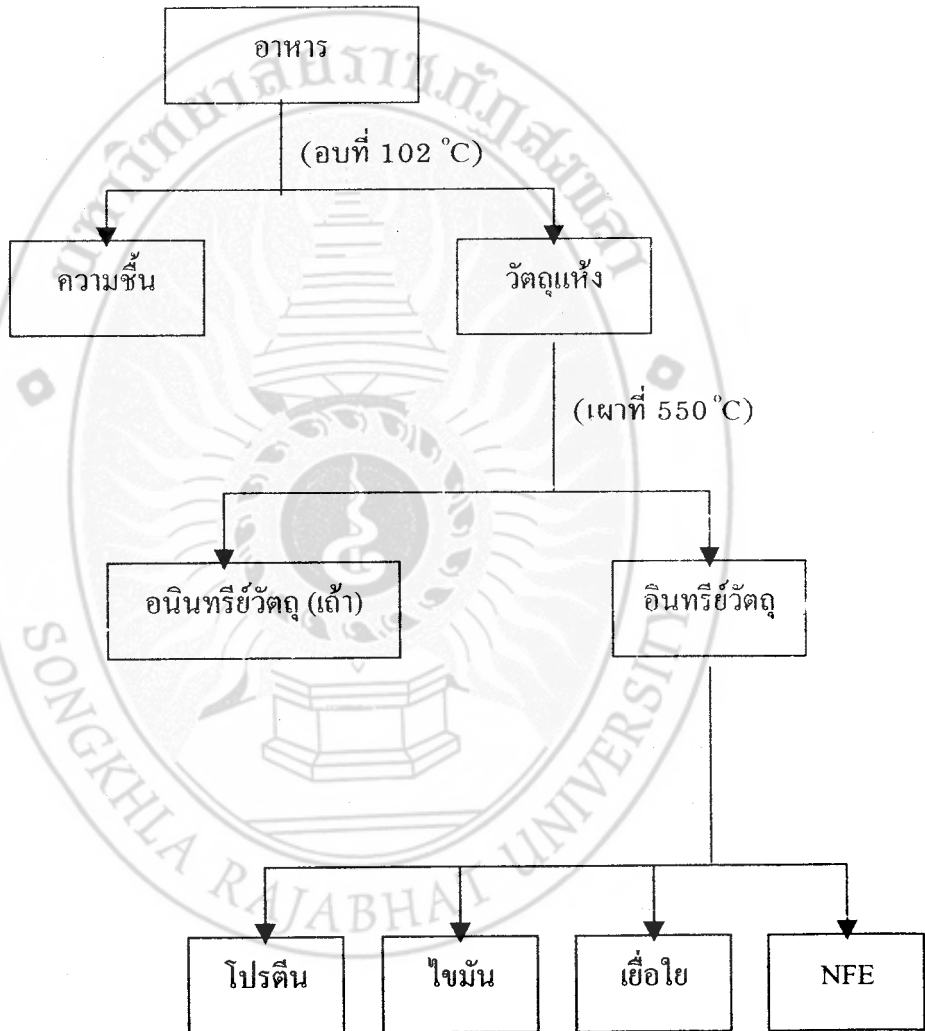


ภาคผนวก



### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

การที่จะทราบว่าอาหารหรือตัวอย่างที่ศึกษามีคุณค่าทางอาหารมากน้อยเพียงใดสามารถตรวจสอบได้หลายวิธี วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมกันโดยทั่วไปว่า วินเดอร์ (Weende analysis) หรือพรอกซิเมท อนาไลซิส (Proximate analysis) วิธีการวิเคราะห์สามารถสรุปได้สั้น ๆ ดังนี้



การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ทำให้ทราบว่าอาหารนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการมากน้อยเพียงใด วิธีการวิเคราะห์สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันในห้องปฏิบัติการปัจจุบันคือ วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี หรือนิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า วินเดอร์ (Weender analysis) หรือพรอกซิเมท (Proximate analysis) วิธีการนี้คิดค้นที่ประเทศเยอรมันนี โดยเฮเนเนแบร์ก และสโตมันน์ (Heneberg and Stomann) แห่งเมืองก็อททิงเก้น (Gottingen) ในปี ค.ศ. 1862 และนิยมใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน แต่การวิเคราะห์โดยวิธีนี้เมื่อทำการวิเคราะห์หาเยื่อใยโดย

เฉพาะส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช เช่น เพคติน ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส บางส่วนอาจจะละลายออกมาในรูปของไนโตรเจนฟรีเอกแทรก (NFE) ได้ จึงทำให้ค่าที่ได้ในการวิเคราะห์หาเยื่อใยไม่ถูกต้องนัก หากทำการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชที่มีเยื่อใยสูง จึงนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์เยื่อใยแบบดีเทอร์เจนท์ (Detergent method) ซึ่งวิธีนี้สามารถแยกองค์ประกอบทางเยื่อใยในพืชได้

การวิเคราะห์วิธีนี้แบ่งโภชนะออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 6 กลุ่ม คือ (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545 หน้า 36-79)

1. ความชื้น ( Moisture )
2. เถ้า ( Ash )
3. โปรตีน ( Crude protein หรือ CP )
4. ไขมัน ( Ether extract หรือ EE )
5. เยื่อใย ( Crude fiber หรือ CF )
6. คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายหรือส่วนประกอบที่ไม่มีไนโตรเจน (Nitrogen free extract หรือ NFE )

โดยอาศัยหลักการที่ว่า ตัวอย่างทั่วไปไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างที่อยู่ในสภาพสด หรือพืชสด พืชหมัก เนื้อ นม ไข่ มูลสัตว์ หรืออาหารสภาพแห้งต่างมีน้ำหรือความชื้นเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยกันทั้งสิ้น ถ้าหักปริมาณน้ำออก สิ่งที่เหลือคือวัตถุแห้ง ( Dry matter หรือ DM ) ในวัตถุแห้งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนที่เป็นอินทรีย์สาร ( organic matter ) และส่วนที่เป็นอนินทรีย์สาร ( inorganic matter ) เมื่อนำตัวอย่างมาเผา ส่วนที่เป็นอินทรีย์สารจะสลายตัวไปเหลือเถ้าซึ่งเป็นอนินทรีย์สาร ซึ่งประกอบด้วยโภชนะใหญ่ ๆ 4 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่มีไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์หามีได้แยกประเภทของสารเหล่านี้ จึงเรียกค่าที่วิเคราะห์ได้รวม ๆ กันว่า โปรตีนหยาบ ( Crude protein หรือ CP )
2. กลุ่มที่ละลายในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น ปีโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether) หรือ ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เป็นต้น ซึ่งประกอบด้วยโภชนะหลายประเภท เช่น ไขมัน วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน สารสี สอริโมนบางชนิด ค่าที่วิเคราะห์ได้เรียกรวม ๆ กันว่า สารสกัดอีเธอร์ (Ether extract หรือ EE) หรือเรียกง่าย ๆ ว่าไขมัน
3. กลุ่มที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเยื่อใยในอาหาร จึงเรียกค่าที่วิเคราะห์ได้รวม ๆ กันว่าเยื่อใย ( Crude fiber หรือ CF )
4. กลุ่มที่ปราศจากไนโตรเจนและย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย เรียกค่าที่วิเคราะห์ได้นี้ว่า ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (Nitrogen free extract หรือ NFE)

การวิเคราะห์แบบนี้มีความเที่ยงตรงโดยประมาณ ดังนี้

Crude Protein	V ± ร้อยละ 10
Crude Fat	V ± ร้อยละ 8
Ash	V ± ร้อยละ 4-5
Crude Fiber	V ± ร้อยละ 10-15
NFE	V ± ร้อยละ 8

V = ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

## 1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Dry matter หรือ Moisture)

ความชื้นเป็นน้ำหรือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile matter) ที่สูญเสียไปจากอาหารเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหาร อุณหภูมิที่ให้แก่อาหารต้องไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำหรือให้ความชื้นในสภาพสุญญากาศ หรืออาจปล่อยอาหารทิ้งไว้ในสารดูดความชื้น ส่วนกากหรือของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำออกไปหมดแล้ว เรียกว่า ของแข็งทั้งหมด (total solid)

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบลมร้อน ( Hot air Oven )
3. โถดูดความชื้น ( Desiccator )
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

วิธีการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถใช้วิธีการดังต่อไปนี้ คือ การใช้ตู้อบไฟฟ้า การใช้เครื่องชั่งแบบอินฟราเรด การใช้ตู้อบสุญญากาศ การกลั่น การใช้ไฮโดรมิเตอร์และการใช้รีแฟรกโตมิเตอร์ ซึ่ง สำหรับเนื้อหาในบทนี้ขอกกล่าวเพียงวิธีการใช้ตู้อบไฟฟ้าเท่านั้น ( ดัดแปลงจาก A.O.A.C. , 1999 อ้างโดย ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545 หน้า 42) โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักจดบันทึกผลไว้
2. กระทำตามข้อ 1 ข้างบนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้น้ำหนักแน่นอนอย่างละเอียด ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว
4. ทำให้ตัวอย่างแห้งโดยอบในตู้อบไฟฟ้า
  - ก. ตัวอย่างอาหารแห้ง ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 - 6 ชั่วโมง หรืออบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง



ข. ตัวอย่างสด ( เปียก ) ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรืออบที่ 135 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างคงที่

5. นำออกจากตู้อบ วางให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

6. อบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

#### การคำนวณผล

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

หมายเหตุ : สามารถใช้ตัวอย่างนี้ไปวิเคราะห์เถ้า ( Ash ) ได้

#### 2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ( Ash )

เถ้าคือ องค์ประกอบส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ( Inorganic substances ) ในตัวอย่างมีหลักการง่าย ๆ คือ เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ ( Organic substances ) ไหม้หมดไป ส่วนที่เหลือก็คือ สารอนินทรีย์ สำหรับองค์ประกอบของเถ้าขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและวิธีการเผา เถ้าประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม สำหรับแคลเซียม พบมากในไข่และนม ฟอสฟอรัส พบมากในธัญพืช ถั่ว และเนื้อสัตว์ เหล็กพบมากในธัญพืช อาหารทะเล ไข่และเนื้อสัตว์ โซเดียมพบในอาหารที่มีรสเค็ม โพแทสเซียมมีในผักผลไม้และแมกนีเซียมมีใน เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ เป็นต้น

ปริมาณเถ้าสามารถใช้เป็นเครื่องชี้คุณภาพของอาหารบางชนิดได้ อาหารบางชนิดที่มีปริมาณเถ้ามากไปอาจเนื่องมาจากอาหารนั้นถูกปลอมปน เช่น อาหารพวกเครื่องเทศ เจลาติน น้ำตาลทราย และแป้ง เป็นต้น ดังนั้นปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้ควรอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ปริมาณเถ้าเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบอาหาร โดยทั่วไปอาหารจัดว่ามีปริมาณแร่ธาตุอยู่สูงและค่อนข้างคงที่ในเถ้าของตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Dry ashing เป็นการหาปริมาณเถ้าตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส น้ำและสารระเหยต่าง ๆ ในตัวอย่างจะระเหยกลายเป็นไอ สารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน แร่ธาตุส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นออกไซด์ ได้แก่ ซัลเฟอร์ ฟอสเฟตคลอไรด์ และซิลิเกต แร่ธาตุอื่น ๆ เช่น เหล็ก เซเลเนี่ยม

ยม ( Se ) ดีบุก และปรอท จะระเหยในขั้นตอนนี้ ดังนั้นถ้าต้องการวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่ระเหยได้ จึงไม่ควรใช้วิธีการนี้

2. Wet ashing เป็นการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้กรดและสารออกไซด์ หรือทั้งสองอย่างรวมกัน แร่ธาตุจะถูกละลายโดยกรด ที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดไนตริก และกรดเปอร์คลอริก เป็นต้น และควรทำในตู้ดูดไอกรด มักใช้กับตัวอย่างอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

3. Low-temperature plasma ash หรือ Low-temperature ashing เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าโดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าการกระทำในเตาเผา เพื่อป้องกันการระเหยแร่ธาตุส่วนใหญ่ที่มีในตัวอย่าง เป็น Dry ashing แบบหนึ่ง เพื่อการวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่ระเหยได้

ปริมาณเถ้าในตัวอย่างอาหาร แสดงให้เห็นว่า ถ้าอาหารตัวอย่างประเภทที่เป็นวัตถุดิบ จะมีปริมาณเถ้ามากกว่าร้อยละ 0.5 น้ำมันและไขมันจะมีปริมาณเถ้าอยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ผลิตภัณฑ์บางอย่าง ได้แก่ เบคอน (cured bacon) มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.6 และเนื้อวัวแห้งอาจมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 1.16 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียก

#### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. เตาเผา ( muffle furnace )
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ( porcelain crucible )
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เตอบไฟฟ้า
6. กรดกำมะถัน (  $H_2SO_4$  ) 0.05 M. หรือกรดเกลือเข้มข้น (HCl) 0.1 M.
7. เมธิล ออเรนจ์ (Methyl Orange)
8. กรดเกลือ (HCl) เข้มข้นร้อยละ 10

#### วิธีการ

1. บันทึกลักษณะตัวอย่างอาหาร
2. เตรียมตัวอย่างอาหาร

ก. วัตถุดิบพวกพืช ควรทำให้แห้งก่อนนำไปบด ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ทำให้แห้งด้วย โดยเฉพาะถ้าหากต้องนำตัวอย่างนี้ไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ อีกหลายค่า เช่น โปรตีน เส้นใย เป็นต้น แต่ถ้าหากพืชที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 15 ก็สามารถนำไปเผาได้โดยไม่ต้องผ่านการทำให้แห้ง

ข. ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ น้ำเชื่อม และเครื่องเทศนั้นควรนำไปทำให้แห้งบนหม้อต้มน้ำแบบปรับอุณหภูมิได้ หรืออบให้แห้งด้วยหลอดอินฟราเรดก่อนที่จะนำไปเข้าเตาเผา เพื่อป้องกันการกระเด็นหรือเกิดฟองขึ้น เพราะอาจทำให้สูญเสียตัวอย่างบางส่วนไป นอกจากนี้อาจจำเป็นต้องหยดน้ำมันมะกอก 1-2 หยด ลงบนตัวอย่าง นำไปทำให้แห้งบน water bath เพื่อป้องกันมิให้ผิวของตัวอย่างเกิดการไหม้แข็ง

3. เตรียมภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างอาหาร โดยเผาด้วยกระบี่อบเคลือบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักไว้ให้เย็นลงประมาณ 30 นาที ก่อนนำออกจากเตาเผา หลังจากนั้นจึงนำออกจากเตาเผา วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ( ควรเผาจนกระทั่งน้ำหนักของภาชนะคงที่ ) และชั่งน้ำหนักภาชนะที่แน่นอนบนทันทีที่เย็นบันทึกผลไว้

การหาปริมาณเถ้าทั้งหมด (dry ashing ; total ash ) (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999 อ้างโดย ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545 หน้า 52)

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด ประมาณ 3 - 5 กรัม ( ควรใช้ตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วสามารถนำมาหาเถ้าต่อได้ )

2. นำตัวอย่างไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน โดยใช้ตะเกียงเบนเสนหรือเตาไฟฟ้า แล้วจึงนำเข้าเตาเผา ตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส เผาจนกว่าตัวอย่างจะเป็นสีเทา (เป็นเวลาประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง)

3. นำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น และทำการชั่งน้ำหนักเถ้าที่เหลืออยู่ในกรณีที่มีเถ้าบางส่วนเป็นสีดำปนอยู่ให้หยดน้ำหรือกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ลงไปหลาย ๆ หยด แล้วนำไปเผาต่อตั้งชั้นตอนต่อไปนี้

1. ละลายเถ้าในน้ำ

2. กรองผ่านกระดาษกรองชนิดปราศจากเถ้า นำส่วนที่กรองได้ไปทำให้แห้ง

3. วางกระดาษและ Filtrate ที่ทำแห้งแล้วในเตาเผา ทำการเผาซ้ำอีกครั้ง

ข้อควรปฏิบัติ

1. ตัวอย่างที่มีไขมันสูงควรทำการสกัดไขมันออกก่อน โดยวิเคราะห์หาปริมาณไขมันหรือเผาก่อนนำเข้าเตาอบ ตัวอย่างเช่น เนื้อหมูแทรกไขมัน ถ้าหากเปิดประตูเตาเผาไว้อาจเกิดการลุกไหม้ได้ในเตาเผาที่มีก๊าซออกซิเจน

2. กลีเซอริน แอลกอฮอล์ และไฮโดรเจน จะเป็นตัวเร่งการเผาเถ้า

3. ตัวอย่างประเภทเจลลี่อาจเกิดการกระเด็น ควรผสมรวมเข้ากับสาลี

4. อาหารที่มีเกลืออยู่สูงควรแยกเถ้ากับตัวอย่างที่ไม่ละลายน้ำ หรือปิดฝาเพื่อป้องกันการกระเด็น

5. อาจเติมสารละลายแอลกอฮอล์ของแมกนีเซียมอะซิเตดลงไปในตัวอย่งพวกธัญพืช เพื่อเร่งการเผาเถ้าให้เร็วขึ้น และควรทำ Blank ควบคู่ไปด้วย

### การคำนวณ

$$\text{การหาปริมาณเถ้าทั้งหมด(น้ำหนักเปียก) (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$





## การคำนวณ

$$\text{สูตร ร้อยละ } N_2 = \frac{(V1 - V2) \times (14.007) \times (N)}{E} \times 100$$

V1 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรท

V2 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรท Blank

N = Normality ของกรด

E = น้ำหนักของสารตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัม

เนื่องจากโปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การหาปริมาณโปรตีนในอาหารจึงหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร โปรตีนโดยทั่วไปมีไนโตรเจนร้อยละ 16 ดังนั้นปริมาณของโปรตีนจะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดคูณด้วย 6.25 (6.25 เท่ากับ 100/16) ปริมาณโปรตีนที่หาได้นี้เรียกว่า “โปรตีนอย่างหยาบ” (Crude Protein) ดังนั้นการหาปริมาณโปรตีนอย่างหยาบจากไนโตรเจนจึงคำนวณโดยใช้แฟคเตอร์คูณปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด แฟคเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1

สูตรการคำนวณหา Crude protein (CP)

$$\text{ร้อยละ CP} = \frac{\text{ร้อยละ N}}{0.16}$$

$$\text{ร้อยละ CP} = \text{ร้อยละ N} \times 6.25$$

ตัวอย่างเช่น ปลาป่นมี N ร้อยละ 9.24  
 ดังนั้นจึงมี CP = 9.24 x 6.25 = ร้อยละ 57.75

ตารางผนวกที่ 1 ค่าแฟคเตอร์ของอาหารชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารอาหาร	แฟคเตอร์	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)
ธัญพืช		
แป้งสาลีจากข้าวทั้งเมล็ด	5.83	N * 5.83
มักกะโรนีและสปาเก็ตตี้	5.70	N * 5.70
ข้าวเจ้าและผลิตภัณฑ์	5.95	N * 5.95
ข้าวไรน์และผลิตภัณฑ์	5.83	N * 5.83
ข้าวบาเลย์และผลิตภัณฑ์	5.83	N * 5.83
ข้าวโพด ( Lima bean ,Mung bean )	6.25	N * 6.25
นัทและเมล็ดพืช		
ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์	5.71	N * 5.71
แอลมอนด์	5.18	N * 5.18
ถั่วลิสง	5.46	N * 5.46
มะพร้าว	5.30	N * 5.30
เมล็ดงา ทานตะวัน คำฝอย และอื่น ๆ	5.30	N * 5.30
นมและผลิตภัณฑ์	6.38	N * 6.38
เจลาติน	5.55	N * 5.55

ที่มา (FAO ( 1986 ) อ้างโดย ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545 หน้า 58)

วิธีวิเคราะห์ Crude protein เรียกว่าวิธีของเจล์ดาห์ล ( Kjeldahl method ) ค่า CP ที่ได้นี้รวมทั้งส่วนของโปรตีนแท้ และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ได้แก่ เอไมด์ (Amide),เกลือแอมโมเนียม ( Ammonium Salt ) และยูเรีย ( Urea ) ด้วยยกเว้นไนเตรท ( Nitrate ,  $\text{NO}_3$  ) และไนไตรท์ ( Nitrite ,  $\text{NO}_2$  ) เพราะไนโตรเจนจาก 2 แหล่งนี้ไม่ได้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซัลเฟต ( Ammonium Sulfate ),  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  ดังได้กล่าวข้างต้น

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์**

1. เครื่องย่อยสาร
2. เครื่องกำจัดไอน้ำ
3. เครื่องกลั่นสาร
4. บิวเรต หรือ Digital Buret
- 5: เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง

## 6. เครื่อง Cooling

### สารเคมี

1. Sulfuric acid cone
2. Sodium hydroxide เข้มข้นร้อยละ 32
3. Catalyst ได้แก่ Selenium mixture หรือ  $\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$
4. Boric acid เข้มข้นร้อยละ 2
5. 0.1 N HCl.
6. Mixing indicator acc to sher

### วิธีการ

1. บันทึกลักษณะตัวอย่างอาหาร
2. เตรียมตัวอย่างอาหารควรบดให้ละเอียดและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน
3. การชั่งสารตัวอย่าง ( ทำ blank ด้วย )
  - 3.1 ถ้าเป็นของแข็ง ให้ชั่งด้วยความละเอียด 0.1 mg โดย
    - ถ้าไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 5 ชั่งประมาณ 0.5 กรัม
    - ถ้าไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 5 ชั่งประมาณ 1.0 กรัม
  - 3.2 ถ้าเป็นของเหลว ตวงด้วยปิเปต 10 มิลลิลิตร ( สูงสุดไม่เกิน 50 มล. )
4. การเติมสารเคมี

-หลังจากชั่งตัวอย่างใส่หลอดย่อยสารแล้ว

#### 4.1 เติม Catalyst

- Selenium: mixture 5 กรัม หรือ  $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$  (95 : 5) 7 กรัม

#### 4.2 เติมกรด Sulphuric เข้มข้น 15-20 มล.

5. วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบขวดใส่สารละลายต่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

6. เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย ทำการ Preheat โดยการปรับความร้อนไปที่ตำแหน่ง 10 เป็นเวลา 10 นาที แล้วปรับความร้อนมาที่ตำแหน่ง 8 ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส ( ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวอย่าง )

7. หลังจากย่อยเสร็จ นำหลอดย่อยสารออกจากเครื่อง รอจนให้สารละลายในหลอดมีอุณหภูมิลดลง จนกระทั่งสารละลายในหลอดอุ่น ๆ

8. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นล้างหลอดย่อยให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เก็บไว้กลั่นครั้งต่อไป

9. ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท จัดอุปกรณ์กลั่นแล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

10. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุบอริก ( เข้มข้นร้อยละ 2 ) ปริมาณ 80 มิลลิลิตร ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ เรียบร้อยแล้ว ไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้

11. ตูตสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร
12. กลั่นประมาณ 3 นาที ล้างอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดที่รองรับ
13. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ ด้วยกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมส้ม

#### การคำนวณผล

$$\text{สูตร ร้อยละ } N_2 = (V1 - V2) \times (14.007) \times (N) \times 100$$

E (mg)

V1 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรต

V2 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรต Blank

N = Normality ของกรด

E = น้ำหนักของสารตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัม

Crude protein (ร้อยละ) = ร้อยละ  $N_2$  x 6.25 (หรือแฟคเตอร์อื่น ๆ ที่เหมาะสมตามตารางผนวกที่ 1)

#### 4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ( Crude Fat )

การวิเคราะห์หาไขมันโดยวิธีตรง (Direction extraction methods) เป็นวิธีการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ โดยทั่วไปส่วนประกอบที่เป็นไขมันในอาหารจะเป็นสารประกอบจำพวกกลีปิดซึ่งสกัดออกได้ด้วยอีเทอร์ ทั้งปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ จัดเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว (non-polar solvent) สารที่สกัดได้เรียกว่า สารที่สกัดได้จากอีเทอร์ (Ether extract หรือ crude fat) เป็นลิปิดอิสระ (free lipid) ที่พบในอาหารนั้น แต่ถ้าทำการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ส่วนที่สกัดได้จะมีส่วนประกอบอื่นติดอยู่กับไขมันปนอยู่ด้วย

ดังนั้นสารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมันนั้นควรมีความสามารถสูงในการละลายไขมันและมีความสามารถต่ำในการละลายสารพวกโปรตีน กรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้แล้วควรเป็นสารละลายที่ระเหยได้ง่ายและไม่มีสารตกค้าง มีจุดเดือดต่ำ ไม่มีควัน และไม่เป็นพิษทั้งในรูปของเหลวและไอระเหย สารละลายนี้ควรมีความสามารถที่จะทะลุนุภาคของตัวอย่าง มีองค์ประกอบเดียว เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกตัว มีราคาไม่แพงและไม่ดูดความชื้น อย่างไรก็ตามสารละลายที่มีคุณสมบัติครบถ้วนดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นค่อนข้างหายาก สารละลายที่เป็นที่นิยมใช้ในการสกัดไขมันได้แก่ เอธิลอีเทอร์ และปิโตรเลียมอีเทอร์ ขณะที่การสกัดน้ำมันจากถั่วเหลืองจะใช้สารละลายเพนเทนและเฮกเซน นอกจากนี้ ยังมีสารเอธิลอีเธอร์ ที่นิยมใช้ในการสกัดไขมันเช่นกัน

เนื่องจากว่า มีจุดเดือดต่ำ เพียง 34.6 องศาเซลเซียส ติดไฟง่าย และให้ผลได้ดีกว่าการใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ แต่มีราคาที่ยากแพง จึงไม่ค่อยนิยมใช้

ไขมัน ในอาหารมีปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาหารเป็นสิ่งสำคัญ จากการรายงานของ Suzanne (1994) อ้างโดย ฉัตรชัย สังข์ผุด (2545 หน้า 66) พบว่า อาหารแต่ละชนิดมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
  2. หลอดใส่ตัวอย่าง (Extraction thimble)
  3. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)
  4. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  5. โถดูดความชื้น
  6. กระบอกตวงสาร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์

#### วิธีการ

วิธีการหาปริมาณไขมันโดยใช้เครื่องสกัดไขมัน รุ่น B-811 แบบ Soxhlet Standard มีขั้นตอนการทำงานของเครื่อง 3 Step ดังนี้

Step 1 Extraction คือขั้นตอนการสกัด

Step 2 Rinsing คือขั้นตอนการชะล้าง ซึ่งเป็นการชะล้างไขมันลงเก็บไว้ในบีกเกอร์

Step 3 Drying คือ ขั้นตอนการทำแห้ง โดยจะใส่ solvent ขึ้นไปเก็บไว้ใน sample tube จะเหลือแต่ไขมันในบีกเกอร์

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ไขมันวิธีดังกล่าวแล้วข้างต้น มีขั้นตอน ดังนี้

1. ออบแห้งบีกเกอร์สำหรับรองรับไขมันที่จะสกัด แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกไว้
2. บดตัวอย่างอาหารให้ละเอียดแล้วชั่งสารตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณ ดังนี้

Fat content (ร้อยละ)	Sample weight
0-15	10-20 กรัม
15-40	5-10 กรัม
10-100	2-5 กรัม

3. ห่อสารตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ลงใน Extraction thimble แล้วนำเข้าประกอบในเครื่อง จากนั้นกด thimble ให้ลงในตำแหน่งที่พร้อมจะสกัด

4. เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ลงในบีกเกอร์ ๗ ละ 120-140 มล. แล้วนำเข้าประกอบในเครื่อง และยก heating element (เตาล่าง) ขึ้น

5. เซ็ตเครื่อง โดยมีโปรแกรม ดังนี้

- 5.1 กด Select แล้วกด ▲ หรือ ▼ เพื่อเลือก method ที่ต้องการ ในที่นี้ใช้

Soxhlet standard

1

5.2 ต่อไปกด ▶ ตัวเลขในช่อง Step จะกระพริบให้กด ▲ หรือ ▼ เป็น Step

5.3 ต่อไปกด ▶ ตัวเลขในช่อง Heating จะกระพริบให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้งระดับความร้อนของ Heating element (เตาล่าง) ในที่นี้ให้เลื่อนไปที่เลข 9 (180 องศาเซลเซียส ซึ่ง 1 ระดับ = 20 องศาเซลเซียส)

5.4 ต่อไปกด ▶ ตัวเลขในช่อง Cycle จะกระพริบให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้ง Cycle (จำนวนรอบในการสกัด) ในที่นี้ให้ตั้งเลข 20

5.5 ต่อไปกด ▶ ตัวเลขในช่อง H : M จะกระพริบให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้งเวลาในการสกัด ในที่นี้ให้ตั้งเวลา 2 ชั่วโมง (02 : 00)

5.6 ต่อไปกด ▶ จะเป็น Step 2 (Rinsing step) ให้ตั้ง Heating โดยกด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้งระดับความร้อนของ Heating element (เตาล่าง) ในที่นี้ให้เลื่อนไปที่เลข 9 (180 องศาเซลเซียส)

5.7 ต่อไปกด ▶ ตัวเลขในช่อง H : M จะกระพริบให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้งเวลาในการสกัด ในที่นี้ให้ตั้งเวลา 5 นาที (00 : 05)

5.8 ต่อไปกด ▶ จะเป็น Step 3 (Drying step) ให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อตั้งเวลาในการ Drying ในที่นี้ให้ตั้งเวลา 10 นาที (00 : 10)

5.9 เมื่อตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยให้กด Select แล้วกด Start เครื่องจะทำงานอัตโนมัติ จนหมดเวลา เครื่องจะหยุดทำงาน

5.10 จากนั้นนำปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากเครื่อง โดยกด Stop แล้วกด Solvent เพื่อเก็บปิโตรเลียมอีเทอร์มาใช้ในคราวต่อไป

5.11 นำบีกเกอร์ที่มีไขมัน ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

5.12 นำบีกเกอร์ดังกล่าวมาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาค่า ร้อยละไขมัน

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(B - A)}{C} \times 100$$

A = นน. บีกเกอร์ก่อนทำการสกัด

B = นน. บีกเกอร์หลังทำการสกัด

C = นน. ตัวอย่าง

หมายเหตุ : ควรเปิด Cooling ทิ้งไว้ก่อนจนได้อุณหภูมิที่ตั้งได้ 10-15 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : ตัวอย่างที่สกัดไขมันแล้ว สามารถเก็บไว้วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยได้

## 5. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (Crude Fiber , CF)

เยื่อใย คือส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ยาก ซึ่งมักเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส สำหรับขั้นตอนและวิธีการหาปริมาณเยื่อใย มีดังนี้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสกัดเยื่อใย
2. เตาให้ความร้อนแบบสองหัว
3. เครื่องชั่ง
4. เตาเผา
5. ตู้อบไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น
7. Glass crucible

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อยละ 1.25
2. ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 1.25
3. N-Octanol
4. อะซิโตน

#### วิธีการ

1. บดตัวอย่างให้ละเอียด ให้ได้ขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง (ถ้าตัวอย่างมีไขมันเกินร้อยละ 5-10 ควรทำการสกัดไขมันออกก่อน)
2. นำ Glass crucible เเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกผลไว้ ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม แล้วใส่ลงใน Glass crucible
3. นำ Glass crucible ประกอบเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน เปิดเครื่องสกัด พร้อมเปิดน้ำหล่อเย็น
4. เติมกรดซัลฟูริกร้อน หลอดละ 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติม N-Octanol เพื่อป้องกันการเกิดฟอง 3 หยด แล้วต้มนานประมาณ 30 นาที
5. เปิดสวิทช์ เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วเปิดวาล์ว เพื่อถ่ายกรดออกจากตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 30 มิลลิลิตร แล้วถ่ายออก
6. เติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลอดละ 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติม N-Octanol เพื่อป้องกันการเกิดฟอง 3 หยด แล้วต้มนานประมาณ 30 นาที
7. ถ่ายออกล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 30 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง
8. ล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ๆ ละ 25 มิลลิลิตร
9. นำ Glass crucible ไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปคำนวณกับค่าน้ำหนักเริ่มต้น จะได้ไฟเบอร์ที่มีเอ้ารวมอยู่ด้วย



10. ถ้าต้องการทราบน้ำหนักแก้ว ให้นำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 - 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นในโถดูดความชื้น

11. นำมาชั่งน้ำหนัก เเผาซ้ำอีกครั้ง ๆ ละประมาณ 30 นาที จนได้ผลต่างของน้ำหนัก ทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

#### การคำนวณผล

$$\text{Crude Fiber (ร้อยละ)} = \frac{F1 - F2}{F3} \times 100$$

F1 = น้ำหนัก Glass crucible + น้ำหนักตัวอย่างก่อนสกัด

F2 = น้ำหนัก Glass crucible + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด

F3 = น้ำหนักสารตัวอย่าง

ปริมาณเยื่อใยในตัวอย่างอาหาร = น้ำหนักแห้งของกาก - น้ำหนักแก้ว

#### 6. ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก หรือคาร์โบไฮเดรต

ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ซึ่งได้แก่ แป้งและน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ปนอยู่บ้าง ค่าของ ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยการนำค่าทั้งหมดมาหักออกจากค่าของวัตถุแห้ง ดังสูตร ต่อไปนี้

$$\text{NFE (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ความชื้น (ร้อยละ)} - \text{แก้ว (ร้อยละ)} - \text{โปรตีน (ร้อยละ)} - \text{ไขมัน (ร้อยละ)} - \text{เยื่อใย (ร้อยละ)})$$

ตารางผนวกที่ 2 ส่วนของโภชนะในการวิเคราะห์แบบ Weende ( Proximate analysis )

ส่วนของโภชนะ	วิธีการ	องค์ประกอบหลัก
1.ความชื้น	อบที่อุณหภูมิ 102-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่น้ำหนักที่หายไปถือเป็นความชื้น	น้ำและสารประกอบที่ระเหยได้ (100 (ร้อยละ) - ความชื้น = ร้อยละ วัตถุแห้ง )
2.เถ้า(Ash) ประกอบด้วยแร่ธาตุ (minerals)	เผาที่ 500 - 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 4 ชั่วโมง	แร่ธาตุ , ดิน , ททราย
3.โปรตีนรวม (Crude Protein) (ร้อยละ CP = ร้อยละ N X 6.25 )	วิเคราะห์ไนโตรเจนโดยทำการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก (Kjeldahl method)	โปรตีน , กรดอะมิโน , สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน
4.ไขมัน ( Ether extract )	สกัดด้วยสารละลายอินทรีย์เช่น ether	Fats , Oil , Waxes , Pigments , Alcohol , วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ( A , D , E , K )
5.เยื่อใย (Crude Fiber)	กากที่เหลือจากการต้มด้วยกรดอ่อนและด่าง ประกอบด้วย เยื่อใย และแร่ธาตุ เมื่อนำไปเผาเยื่อใยจะหายไป	เซลลูโลส , เฮมิเซลลูโลส , ลิกนิน
6.Nitrogen free extract (NFE)	100-ส่วนต่าง ๆ ทั้ง 5 ส่วนแรก	แป้ง , น้ำตาล, บางส่วนของ Cellulose , hemicellulose , lignin รวมทั้งวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ

ตารางผนวกที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักเริ่มต้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	1.211E-06	3.027E-07	0.665
Error	10	4.553E-06	4.553E-07	
Total	14	5.764E-06		

ตารางผนวกที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักสุดท้าย ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	3.003E-03	7.507E-04	2.508
Error	10	2.994E-03	2.994E-04	
Total	14	5.996E-03		

ตารางผนวกที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวเริ่มต้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.067E-04	1.267E-04	0.514
Error	10	2.467E-03	2.467E-04	
Total	14	2.973E-03		

ตารางผนวกที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวสุดท้าย ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.936E-02	1.484E-02	0.883
Error	10	0.168	1.680E-02	
Total	14	0.227		

ตารางผนวกที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	2.977E-03	7.443E-04	2.479
Error	10	3.002E-03	3.002E-04	
Total	14	5.979E-03		

ตารางผนวกที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ความยาวที่เพิ่มขึ้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.936E-02	1.484E-02	0.883
Error	10	0.168	1.680E-02	
Total	14	0.227		

ตารางผนวกที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	3.236E-06	8.090E-07	2.533
Error	10	3.193E-06	3.193E-07	
Total	14	6.429E-06		

ตารางผนวกที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	2.109	0.527	2.230
Error	10	2.365	0.237	
Total	14	4.475		

ตารางผนวกที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.171	1.293	11.548*
Error	10	1.119	0.112	
Total	14	6.290		

ตารางผนวกที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ความยาวที่เพิ่มขึ้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.936E-02	1.484E-02	0.883
Error	10	0.168	1.680E-02	
Total	14	0.227		

ตารางผนวกที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	3.236E-06	8.090E-07	2.533
Error	10	3.193E-06	3.193E-07	
Total	14	6.429E-06		

ตารางผนวกที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	2.109	0.527	2.230
Error	10	2.365	0.237	
Total	14	4.475		

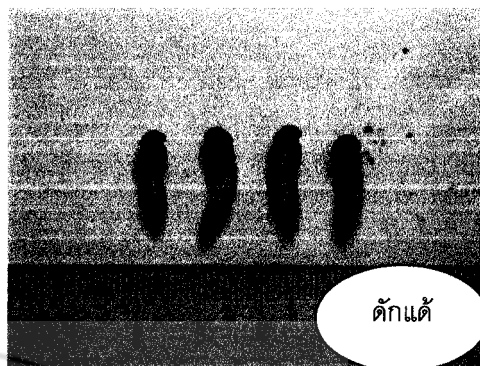
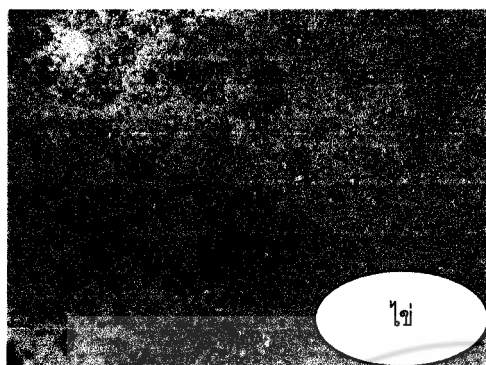
ตารางผนวกที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	5.171	1.293	11.548*
Error	10	1.119	0.112	
Total	14	6.290		

ตารางผนวกที่ 12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย อัตรารอด ของหนอนนกที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	2339.477	584.869	6.978*
Error	10	838.160	83.816	
Total	14	3177.637		





ภาพผนวกที่ 1 หนอนนกในระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ในการทดลอง