช้มีดปังตอสับระหว่างกระดูกซี่โครงคู่ที่ 6 กับ 7 ในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลัง เพื่อแยกส่วนของไหล่ และสับที่บริเวณกระดูก lumbar vertebrae ข้อที่ 3 และ 4 ในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลัง เพื่อแยกส่วนของสะโพก หลังจากนั้นใช้มีดปังตอสับกระดูกซี่โครงเป็นแนวยาวขนานกับแนวกระดูกสันหลัง ตั้งแต่กระดูกซี่โครงคู่ที่ 1 จนถึงรอยที่ตัดส่วนของสะโพก โดยมีระยะห่างจากแนวกระดูกสันหลังประมาณ 3 นิ้ว จะได้ส่วนของสามชั้นและหน้าตั้ง ตัดแยกชิ้นส่วนทั้งหมดให้ขาดออกจากกัน โดยใช้มีดตัดไขมันสันหลังและหนังตามรอยที่แบ่งซากไว้ตอนแรก

**3.5.9 การหาน้ำหนักซากสด** นำชิ้นส่วนที่แยกได้ทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบสปริง ขนาด 60 กก. ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ก็จะได้เป็นน้ำหนักซากสด (hot carcass weight) ดังแสดงในสูตร

น้ำหนักซากสด (กก.) = ผลรวมของน้ำหนัก (ขา + หัวไหล่ + สามชั้น + หน้าตั้ง + สันใน +สะโพก)

**Figure 18** Wholesale cuts of carcass.

**3.5.10 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-values)** สำหรับหน้าตั้ง (T-bone) ซีกซ้ายตั้งแต่ซี่โครงคู่ที่ 7 ถึงคู่ที่ 14 (Figure 19) จะนำไปวัดค่า pH โดยจะวัดที่เวลา 45 นาที หลังจากสุกรถูกฆ่า ($pH_1$) เสร็จแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปศึกษาคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อต่อไป

**3.5.11 การหาเปอร์เซ็นต์ซาก** เนื่องจากไม่สามารถนำซากทั้งหมดมาแช่เย็นได้ ดังนั้นการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก (dressing percentage) จึงใช้น้ำหนักซากสดที่ชั่งได้ มาใช้สำหรับคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซากแทนการใช้น้ำหนักซากเย็น (chilled carcass weight) สำหรับการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก จากน้ำหนักซากสด สามารถหาได้โดย นำน้ำหนักซากสดที่ชั่งได้ลบด้วย 3%ของน้ำหนักซากสด หลังจากนั้นนำน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่ามาหาร เสร็จแล้วทำเป็นเปอร์เซ็นต์โดยคูณด้วย 100 ดังแสดงในสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก (dressing percentage)} = \frac{(\text{น้ำหนักซากสด} - 3\%\ \text{น้ำหนักซากสด}) \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

**Figure 19** T-bone (left rib $7^{th}$-$14^{th}$ ) for evaluated carcass and meat quality.

**3.5.12 ความหนาของไขมันสันหลัง (backfat thickness)** นำซากซีกซ้ายที่เป็นส่วนของหน้าตั้ง ซึ่งมีกล้ามเนื้อสันนอกติดอยู่กับกระดูกสันหลังและกระดูกซี่โครง โดยผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาแล้ว มาวัดไขมันบนกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dorsi*) เริ่มจากการนำหน้าตั้งมาตัดระหว่างซี่โครงคู่ที่ 10 กับ 11 รวมทั้งกระดูกสันหลังด้วย หลังจากนั้นใช้ Backfat Probe วัดความหนาของไขมันสันหลังที่ตำแหน่ง 3/4 ของความยาวของกล้ามเนื้อสันนอกค่อนไปทางลำตัว ดังแสดงใน Figure 20 (อ้างโดย สัญชัย, 2534)

**3.5.13 พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (loin eye area)** โดยการวัดบนกล้ามเนื้อสันนอก เริ่มจากนำหน้าตั้งมาตัดระหว่างซี่โครงคู่ที่ 10 กับ 11 รวมทั้งกระดูกสันหลังด้วย หลังจากนั้นใช้กระดาษลอกลายมาวางทาบ แล้วลากเส้นตามเส้นของพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Figure 21) นำกระดาษที่ลากเส้นเสร็จแล้ว มาวัดพื้นที่ด้วยเครื่องพลานิมีเตอร์ (planimeter) ดังแสดงใน Figure 22 ซึ่งจะได้พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (อ้างโดย สัญชัย, 2534)

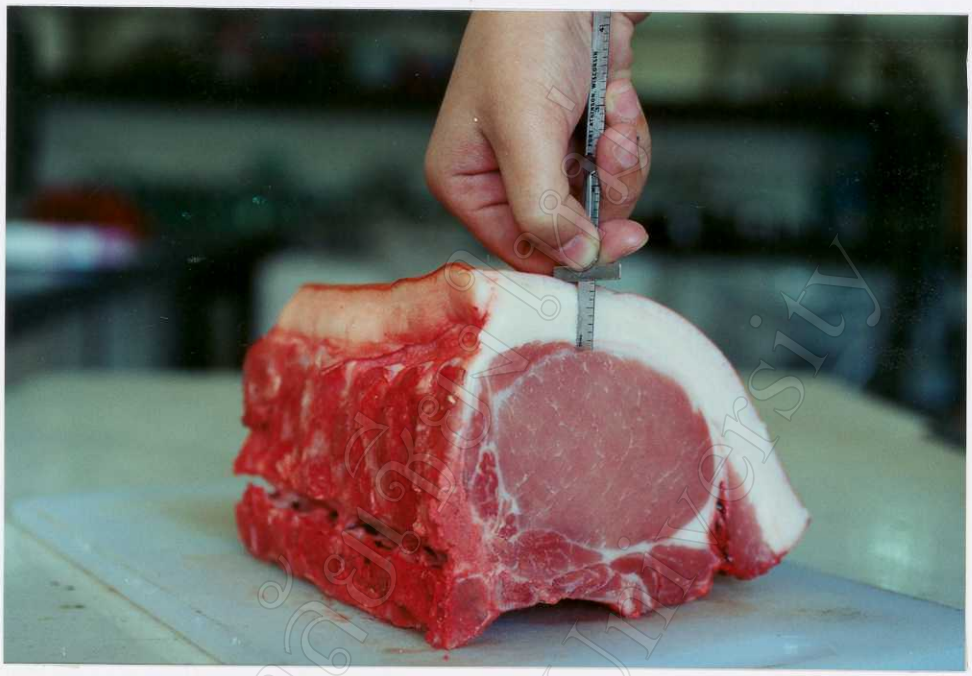


**Figure 20** Using Backfat Probe to measure backfat thickness.

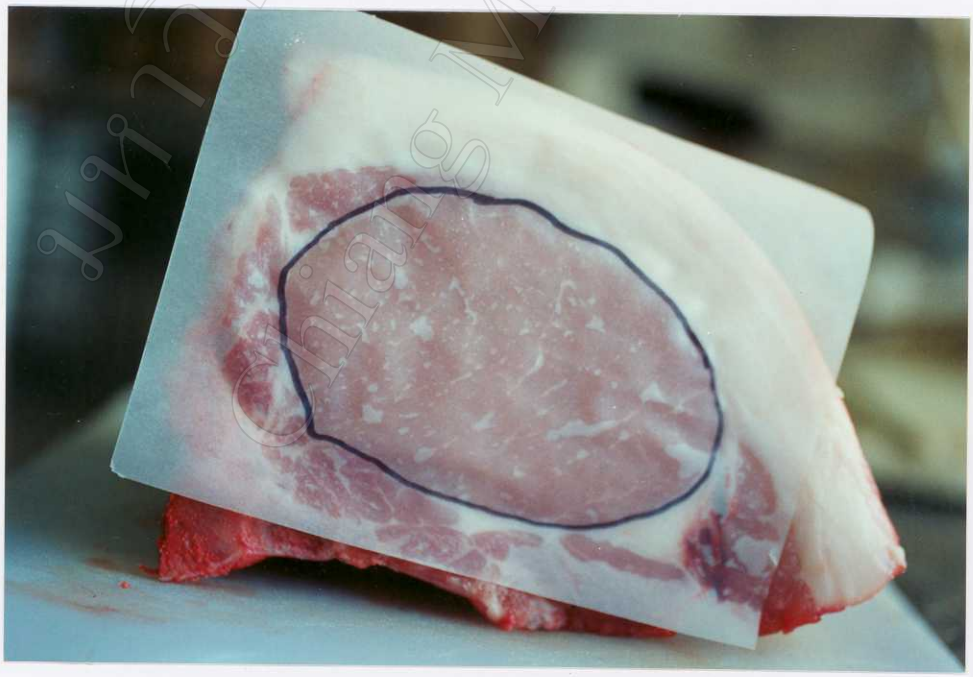


**Figure 21** Using transparence paper to measure loin eye area.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

**Figure 22** Using Planimeter to measure loin eye area.

**3.5.14 การประเมินเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (lean meat percentage)** ได้จากการนำข้อมูลแต่ละส่วนของ น้ำหนักซากสด ความหนาของไขมันสันหลัง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ไปเทียบกับตารางการประเมินเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของซากสุกร (ภาคผนวก ข) ซึ่งจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของแต่ละส่วน แล้วนำเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงทั้ง 3 ส่วนมารวมกัน จะได้เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงทั้งหมด (อ้างโดย สัญชัย, 2534)

### 3.6 การศึกษาคุณภาพเนื้อ

การศึกษาคุณภาพเนื้อ ทำการศึกษากับกล้ามเนื้อสันนอกซีกซ้ายของซาก โดยนำส่วนของกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับหน้าตั้ง มาทำการศึกษาดังนี้

**3.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (pH-values)** ทำการวัดที่กล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้ง โดยใช้ pH–meter สอดเข้าไปในกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงคู่ที่ 13 กับ 14 ลึกประมาณ 4 เซนติเมตร วัด 2 ครั้งที่ระยะเวลาต่างกันดังนี้

ครั้งที่ 1 วัดที่เวลา 45 นาที หลังจากสุกรถูกฆ่า ($pH_1$) โดยนำส่วนของหน้าตั้งที่ได้จากการตัดแต่งซากมาวัด pH ครั้งที่ 1 เสร็จแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอการวัด pH ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 2 วัดที่เวลา 24 ชั่วโมง หลังจากสุกรถูกฆ่า ($pH_u$) โดยนำส่วนของหน้าตั้งที่ได้จากการตัดแต่งและวัด pH ครั้งที่ 1 แล้ว มาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วก็นำมาวัด pH ครั้งที่ 2 (อ้างโดย สัญชัย, 2543)

เมื่อเสร็จขั้นตอนของการวัด pH ครั้งที่ 2 แล้ว ส่วนของหน้าตั้งจะถูกนำไปศึกษาคุณภาพเนื้อด้านอื่นต่อไป (Table 4)

**Table 4** Position of *longissimus dorsi* for evaluated meat quality.

| Position of longissimus dorsi | Evaluation of meat quality |
|---|---|
| Rib $8^{th} - 9^{th}$ | Rancidity |
| Rib $9^{th} - 10^{th}$ | Colour |
| Rib $10^{th} - 11^{th}$ | Drip loss |
| Rib $11^{th} - 12^{th}$ | Thawing loss and Cooking loss |
| Rib $13^{th} - 14^{th}$ | pH -values |

**3.6.2 วัดการสูญเสียน้ำ (drip loss)** โดยวิธีของ Honikel (1987) ทำเป็นลำดับดังแสดงด้านล่าง โดยนำกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้งที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดให้เป็นชิ้นหนา 2.5 เซนติเมตร และตัดแต่งเนื้อเยื่อไขมันออก แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_1$) เสร็จแล้วนำผ้าขาวบางมาห่อ และนำไปแขวนในถุงพลาสติกโดยอย่าให้ชิ้นเนื้อสัมผัสกับด้านล่างของถุงพลาสติก เสร็จแล้วปิดปากถุงให้สนิท แล้วนำไปแขวนในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Figure 23) เมื่อครบกำหนด นำชิ้นเนื้อออกมาจากถุง แล้วใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวที่ติดอยู่ที่ชิ้นเนื้อ หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_2$) แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ

นำกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้งที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชม. มาตัดให้เป็นชิ้นหนา 2.5 ซม.

⇩

ตัดแต่งเนื้อเยื่อไขมันออก นำเนื้อไปชั่งน้ำหนัก ($W_1$)

⇩

ห่อด้วยผ้าขาวบาง นำไปแขวนในถุงพลาสติกแล้วปิดปากถุงให้สนิท

⇩

นำไปแขวนในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชม.

⇩

นำเนื้อออกจากถุง ใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวที่ติดอยู่ที่เนื้อ นำไปชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

⇩

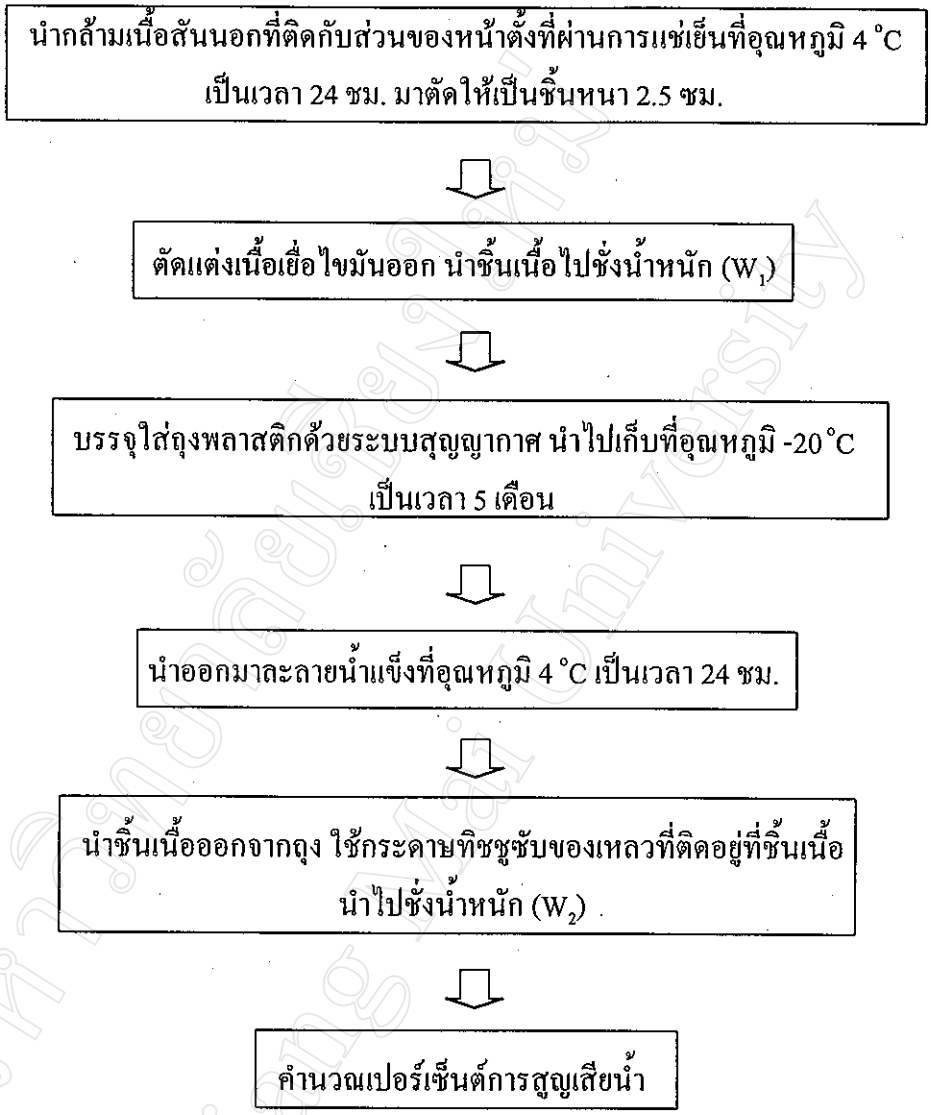
คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ โดยนำน้ำหนักของเนื้อที่ชั่งหลังจากแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ($W_2$) ไปลบออกจากน้ำหนักของเนื้อก่อนแช่เย็น ($W_1$) นำผลลัพธ์ที่ได้หารด้วยน้ำหนักของเนื้อก่อนแช่เย็น ($W_1$) แล้วทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยคูณด้วย 100 ดังแสดงในสูตร

$$\text{Drip loss (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100$$

**Figure 23** Drip loss measurement of fresh pork.

**3.6.3 การสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง (thawing loss)** การวัดทำเป็นลำดับดังแสดงด้านล่าง โดยนำกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้งที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดเป็นชิ้นหนา 2.5 เซนติเมตร ตัดแต่งเนื้อเยื่อไขมันออกให้เรียบร้อย นำมาชั่งน้ำหนัก ($W_1$) แล้วนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติก ด้วยระบบสุญญากาศ และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20 °C นำชิ้นเนื้อที่ผ่านการเก็บที่อุณหภูมิดังกล่าว มาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำชิ้นเนื้อออกจากถุง แล้วใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวที่ติดอยู่กับชิ้นเนื้อเสร็จแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ($W_2$) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง (อ้างโดย สัญชัย, 2543)




คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง โดยนำน้ำหนักของเนื้อที่ชั่งได้หลังจากที่ผ่านการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ($W_2$) ไปลบออกจากน้ำหนักของเนื้อก่อนแช่แข็ง ($W_1$) นำผลลัพธ์ที่ได้หารด้วยน้ำหนักของเนื้อก่อนแช่แข็ง ($W_1$) แล้วทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยคูณด้วย 100 ดังแสดงในสูตร

$$\text{Thawing loss (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100$$

**3.6.4 การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหาร (cooking loss)** ทำเป็นลำดับดังแสดงด้านล่าง โดยใช้ชิ้นเนื้อในข้อ 3.5.3 หลังจากละลายน้ำแข็งแล้ว มาชั่งน้ำหนัก ($W_1$) และวัดอุณหภูมิ โดยใช้เข็มวัดอุณหภูมิ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการต้ม เสร็จแล้วบรรจุชิ้นเนื้อใส่ถุงพลาสติก ก่อนนำไปต้ม เสียบเข็มวัดอุณหภูมิไว้ที่ชิ้นเนื้อด้วย เพื่อใช้วัดอุณหภูมิใจกลางของชิ้นเนื้อ ซึ่งต้องต้มให้ชิ้นเนื้อมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ 72 °C หลังจากนั้นนำชิ้นเนื้อไปต้มในเครื่องอบไอน้ำความดัน โดยตั้งอุณหภูมิของน้ำไว้ที่ 80 °C เมื่อครบกำหนดในการต้ม นำชิ้นเนื้อออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำออกจากถุง และใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวที่ติดอยู่ที่ชิ้นเนื้อให้หมด นำไปชั่งน้ำหนัก ($W_2$) เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหาร

นำชิ้นเนื้อในข้อ 3.5.3 หลังจากละลายน้ำแข็งแล้วมาชั่งน้ำหนัก ($W_1$)

↓

วัดอุณหภูมิชิ้นเนื้อ เสร็จแล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติก เสียบเข็มวัดอุณหภูมิไว้ที่ชิ้นเนื้อ

↓

นำไปต้มในเครื่องอบไอน้ำความดัน อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 80 °C
ต้มให้เนื้อมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ 72 °C

↓

นำชิ้นเนื้อออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำออกจากถุง
ใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวที่ติดอยู่ที่ชิ้นเนื้อให้หมด นำไปชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

↓

คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ

คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหาร โดยนำน้ำหนักของเนื้อที่ชั่งได้หลังจากที่ผ่านการต้ม ($W_2$) ไปลบออกจากน้ำหนักของเนื้อที่ชั่งได้หลังจากที่ผ่านการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ($W_1$) นำผลลัพธ์ที่ได้หารด้วยน้ำหนักของเนื้อหลังจากละลายน้ำแข็ง ($W_1$) แล้วทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยคูณด้วย 100 ดังแสดงในสูตร

$$\text{Cooking loss (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100$$

**3.6.5 สีเนื้อ (colour of meat)** วัดบนกล้ามเนื้อสันนอกนอก โดยวิธีของ Gerdemann (1996) ด้วยเครื่อง Chroma Meter (CR-300, MINOLTA, Japan) ทำเป็นลำดับดังแสดงด้านล่าง โดยนำกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้งที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดเป็นชิ้น ให้มีความหนา 2.5 เซนติเมตร นำไปใส่ถุงพลาสติก แล้วปิดปากถุงให้สนิท เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำชิ้นเนื้อออกจากถุง วางใส่ถาดไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดสี (Figure 24) ซึ่งจะวัด 5 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

นำกล้ามเนื้อสันนอกที่ติดกับส่วนของหน้าตั้งที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดเป็นชิ้นหนา 2.5 เซนติเมตร

⇩

นำไปใส่ถุงพลาสติก แล้วปิดปากถุงให้สนิท เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

⇩

นำชิ้นเนื้อออกจากถุง วางใส่ถาดไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 นาที

⇩

นำไปวัดสีด้วยเครื่อง Chroma Meter

**Figure 24** Using Chroma Meter to measure a* values.

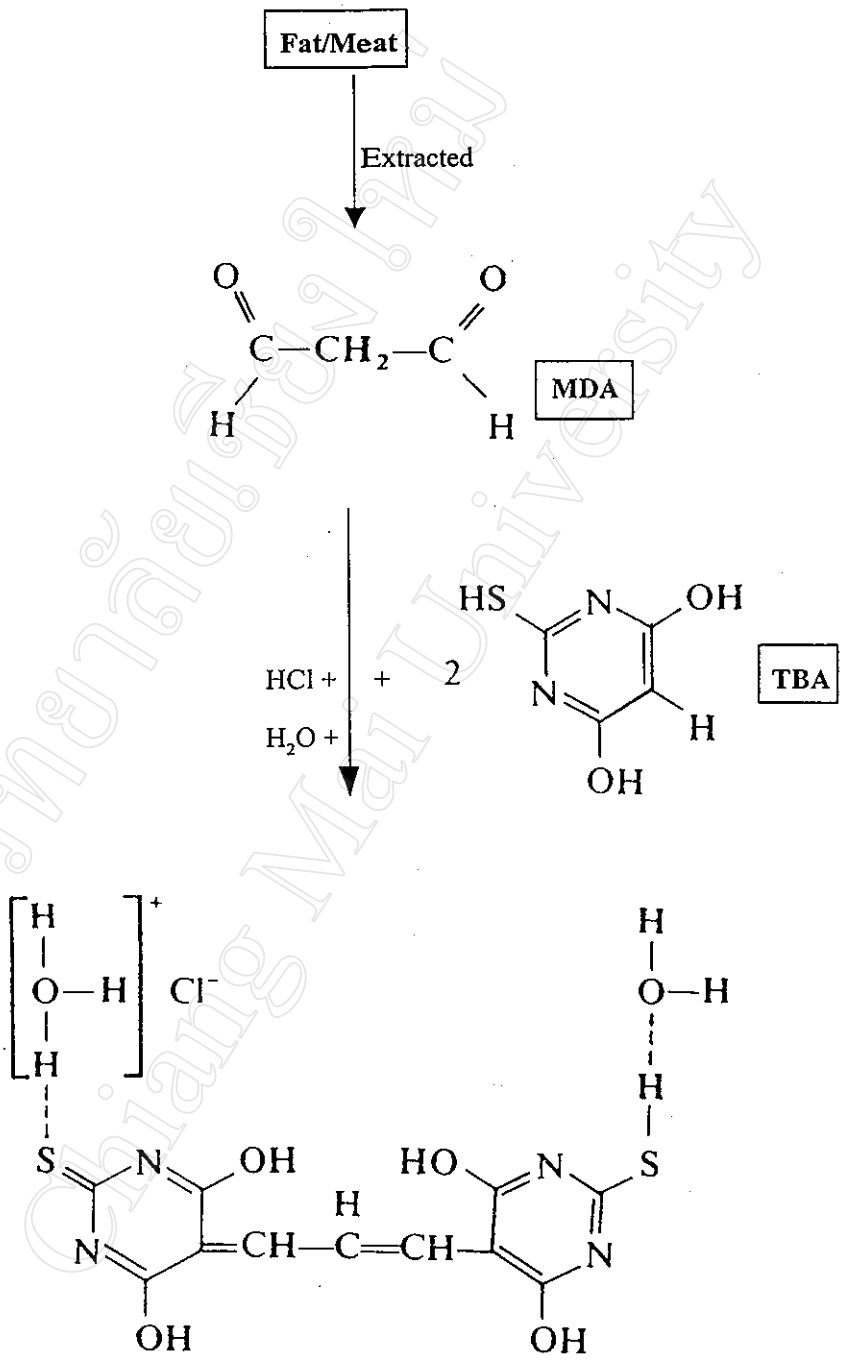
**3.6.6 การหืนของเนื้อและไขมันสันหลัง (rancidity of meat and back fat)** ตรวจสอบโดยวิธีไธโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric, TBA test), Rosscell (1994)

**3.6.6.1 หลักการ**

เมื่อกรดไธโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric acid) ทำปฏิกิริยากับมาโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการสลายตัวของลิปิดในขบวนการออกซิเดชั่น จะทำให้เกิดสีที่เรียกว่า ทีบีเอ โครมาเจน (TBA chromagen) ซึ่งมีสีแดง (Figure 25) มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร

**3.6.6.2 ขั้นตอนการเตรียมสาร**

น้ำยาทีบีเอ (TBA reagent) เตรียมโดยละลายกรดไธโอบาร์บิทูริค 0.2883 กรัม ใน 100 มล. ของ 90% กลาเชียล์ อะซีติค แอซิค (glacial acetic acid)




**Colour complex**

**(TBA Chromagen)**

**(hydrogen bonded form)**

**Figure 25** Reaction of thiobarbituric acid with malonaldehyde (adapted from Akoh and Min, 1998; Rosscell, 1994).

**3.6.6.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง**

นำตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20 °C เป็นระยะเวลา 7 เดือน มาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อละลายน้ำแข็งอย่างช้าๆ เมื่อครบกำหนดแล้ว นำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป และเริ่มนับเป็นวันที่ 0 ของการวิเคราะห์ความหืน ตัวอย่างที่เหลือจะนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดยบรรจุใส่ถุงพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ครั้งต่อไป โดยจะแบ่งช่วงเวลาของการวิเคราะห์เป็น วันที่ 0, 3, 6 และ 9 ของการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

**3.6.6.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์**

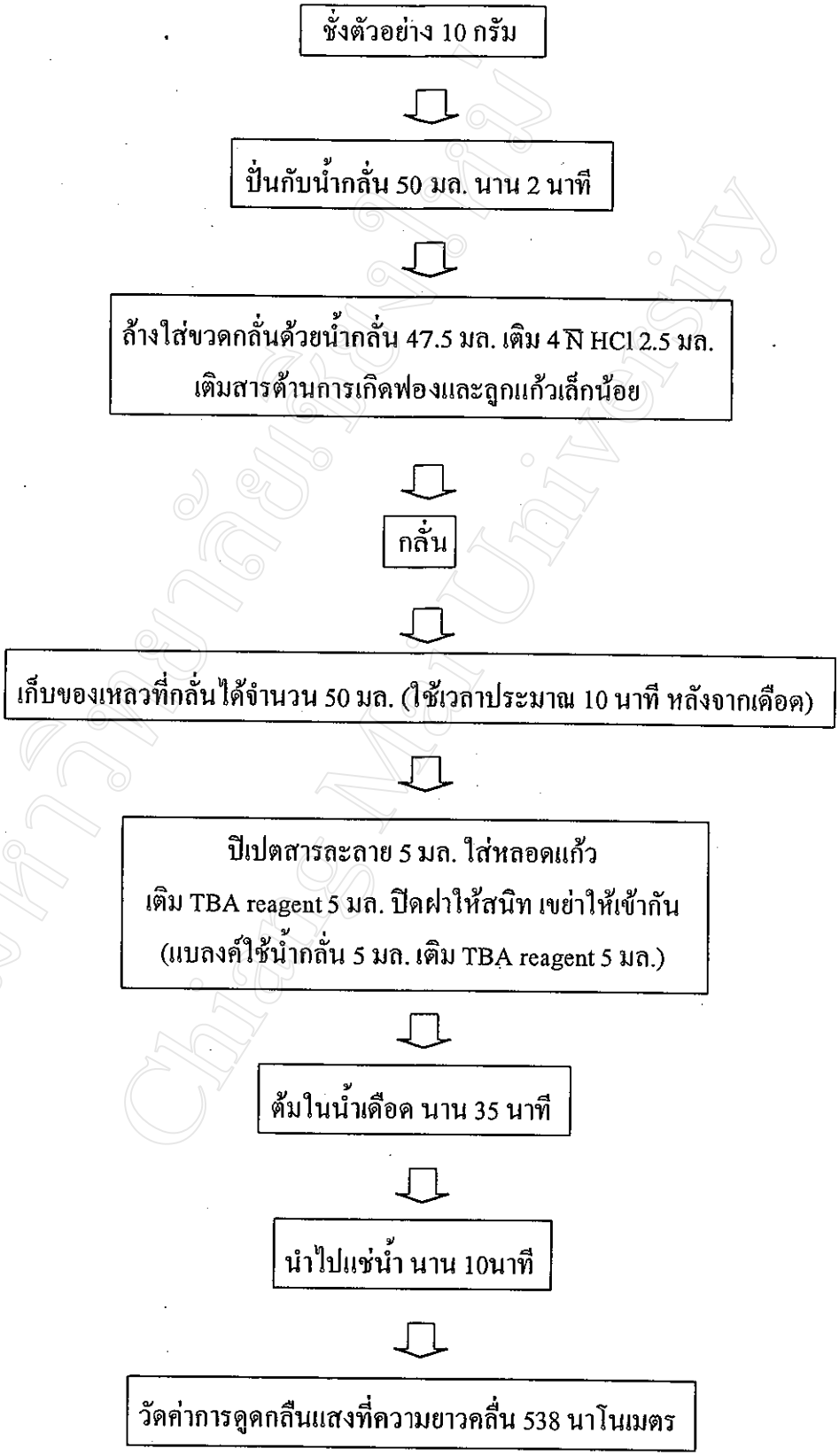
ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำมาปั่นกับน้ำกลั่น 50 มล. เป็นเวลา 2 นาที ล้างใส่ขวดกลั่น (distillation flask) ด้วยน้ำกลั่น 47.5 มล. และเติม 2.5 มล. ของ 4 $\overline{N}$ (hydrochloric acid) หลังจากนั้นเติมสารต้านการเกิดฟอง (anti-foaming agent) และลูกแก้ว (glass beads) เล็กน้อย นำไปกลั่นและเก็บสารละลายที่กลั่นได้จำนวน 50 มล. (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที หลังจากเดือด)

ปิเปตสารละลายที่กลั่นได้ 5 มล. ใส่ในหลอดที่มีจุกทำด้วยแก้ว (glass-stoppered tube) เติม TBA reagent 5 มล. ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน สำหรับแบลงค์ (blank) ใช้น้ำกลั่น 5 มล. เติม TBA reagent 5 มล. ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มพร้อมกันในน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที ทำให้เย็นโดยนำไปแช่น้ำ เป็นเวลา 10 นาที (Figure 29)

**3.6.6.5 ขั้นตอนการวัด**

นำสารละลายที่เย็นแล้ว ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร โดยใช้สเปกโทรโฟโตมีเตอร์ (spectrophotometer, DU® 7500 BECKMAN, USA) บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่อ่านได้และนำไปคูณกับ 7.8 จะได้ TBA-values มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (mg MDA/kg of sample) ดังแสดงในสูตร

**TBA-values (mg MDA/kg of sample) = 7.8 x OD**


ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม
ปั่นกับน้ำกลั่น 50 มล. นาน 2 นาที
ล้างใส่ขวดกลั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มล. เติม 4 N HCl 2.5 มล.
เติมสารต้านการเกิดฟองและลูกแก้วเล็กน้อย
กลั่น
เก็บของเหลวที่กลั่นได้จำนวน 50 มล. (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที หลังจากเดือด)
ปิเปตสารละลาย 5 มล. ใส่หลอดแก้ว
เติม TBA reagent 5 มล. ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน
(แบลงค์ใช้น้ำกลั่น 5 มล. เติม TBA reagent 5 มล.)
ต้มในน้ำเดือด นาน 35 นาที
นำไปแช่น้ำ นาน 10นาที
วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร

**3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) การทดลองแบบแฟคทอเรียล และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Least Significant Difference (Snedecer and Coechran, 1966)

**3.8 สถานที่ทำการวิจัย**

1. กิตติวัฒน์ฟาร์ม อ. สันทราย จ. เชียงใหม่
2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**3.9 ระยะเวลาทำการวิจัย**

ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 10 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University