วิชา สศ.200
โภชนะศาสตร์สัตว์เบื้องต้น

วิชาบังคับก่อน: คม.320 ชีวเคมีเบื้องต้น

ผู้สอน: ดร. ทองเลียน บัวจูม

ประวัติผู้สอน

การศึกษา

ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้

ทษ.บ. (สัตวศาสตร์, สัตว์ปีก) เกียรตินิยมอันดับ 1

ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.ม. (เทคโนโลยีชวภาพ)

ปริญญาเอก The United Graduate School of Agriculture Sciences Ehime University, Japan Ph.D. (Agriculture)

ตำแหน่งบริหาร หัวหน้าสาขาอาหารสัตว์

บทที่ 1

ประวัติและการพัฒนาทางด้านอาหารสัตว์

นักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

1 **Antoine Lavoisier (1743-1794)** นักเคมีชาวฝรั่งเศส
(ผู้ก่อตั้งวิทยาศาสตร์ทางอาหาร)

- การหายใจ **(Respiration Experiment)** ⟶ **C+H+O**
- การเผาไหม้เป็น **Oxidation** อย่างหนึ่ง

2 **Lavoisier** และ **Laplaco** ออกแบบ **Calorimeter** เป็นเครื่องมือเพื่อแสดงว่าการหายใจเป็นแหล่งสำคัญของความร้อนในร่างกาย

3 Eijkman และCasimir Funk (1897-1912)

ค้นพบวิตามิน หน้าที่ของกรดอะมิโน และแร่ธาตุ (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน) ร่างกายต้องการอาหารที่แตกต่างกันถึง 40 ชนิด

4 Stephen M. Babcock (1843-1931)

ศึกษาด้านสรีรวิทยา และชีวเคมี ริเริ่มการทดลองให้สัตว์กินอาหารชนิดเดี่ยวแต่ไม่ประสบผลสำเร็จ

5 Heat, Humphrey, Mc.collum และSteenbock

ทดลองให้โคสาว16 ตัว กินอาหารที่แตกต่างกัน คือ **wheat, oat, corn** และ **wheat + Oat + corn** พบว่า **corn** ดี และ **wheat** ไม่ดี

การพัฒนาทางโภชนศาสตร์โดยการใช้สัตว์ทดลอง

หนู ศึกษา วิตามิน กรดอะมิโน และแร่ธาตุ

สุนัข ศึกษา **insulin** และ **Nicotinic acid**

ลิง หนูตะเภา ไก่ **(Thiamine)** รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ

การนำความรู้และเทคนิคจากวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ

- Chemistry
- Biochemistry
- Microbiology
- Physiology
- Physics

ศึกษาในเรื่อง

- **Metabolism**
- การสร้างเครื่องมือต่างๆ เช่น **X-ray, Spectrograph and Isotope**
- บทบาทของจุลินทรีย์ใน **Rumen**
- การค้นพบโภชนะใหม่ๆ
- ความสำคัญของแร่ธาตุในดินที่มีผลต่อคุณภาพพืชอาหารสัตว์

ความก้าวหน้าทางวิชาการโภชนศาสตร์สัตว์

- ศึกษาด้านชีววิทยาระดับเซลล์ (Cell biology)
- พันธุศาสตร์โมเลกุล (Molecular genetics)
- พันธุวิศวกรรมศาสตร์ (Genetic engineering)
- เทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology) มากขึ้น
  - Phytase ย่อยกรดไฟติกหรือไฟเตท ใช้ P ได้ดีขึ้น
  - Xylanase
  - Probiotic
  - Prebiotic

- Growth hormone เช่น Porcine somatotropin, pST ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและปรับปรุงคุณภาพซากในสุกร ในโค เรียกว่า Bovin somatotropin,bST ทำให้ผลิตน้ำนมดีขึ้น

- การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุกรรมจุลินทรีย์ที่ใช้ในพืชอาหารสัตว์

- สมุนไพร เช่น ขมิ้นชัน กระเทียม ฟ้าทะลายโจร พริกแดง ผงข่า ตะไคร้

เพื่อใช้แทนยาปฏิชีวนะในการรักษาโรคหรือป้องกันโรค เพิ่มผลผลิต เร่งการเจริญเติบโต ปรับปรุงผลิตภัณฑ์

ด้านพืชอาหารสัตว์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เช่น

- การถ่ายยีน **Transgenic plant**
- ปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ลด **trypsin inhibitor**
- ปรับปรุงพันธุ์พืชน้ำมัน ให้มีสัดส่วนกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวลดลง ยืดอายุการเก็บได้นานมากขึ้น
- การนำเอนไซม์ใส่ในพืช เช่น **xylanase** ใส่ใน **wheat** หรือ **rye** และ **phytase** ใส่ใน **canola**
- การใช้ **DNA probe** ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์

บทที่ 2

คำนิยามทางด้านอาหารสัตว์

Feed ; อาหารสัตว์

Nutrient ; โภชนะ แบ่งออกเป็น 6 ประเภท คือ

Feed stuff ; วัตถุดิบอาหารสัตว์

Ration ; ปริมาณอาหารที่กะไว้ให้สัตว์กินภายใน 1 วัน

Diet ; อาหารที่เตรียมหรือผสมเสร็จแล้วไว้ใช้เลี้ยงสัตว์เฉพาะอย่าง

Balance ration ; อาหารที่ให้โภชนะหลายอย่างในสัดส่วน และจำนวนที่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ในเวลา 24 ชั่วโมง

Basal (Energy) feed ; อาหารให้พลังงาน มีโปรตีนไม่เกิน **16%** เยื่อใยไม่เกิน **18%**

Feed supplements ; อาหารเสริม **protein, amino acid mineral, vitamin** และ **liquid supplements**

Concentrated feed ; อาหารข้น มีเยื่อใยต่ำกว่า 18% มี TDN สูงกว่า 60% ได้แก่....

Roughages ; อาหารหยาบ มีเยื่อใยสูงกว่า 18% มี TDN ต่ำกว่า 60% ได้แก่....

Feed additive ; สารเสริม

Forage crop ; พืชอาหารสัตว์

Hay ; พืชอาหารสัตว์แห้ง มีน้ำไม่เกิน **25%**

Haylage ; พืชอาหารสัตว์แห้งหมัก 45-55% moisture

Silage ; พืชอาหารสัตว์หมัก LAB,25-30% DM, 65-70% moisture

Pasture ; ทุ่งหญ้าหรือแปลงหญ้า

Soilage or Soiling crop ; พืชอาหารสัตว์สด

Antibiotic ; ปฏิชีวนะสาร สารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น penicillin, streptomycin

Enzyme ; น้ำย่อย

Probiotic คือ อาหารเสริมซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิต สามารถก่อประโยชน์ต่อร่างกายของสัตว์ที่มันอาศัยอยู่ โดยการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในร่างกาย

Prebiotic คือ สารประเภทโอลิโกแซคคาไรด์ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ แต่สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียเฉพาะที่เป็นโพรไบโอติกในทางเดินอาหารเท่านั้น

Complete feed (อาหารสำเร็จรูป)
Concentrates (หัวอาหาร)
Crumble feed (อาหารเม็ดซีก)

Limiting factor (ปัจจัยจำกัดการใช้ประโยชน์ของอาหาร)
Mash feed (อาหารป่น)
Pelleted feed (อาหารอัดเม็ด)

Premix (อาหารผสมล่วงหน้า)
Unidentified growth factor; UGF
(ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตแต่จำแนกไม่ได้)

บทที่ 3

ร่างกายสัตว์และอาหารของสัตว์

อาหาร → metabolism → สปก.ของร่างกาย

ส่วนประกอบของร่างกายสัตว์

1. น้ำและสารอินทรีย์

1.1 น้ำ - สัตว์เกิดใหม่มีน้ำ 75%

- สัตว์โตเต็มที่มีน้ำ 50-60% ถ้าปราศจากไขมัน จะมีน้ำถึง 71-73%

ส่วนประกอบในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่โตเต็มที่

น้ำ	60%	โปรตีน	16%
ไขมัน	20%	แร่ธาตุ	4%

วิธีวัดปริมาณน้ำในร่างกายสัตว์ **"dilution method"**

คุณสมบัติของสารที่ใช้

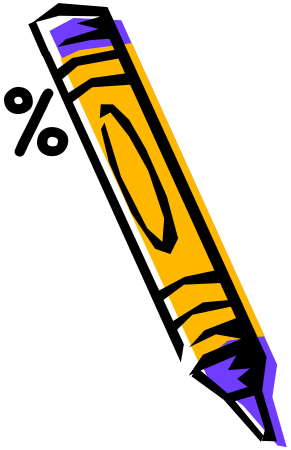
- ละลายได้ด้วยน้ำในร่างกายอย่างรวดเร็ว
- ไม่รวมตัวกับสารอื่นในร่างกาย
- ไม่ถูกดูดซึม
- ต้องถูกขับถ่ายหรือ**metabolized**ในร่างกายในอัตราคงที่

- Inulin thiocyanate, Radioactive sodium salts ละลายในน้ำนอกเซลล์
- Tritium oxide,Deuterium oxide ละลายในน้ำทั้งหมดในร่างกาย

ตารางแสดงสัดส่วนของน้ำในร่างกายสัตว์

ประเภทน้ำ	% ของน้ำหนักตัว	% ของน้ำทั้งหมด
น้ำทั้งหมดในร่างกาย	65	100
น้ำนอกเซลล์	20	30
น้ำในเซลล์	45	70
น้ำในพลาสม่า	5	7.5
Water of interstitial fluid	15	22.5

Ex. โคน้ำหนักตัว 500 กก. มีน้ำทั้งหมดในร่างกาย 65% ของน้ำหนักตัวอยากทราบว่าจะมีน้ำในเซลล์กี่กก.



โคหนัก 100 กก. มีน้ำทั้งหมด 65 กก.

ถ้าโคหนัก 500 กก. " $\frac{65 \times 500}{100}$

$= 325$ กก.

เมื่อน้ำทั้งหมด 325 กก. คิดเป็น 100 %

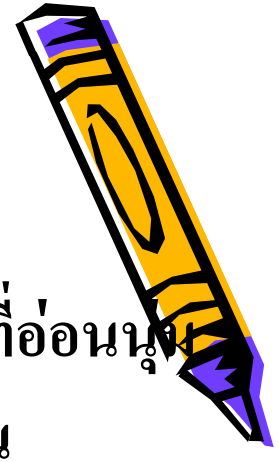
น้ำในเซลล์คิดเป็น 70% ของน้ำทั้งหมด ดังนั้น

น้ำในเซลล์ เท่ากับ $\frac{325 \times 70}{100}$

$= 227.5$ กก.

ตารางปริมาณน้ำในอวัยวะและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกาย

อวัยวะและเนื้อเยื่อ	% น้ำ	อวัยวะและเนื้อเยื่อ	% น้ำ
น้ำลาย น้ำไขสันหลัง	99	กล้ามเนื้อ	75
น้ำย่อย	97	ตับ	70
น้ำเหลือง	95	ผิวหนัง	58
สมอง	86	กระดูกอ่อน	55
เลือด	82	กระดูก	28
ไต	81	ฟัน	10
หัวใจ ปอด	80	เนื้อเยื่อที่มีไขมันมาก	7



1.2 สารอินทรีย์

- **Protein;** พบอยู่ตามอวัยวะต่างๆและส่วนที่อ่อนนุ่ม
- **Lipid;** พบอยู่ใต้ผิวหนัง รอบๆอวัยวะภายใน
- **Carbohydrate;** พบน้อยมากใน ตับ กล้ามเนื้อ และเลือด ถูกนำไปใช้ตลอดเวลา

2 แร่ธาตุ

- **Calcium;** กระดูกและฟัน ในรูป**phosphate** และ **carbonate**
- **Phosphorus;** รวมกับ**Ca** เป็น สปก.โครงร่างของสัตว์ **80%** และเป็น สปก.ของโปรตีน ไขมัน และเกลืออินทรีย์ **20%**

- **Sodium, Potassium** และ **Chlorine**
  อยู่ตามส่วนที่เป็นของเหลวในร่างกาย ในรูปเกลืออนินทรีย์
- **Magnesium** กระดูก
- **Sulfur** เป็นสปก.ของโมเลกุลโปรตีน
- **I, Cu, Zn, Mn, Co, Fe and Fl** มีเล็กน้อย

เปอร์เซ็นต์แร่ธาตุหลักที่เป็นสปก.ของร่างกาย

Ca	=	1.33	K	=	0.19
P	=	0.74	Cl	=	0.11
Na	=	0.16	Mg	=	0.041
			S	=	0.15

ตารางแสดงส่วนประกอบของร่างกายสัตว์ (%)

Species	Water	Protein	Fat	Mineral
Steer	54	15	26	4.6
Hog	58	15	24	2.8
Sheep	60	16	20	3.4
Hen	56	21	19	3.2
Mare	60	17	17	4.5
Man	69	18	18	4.3

3 เลือด มี ประมาณ 5-10% ของน้ำหนักตัว

3.1 หน้าที่ของเลือด

- นำอาหารจากทางเดินอาหารไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ
- นำ O_2 จากปอดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ
- นำของเสียจากเนื้อเยื่อไปยังอวัยวะขับถ่ายของเสีย
- นำฮอร์โมน(ต่อมไร้ท่อ)ไปยังเนื้อเยื่อ
- รักษาความสมดุลของน้ำในร่างกายสัตว์
- ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย
- ช่วยต่อต้านพวกจุลินทรีย์ต่างๆ
- ควบคุม Hydrogen ion concentration

3.2 ส่วนประกอบของเลือด

1. **Plasma;** น้ำ ก๊าซ โปรตีน น้ำตาล ไขมัน NPN สารอนินทรีย์ (Na, Ca, K, Mg, P, Fe) เม็ดสี เอนไซม์ ฮอร์โมน และวิตามิน มีของแข็ง ~ 10%

2. **Cells or Corpuscles** คือส่วนของเม็ดเลือด ได้แก่ เม็ดเลือดแดง (erythrocyte or red blood cell), เม็ดเลือดขาว (Leukocytes or white blood cell) และ แผ่นเลือด (Thrombocytes or platelets)

ส่วนประกอบของพืชอาหารสัตว์

พืช **photosynthesis** (ใช้ Co_2, น้ำ ไนเตรท เกลือแร่

สร้าง คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน

1. **Water;** ลดลงเมื่อพืชแก่
2. **Carbohydrate;** อาหารหยาบ จะมี พวกเยื่อใย

   อาหารข้น จะมี แป้ง

   พืช (คาร์โบไฮเดรต) สัตว์ (โปรตีน ไขมัน)
3. **Protein;** พบใน **Active tissues** ของพืช เช่น

   ใบพืช เมล็ดพืช
4. **Lipid;** ใบ>ลำต้น พบมากที่สุดในเมล็ดพืช เพื่อเป็นพลังงาน

   สำรองในการงอก

5. **Mineral;** ชนิดของพืช สัตว์ > พืช

แร่ธาตุที่สำคัญในพืช คือ **P, K, Ca, Fe, S and Mg** ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น

S; เป็นสปก.ของโปรตีน

P; เป็นสปก.ของโปรตีนและ**Phospholipied**

Mg; เป็นสปก.**Chlorophyll**

Ca; พบในใบ > ลำต้น แต่เมล็ดมีน้อยที่สุด ส่วน P มีมากในเมล็ด

ตารางแสดงองค์ประกอบของอาหารสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ เป็นร้อยละน้ำหนักแห้ง (Dry matter)

ประเภท	เยื่อใย	NFE	ไขมัน	โปรตีน	เถ้า
เมล็ดข้าวโพด	5.0	78.9	4.4	8.9	2.8
รำข้าว	11.0	46.1	19.3	14.1	9.5
กากถั่วเหลือง	8.2	32.7	0.9	49.4	8.8
เมล็ดทานตะวัน	15.1	19.0	40.7	20.8	4.4
ปลาป่น	2.5	0.6	9.2	60.9	26.8
กระดูกป่น	-	-	6.2	31.3	58.5
นม	-	37.9	29.0	26.6	6.5
ไข่	-	2.4	30.0	35.5	32.1
เนื้อ	-	2.1	15.7	76.8	5.4

บทที่ 4

การจำแนกประเภทของอาหารสัตว์

องค์ประกอบของอาหาร

1. น้ำหรือความชื้น (Water or moisture)

2. วัตถุแห้ง (Dry matter, DM)

   2.1 สารอินทรีย์ แบ่งเป็น กลุ่มที่มี N คือ พวกที่เป็นโปรตีน กับ ไม่เป็นโปรตีน และ กลุ่มที่ไม่มี N คือ ไขมัน กับ คาร์โบไฮเดรท

   2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ

   2.3 วิตามินต่างๆ ทั้งกลุ่มที่ละลายในน้ำ และละลายในไขมัน

การแสดงส่วนประกอบของอาหารโดยยึดวัตถุแห้งเป็นหลัก แบ่งเป็น

- As fed หรือ Wet or fresh basis อาหารมีวัตถุแห้ง 0 - 100%
- Air dry อาหารมี 90% DM
- Oven dry อาหารมี 100% DM

การคำนวณส่วนประกอบอาหารโดยยึดวัตถุแห้งเป็นหลัก

$$\frac{\%\text{สปก.ในอาหาร (on any basis)}}{\%\text{ DM ในอาหารนั้น (on the same basis)}} = \frac{\%\text{สปก.ในอาหาร (on another basis)}}{\%\text{ DM ในอาหาร (on the same basis)}}$$

Ex. อาหารมีโปรตีน 4% (on fresh basis) และมีน้ำ 75% จงคำนวณหา % โปรตีน (on air - dry basis) ว่ามีอยู่เท่าไร

DM (on fresh basis) $\rightarrow$ 100 – 75 = 25%

$$\frac{4}{25} = \frac{X}{90}$$

$$X = \frac{4 \times 90}{25} = 14.4\% \text{ (on dry basis)}$$

การแบ่งประเภทอาหาร

1. อาหารข้น (Concentrates)

   1.1 อาหารข้นพวกคาร์โบไฮเดรท → มีโปรตีน < 20%

   CF < 18% ลักษณะอาหารข้นพวกคาร์โบไฮเดรท

   1.2 อาหารข้นพวกโปรตีน → มีโปรตีน >16%

   1) จากพืช 2) จากสัตว์ 3) NPN

2. อาหารหยาบ (Roughages) มีเยื่อใย >18%

   2.1 กลุ่มคาร์โบไฮเดรท

   2.2 กลุ่มโปรตีน

3. Additive materials (สารเสริมอื่น)

   3.1 กลุ่มโภชนะ ได้แก่ วิตามิน และแร่ธาตุ

   3.2 กลุ่มที่ไม่ใช่โภชนะ ได้แก่ antibiotics, hormones, medicine

อาหารข้น (Concentrates)

1. อาหารข้นพวกคาร์โบไฮเดรท

1.1 รำข้าว (Rice bran)

ลักษณะทั่วไป → .....

คุณค่าทางอาหาร → .....

การใช้ประโยชน์ → .....

1.2 ปลายข้าว (Broken rice)

1.3 ข้าวโพด (Corn)

1.4 ข้าวฟ่าง (Sorghum grain)

1.5 มันสำปะหลังหรือมันเส้น (Cassava chip)

2. อาหารข้นพวกโปรตีน

2.1 จากพืช

1) กากถั่วเหลือง (Soybean meal)
2) กากถั่วลิสง (Peanut meal)
3) กากเมล็ดฝ้าย (Cotton seed meal)
4) กากงา (Sesame meal)
5) กากมะพร้าว (Coconut meal)
6) ใบกระถิ่นป่น (Leucaena leaf meal)

2.2 จากสัตว์

1) ปลาป่น (Fish meal)
   - 1.1 ปลาป่นเค็ม
   - 1.2 ปลาป่นกร่อย
   - 1.3 ปลาป่นจืดไม่อัดน้ำมัน
   - 1.4 ปลาป่นจืดอัดน้ำมัน

2) เนื้อป่น (Meat meal)

3) เลือดป่น (Blood meal)

4) ขนไก่ป่น (Feather meal)

5) นมผง (Milk produck)

   5.1 นมผงธรรมดา (Whole milk powder)

   5.2 นมผงพร่องมันเนย (Partly skemmea milk powder

   5.3 หางนมผง (Skemmed milk powder)

6) ผลิตผลพลอยได้จากสัตว์ปีก (Poultry by-product)

7) ของเสียจากสัตว์ (Animal wastes)

อาหารหยาบ (Roughages)

ลักษณะของอาหารหยาบ อาหารหยาบแบ่งเป็น 2 กลุ่ม

1. อาหารหยาบกลุ่มคาร์โบไฮเดรท

1.1 หญ้าขน (Para grass)

ลักษณะทั่วไป → .....

คุณค่าทางอาหาร → .....

การใช้ประโยชน์ → .....

1.2 หญ้าเนเปียร์ (Napier grass)

1.3 หญ้ากินนี (Guinea grass)

1.4 หญ้าบาเฮีย (Bahia grass)

1.5 หญ้าบัฟเฟล (Buffel grass)

1.6 หญ้าไคเคยู (Kikuyu grass)

1.7 หญ้าซิลแนล (Signal grass) แบ่งเป็น 2 ประเภท

1.7.1 หญ้าซิกแนลตั้ง (Ceylon sheep grass)

1.7.2 หญ้าซิกแนลนอน (Kenya sheep grass)

1.8 หญ้าซอร์กั้มหรือหญ้าโคลัมบัส (Sorghum or Columbus grass)

1.9 หญ้าซูดาน (Sudan grass)

1.10 หญ้าเบอร์มิวดาหรือหญ้าแพรก (Bermuda grass)

1.11 หญ้าแพงโกล่า (Pangola grass)

1.12 หญ้าโร้ดส์ (Rhodes grass)

1.13 หญ้าซีตาเรีย (Setaria grass)

1.14 หญ้าพาสพาลัม (Paspalum grass)

1.15 หญ้าโมล้าสหรือกากน้ำตาล (Molasses grass)

1.16 หญ้ารูซี่หรือหญ้าคองโก (Ruzi or Congo grass)

2. อาหารกลุ่มโปรตีน

2.1 ถั่วเซอราโตร (Siratro)

2.2 ถั่วเซนโตรหรือถั่วลาย (Centro)

2.3 ถั่วแลบแลบ (Lablab)

2.4 ถั่วสไตโล (Stylo)

2.5 ถั่วทาวน์สวิลล์สไตโล (Townsville stylo)

2.6 ถั่วคาโลโป (Calopo)

2.7 ถั่วกรีนลีฟเดสโมเดี่ยม (Greenleaf desmodium)

2.8 กระถิน (Leuceana)

2.9 ถั่วแระหรือถั่วมะแฮะ (Pigean pea)

2.10 ถั่วคุดชูหรือถั่วพิวโร (Kudzu or Puero)

2.11 ถั่วเลสพเดซ่า (Lespedeaz)

2.12 ถั่วฮามาต้าหรือถั่วเวอราโนสไตโล

(Hamata or Uerana Stylo)

2.13 ถั่วผีหรือถั่วข้าว (Phasey bean)

2.14 ถั่วกลายซีน (Glycine or Perenial soybean)

วิธีการนำพืชอาหารสัตว์ไปใช้ประโยชน์

1. การจัดทำทุ่งหญ้า

ประเภทของทุ่งหญ้า

1) ทุ่งหญ้าตามธรรมชาติ (Natural pastures)

1.1) ทุ่งหญ้าธรรมชาติเขตร้อน (Tropical natural pastures) หรือทุ่งหญ้าสะวานน่า (Savanna)

1.2) ทุ่งหญ้าธรรมชาติเขตอบอุ่น (Temperate natural pastures)

1.3) ทุ่งหญ้าธรรมชาติเขตขั่วโลกเหนือ (Artic natural pastures) หรือทุ่งหญ้าทันดรา (tundra)

2) ทุ่งหญ้าที่ปลูกสร้างขึ้นมา (Cultivated or Tame pastures)

2.1) ทุ่งหญ้าถาวร (Permanant pastures)

2.2) ทุ่งหญ้าหมุนเวียน (Rotation pastures)

2.3) ทุ่งหญ้าชั่วคราว (Temporary pastures)

การจัดการทุ่งหญ้าที่ดี →

2. ตัดสดให้กิน
3. หญ้าแห้ง (Hay)
4. หญ้าหมัก (Silage)

Additive materials

1. Mineral additive

1.1 Major minerals

- รูปของแร่ธาตุ → เดียว/ผสม
- แหล่งของ Ca และ P ที่หาได้ง่ายและนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ phosphoric acid , dicalcium phosphate และ steamed phosphate
- แหล่งของ P ที่สัตว์เอาไปใช้ประโยชน์ได้ยาก คือ soft colloidal phosphate
- แหล่งของ P จาก raw rock phosphate มี F สูงเป็นพิษ
- ในพืช ≈ ½ - 2/3 ของ P อยู่รวมกับ phytic acid เรียกว่า phytin P สัตว์กระเพาะเดียวนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก

- แหล่งของ Na และ Cl คือ เกลือ เช่น iodized salt , common or plain salt และ trace mineral salt (เป็นเกลือเข้าธาตุไอโอดีนและมีแร่ธาตุ Ca, Mn, Fe, Zn และ Cu เล็กน้อย) ขายในรูปเกลือป่น or อัดเป็นแท่ง

1.2 Trace mineral

- อยู่ในรูปเกลืออนินทรีย์ หรือในรูปของ oxide

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงคุณค่าทางชีวะของ Trace mineral

1) การละลายได้ในน้ำหรือกรดเจือจาง
2) ประสิทธิผลในการป้องกันและรักษาอาการขาดแร่ธาตุ
3) ผลของการสะสมในเนื้อเยื่อ (พิษ)

แหล่งของแร่ธาตุที่ใช้เติมในอาหาร

1. Mg เช่น magnesium oxide , _carbonate และ_sulfate
2. K เช่น potassium chloride , _sulfate และ _carbonate
3. S เช่น sodium sulfate
4. Fe เช่น ferrous sulfate , _gluconate , _fumarate และ ferric ammonium citrate (หาง่าย + มีเพียงพอ) ferrous chloride , _carbonate และ ferric oxide (หายาก)
5. Cu เช่น copper sulfate , _carbonate (หาง่าย+มีเพียงพอ) Copper oxide , _chloride (ปานกลาง - ยาก)
6. Mn เช่น manganese sulfate , _oxide , _carbonate (หาง่าย +) manganese dioxide (หายาก+ไม่เพียงพอ)

7. Zn เช่น zinc oxide , _carbonate , _sulfate , _chloride (หาง่าย)

zinc sulfate (หายาก)

8. I เช่น calcium iodate และ potassium iodide หาง่าย+เพียงพอ ถูกทำลาย

ง่ายโดย oxidation เมื่อผสมกับอาหารอื่น

3 , 5 – diiodosalicylic acid (DIS) หาง่าย ต้านทาน oxidation แต่อยู่ในร่างกายได้ไม่นาน

Ethylenediamine dihydroiodide (EDDI) ทนทานและหาได้ง่าย

9. Co เช่น cobalt carbonate , _oxide , _chloride และ_sulfate

10. Se เช่น sodium selenite และ sodium selenate (หาง่าย+)

FDA รับรองให้เป็นอาหารเสริมของสุกร ไก่ และ ไก่งวง

2 Vitamin

รูปเดี่ยว/ผสม FSV ต้องการ stabilizer or antioxidant

2.1 Fat soluble vitamins

1) Vit. A → carotene ในพืชสีเขียว , รูปสังเคราะห์ รูปวิตามินเอ แอลกอฮอล์ ในน้ำมันตับปลา หรือ น้ำมันพืชบางชนิด
2) Vit. D → หญ้าแห้งที่ตากแดด , น้ำมันตับปลา (D3) , sterol
3) Vit. E → เป็นสารประกอบ tocopherols (D-∝) ปุ่มงอกเมล็ดพืช พืชสีเขียวหญ้าแห้ง Vit E
4) Vit. K → พืชสีเขียว , เมล็ดพืช หญ้าแห้ง Vit E สังเคราะห์ เช่น menadione sodium bisulfite

2.2 Water soluble vitamins

1) riboflavin → ธรรมชาติ , สังเคราะห์

2) niacin → สารสังเคราะห์ เช่น amide from of nicotinic acid , niacinamide หรือ nicotinamide

3) pantothenic acid → สารสังเคราะห์ เช่น calcium pantothenate

4) choline → สารสังเคราะห์ เช่น choline chloride , choline xanthate

5) Vit. B12 → การหมักของจุลินทรีย์

Mineral sources	% Ca	% P	Remarks
Limestone	33-38	0	
Oyster shell	34-39	0	
Soft colloidal phosphate	18-19	9-10	
Steamed bone meal	24-30	12-14	12-13%CP.
Curacao phosphate	34-36	12-15	
Raw rock phosphate	29-35	12-15	2-4%F
Defluorinated rock phos phate	32-33	16-48	<1 part F to 100 parts P
Diealcium phosphate	23-28	18-22	
Diamnonium phosphate	0	20-24	not<17% N
Monosodium phosphate	0	22-26	16-19% Na.
Phosphoric acid	0	22-31.6	

Feed Additives

1. ปฏิชีวนสาร (Antibiotics)

เป็นสารที่จุลินทรีย์ (microorganisms) สังเคราะห์ (synthesized) ขึ้นมา เพื่อใช้ทำลายจุลินทรีย์พวกอื่น ๆ

พบและผลิตครั้งแรกในอังกฤษ ตัวแรกที่พบ คือ Penicillin อเมริกาเป็นผู้ให้ทุนผลิตขายจึงแพร่หลายในอเมริกา

บทบาทปฏิชีวนสารในการเลี้ยงสัตว์

ใช้ไวตามินบี 12 ซึ่งสกัดออกมาในรูปของไวตามินบริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับไวตามินบี 12 ในรูปของกากปฏิชีวนสาร (Residue) ซึ่งเหลือจากการสกัดเอาตัวยา Chlorteracycline

ระดับการใช้ในอาหารสัตว์ แบ่งเป็น 2 ระดับ

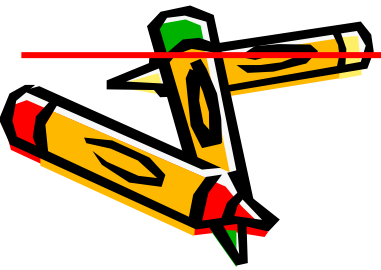
1. การใช้ระดับต่ำ (Nutritional Level) ใช้ 1 ถึง 50 กรัมต่ออาหาร 1 ตัน ในไก่ใช้ 10 กรัมต่ออาหาร 1 ตัน

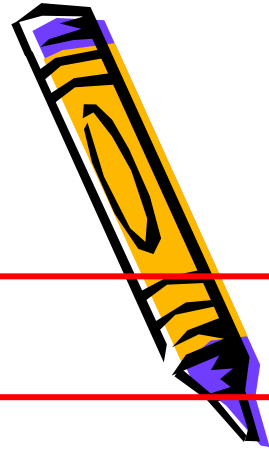
การใช้มีลักษณะดังนี้

- ใช้กับสัตว์ที่ไม่มีอาการเป็นโรค
- มุ่งหวังให้สัตว์โตรวดเร็วขึ้น
- รักษาสุขภาพสัตว์ ลดจำนวนตายให้น้อยลง
- เพิ่มประสิทธิภาพของอาหาร/หน่วยน้ำหนัก
- ทำให้สัตว์ในฝูงโตอย่างสม่ำเสมอ

2. การใช้ระดับสูง (High Level) ใช้ตั้งแต่ 50 กรัมขึ้นไป เพื่อการป้องกันและรักษาโรค

ชื่อปฏิชีวนสาร	ประโยชน์
Chlortetracycline	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง สุกร โค แกะ และม้า 2. เพิ่มการให้ไข่และการฟักออกเป็นตัวในไก่และไก่งวง 3. ช่วยป้องกัน Liver abscesses ในโคที่เลี้ยงในคอก 4. ลด enterotoxemia ในแกะ
Oxytetracycline	1. ช่วยการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหารไก่ ไก่งวง สุกร โค และแกะ 2. เพิ่มการให้ไข่และการฟักออกเป็นตัวในไก่ ไก่งวง ปรับปรุงคุณภาพของเปลือกไข่





ชื่อปฏิชีวนสาร	ประโยชน์
Penicillin	3. ช่วยลดอุบัติเหตุและความรุนแรงของ 4. ช่วยลดความสูญเสียเนื่องจาก **enterotoxemia** ในแกะ 1. ช่วยการเจริญเติบโตและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง และสุกร 2. ช่วยลดการสูญเสียและความรุนแรงของโรคท้องอืดในโคที่เลี้ยงในแปลงถั่ว

ค่า MRL ของยาที่ใช้ในสัตว์ (ppb)

ยา	เนื้อโค	น้ำนมโค	เนื้อสุกร	เนื้อไก่	กุ้ง
Benzyl-penicillin	50	4	50	50	NA
Streptomycin	500	200	500	500	NA
Ivermectin	100	NA	15	NA	NA
Febentel	100	100	100	NA	NA
Neomycin	500	500	500	500	NA
Oxytettracyclin	100	100	100	100	100
Sparamycin	200	200	200	200	NA
Spectinomycin	500	200	500	500	NA
Sulfadimidine	100	25	100	100	100
Thiabendazole	100	100	100	NA	NA
Tilmicosin	100	NA	100	NA	NA
Zeranol	2	NA	NA	NA	NA

สถานการณ์ยาห้ามใช้

- **1991 : USA** Nitrofirans group
- **1993 : EU** Nitrofurazone
- **1994 : EU** Chloramphenicol
- **1995 : EU** Nitrofirans group
- **1996 : EU** Avoparcin
- **1997 : Japan** Avoparcin, Nitrofirans group
- **1997 : EU*** Zinc bacitracin, Virginiamycin, Tylosin phosphate, Spiramycin (* : EU ห้ามใช้เป็น Growth promoter)

สถานการณ์ยาห้ามใช้

- **1999 : EU Dimetridazole, Ronidazole, Olaquindox, Carbadox**
- **1999 : EU Dinitolamide, Arpinocid, Ipronidazole**
- **2001 : USA Sarafloxacin**
- **2001 : EU Meticlopindol, Amprolium, Dimetridazole, Meticlopindol/Methylbenzoquate, Amprolium/ethopabate, Nicarbarzin**
- **2006 : EU <u>Phase out antibiotics growth promoter</u>**

2. Chemotherapeutic Agents

เป็นสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ที่ไปลดการเจริญของจุลินทรีย์และเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์

2.1 Arsanilic Acid (หรือ Sodium Arsanilate)

- เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้อาหารในไก่ ไก่งวง และสุกร
- ช่วยการงอกของขนและการให้สีในไก่และไก่งวง

2.2 Carbadox

- เพิ่มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการให้อาหารของสุกร

2.3 Furazolidone

- ช่วยการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่และไก่งวง

- ช่วยการเจริญเติบโตในสุกร

3. ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายฮอร์โมน (Hormonelike Products)

3.1 Diethylstibestrol (Stilbestrol)

3.1.1 ใช้ในการขุนโคและแกะ เพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (10-20%) และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ (10-15%)

3.1.2 ใช้ 10 มก./โค 1 ตัว/วัน ที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 350 กก. และใช้ 2 มก./แกะ 1 ตัว/วัน

3.1.3 ก่อนส่งโรงฆ่า 14 วันต้องงดให้ diethylstilbestrol

3.1.4 ไม่ใช้กับสัตว์ที่ใช้ผสมพันธุ์หรือสัตว์ให้นมหรือสุกรหรือสัตว์ปีก

3.1.5 อาจใช้ฝังกับสัตว์ดังต่อไปนี้ (มีฤทธิ์อยู่ ~ 100 ถึง 120 วัน)

- ลูกโค (น.น. < 200 กก.) ใช้ 1-2 มก./ตัว
- ลูกโค (น.น. < 200 กก.) และ **yearlings** ใช้ 24-36 มก./ตัว
- การขุนแกะใช้ 3 มก./ตัว

3.1.6 **Stilbestrol** ใช้ได้ผลดีกับ **Steers** และ **Weathers**

3.2 MGA (Melengestrol Acetate)

3.2.1 ใช้ 0.25-0.5 มิลลิกรัม/ตัว/วัน (ให้กับโคสาวที่เลี้ยงในคอก)

3.2.2 เร่งการเจริญเติบโต (7-11%)

3.2.3 ช่วยหยุดการเป็นสัด

3.3 Synovex (ใช้ฝัง)

3.3.1 **Synovex-s** (ใช้ฝังกับ **Steer**) แต่ละเม็ดจะมี **Progesterone** 20 มิลลิกรัมและมี **estradiol benzoate** 20 มิลลิกรัม

3.3.2 **Synovex-H** (ใช้ฝังกับ **Heifer**) แต่ละเม็ดจะมี **testosterone** 200 มิลลิกรัมและมี **estradiol benzoate** 20 มิลลิกรัม

3.3.3 **Synovex** ทั้งสองชนิดดังกล่าวช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (10-15%) และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร (8-12%) ในโคเนื้อ

3.3.4 ไม่ควรส่งโรงฆ่าภายในเวลา 60 วัน นับจากวันฝัง

4. ยาถ่ายพยาธิ (Worming or Anthelmintic Agents)

4.1 **Banminth 60 g/**อาหาร **1 ton,800 g**

4.2 **Coumaphos (Meldane or Baymix)** ใช้ผสมในอาหารไก่หรือโค ระยะสั้นๆ

4.3 **Dichlorvos** ใช้ผสมในอาหารสุกรหรือม้า ระยะสั้น

4.4 **Hygromix (Hygromycin B)** ใช้ผสมลงในอาหารไก่ และอาหารสุกร **8-12 g/ton**

4.5 **Phenothiazine** ใช้ผสมอาหารหรือผสมกับเกลือใช้ได้กับสัตว์ทุกชนิด

4.6 **Piperazine** ใช้ผสมกับอาหารและกินให้หมดภายใน 1 วัน (ใช้เติมในอาหาร 0.2-0.4%) หรือใช้ระดับ 0.1-0.2% ในน้ำใช้ได้ดีกับไก่ ไก่งวง และสุกร

4.7 **Thibenzole (Thiabenzadole)** ใช้ผสม

ลงในอาหารโค แกะ สุกร **3-5, 2, 1%**

4.8 **Tramisol (Levamisole Hydrochloride)**

ผสมลงในอาหารโค สุกร 0.08-0.8% ใช้ครั้งเดี่ยวหมด

5. Goitogenes เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้หยุดยั้งการทำงานของต่อมไทรอยด์เพื่อลด metabolic activity ตัวอย่าง เช่น Thiourea , Thiouracil และ Tapazole

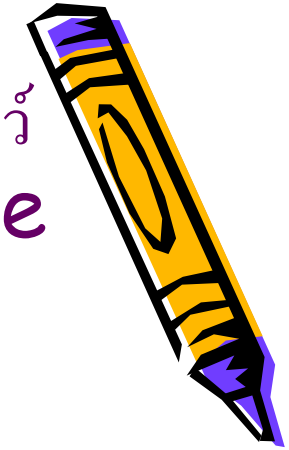
6. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันโรคท้องอืด

6.1 **Poloxalene** ชื่อทางการค้า **Bloat Guard**

ใช้ 1-2 กรัม/น.น. ตัว 100 ปอนด์/วัน

6.2 น้ำมันพืช **(Vegetable oils)** ใช้พ่นในแปลงหญ้า แต่ค่าใช้จ่ายสูงหรือใช้ฉีดเข้ากระเพาะผ้าขี้ริ้ว

7. Tranquilizers ใช้ฉีดเข้ากล้ามเพื่อทำให้สัตว์ไม่ตื่นง่ายในเวลาเข้าประกวด เช่น hydroxyzine และ Reserpine



ซีโอไลท์ (ZEOLITE)

เป็นสารประกอบพวกซิลิเกต มีโครงสร้างโปร่งพรุน ซึ่งเกิดจากการพองตัวของโมเลกุลที่ได้รับความร้อนสูงมาก ประกอบด้วย แร่ธาตุซิลิคอน เหล็ก อลูมิเนียม **Na , Mg , K , Ca , S , P** และ **Mn**

คุณสมบัติ: แลกเปลี่ยนไอออนและการดูดซับประจุไฟฟ้า

ประโยชน์: ใช้ผสมในอาหารเพื่อเพิ่มแร่ธาตุให้แก่สัตว์ ทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์ดีขึ้น ลดปริมาณแอมโมเนียมจากมูลสู่บรรยากาศ

หญ้าแห้งและการทำหญ้าแห้ง

ประกอบด้วย น้ำหรือความชื้น $\leq$ 15%

TDN $\approx$ 40-60%

CF $\approx$ 18-34%

จุดประสงค์การทำหญ้าแห้ง

spontaneous combustion bacteria termophillic

ความสำคัญของหญ้าแห้งในการใช้เป็นอาหารสัตว์

1. เป็นอาหารที่มีราคาถูก
2. เป็นแหล่งพลังงาน หญ้าแห้งมีคาร์โบฯ $\approx$ 40-70%
3. เป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ $\rightarrow$ ถั่ว
4. ช่วยป้องกันไม่ให้ไขมันในน้ำนมลดลงจากปกติ 3-6 กก./ตัว
5. ช่วยกระตุ้นให้กระเพาะรูเมนของลูกโคเจริญพัฒนาได้เร็วขึ้น

คุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

หญ้าแห้ง 1 กก. มีคุณค่าทางอาหารเท่ากับหญ้าสด 3 กก.

พืชตระกูลถั่ว , ถั่ว+หญ้า

หญ้าแห้งจากหญ้าเขตร้อนมี CP 4-10%

หญ้าแห้งจากถั่วเขตร้อนมี CP 11-17%

ค่า TDN ขึ้นอยู่กับคุณภาพของหญ้าแห้ง

1. หญ้าแห้งคุณภาพดีเลิศ (excellent hay) มี TDN = 55% จัดให้สัตว์ กิน ≈ 3% ของน้ำหนักตัว
2. good hay มี TDN 52-54% ให้กิน ≈ 2.5% ของน้ำหนักตัว
3. average hay มี TDN ≈ 2.5% ให้กิน ≈ 2% ของน้ำหนักตัว
4. fair hay มี TDN ≈ 46-48% ให้กิน ≈ 1.5% ของน้ำหนักตัว
5. poor hay มี TDN < 46% ให้กิน ≈ 1% ของน้ำหนักตัว

ชนิดของหญ้าแห้ง

1. Field – cured hay or sun – cured hay ผึ่งแดด 2-3 วัน

2. Barn – cured hay ตากแดด ≈ 18 ชม. → กองไว้ในโรง → ใช้ความร้อนหรือลมไล่ความชื้น (โรงอบ)

3. Dehydrated hay สับหญ้าเป็นท่อน → ทำแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 600-1000^{0}ซ เป็นเวลา 2-3 นาที สูญเสียโภชนะ ≈ 3-10% DM

การเก็บหญ้าแห้ง

1. Long hay → สูญเสียสูง (ความชื้น <20%)
2. Chopped hay → ยาว ≈ 2-10 ซม. เปลืองพื้นที่เก็บ ฟุ้งกระจาย
3. Baled hay → อัดเป็นฟ่อนขณะมีความชื้น 20-22 % นิยมมาก ขนาดมาตรฐาน 26 x46x90 ซม. น้ำหนัก 15-20 กก.
4. Palleted hay → หญ้าแห้งบด → อัดเป็นเม็ด โคชอบกิน แต่เพิ่ม propionate ทำให้ไขมันในนมลดลง
5. Cube or watering hay → หั่นยาว 2-3 นิ้ว อัดเป็นลูกบาศก์ขนาด 1.25x1.25 นิ้ว ไม่มีปัญหาไขมันในนม

พืชที่เหมาะสำหรับการทำหญ้าแห้ง

มีใบ > ลำต้น หญ้าเกือบทุกชนิดยกเว้นหญ้าที่มีใบ < ลำต้น เช่น หญ้าซิกแนล หญ้ากินนีบางพันธุ์ และข้าวโพด และถั่วพันธุ์ต่าง ๆ

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตัดพืชสำหรับทำหญ้าแห้ง

1. หญ้า → เริ่มออกดอก
2. ถั่ว - อายุปีเดียว → ตัดหลังจากเมล็ดแก่
   - อายุหลายปี → เริ่มออกดอก≈ 0.5% ต่อวัน

ขั้นตอนในการทำหญ้าแห้งชนิดผึ่งแดด

ตัดพืชที่อยู่ในระยะที่เหมาะสม

↓ $C_6H_{12}O_6+6O_2+6H_2O$

วางกระจายบาง ๆ

↓ ทิ้งข้ามคืน

คราดพืชมากองรวมกันหลวม ๆ

↓ 2 วัน (20%)

เก็บเข้าโรงเก็บ , อัดเป็นฟ่อน (20-22%)

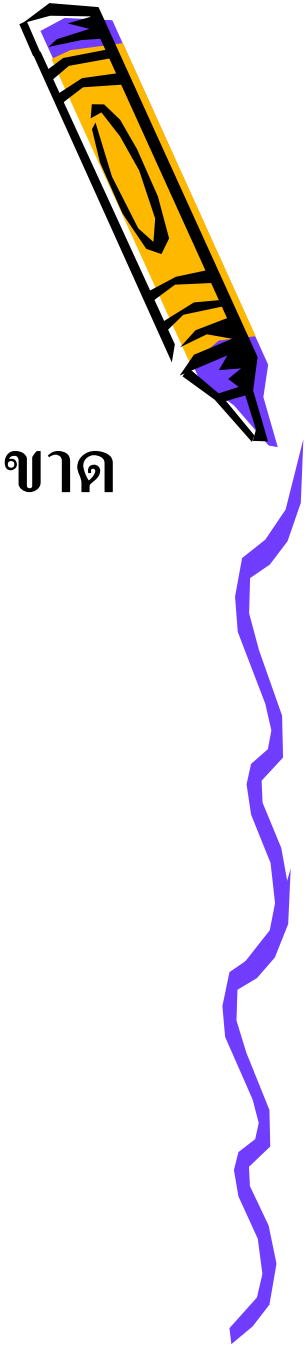
ลักษณะของหญ้าแห้งที่มีคุณภาพดี

1. มีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น มีโปรตีน แร่ธาตุ และไวตามิน
2. มีสัดส่วนของใบมากกว่าส่วนอื่นของพืช และใบมีสีเขียวจัด
   - ใบมีโปรตีนมากกว่าลำต้นประมาณ 2 – 3 เท่า
   - ใบมีแคโรทีน (carotene), มีไวตามิน บี, แร่ธาตุและพลังงานมาก
3. มีลำต้นอ่อนนุ่มไม่แข็ง สัตว์กินได้หมด
4. มีรสดี กลิ่นหอม มีความน่ากิน
5. ต้องไม่มีสิ่งปลอมปน สิ่งปลอมปนมีทั้งพวกไม่เป็นอันตราย

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพหญ้าแห้ง

1. ชนิดของพืช → ถั่ว > หญ้า
2. ความอุดมสมบูรณ์
3. อายุของพืช → แก่ , อ่อน
4. เปอร์เซ็นต์ของใบ → > 50%
5. วิธีทำหญ้าแห้ง → แบบ 3 มีคุณภาพสูงกว่า 1+2

ชนิดของหญ้าแห้ง	การสูญเสียของหญ้าแห้ง			
	DM (%)	CP (%)	TDN (%)	Carotene (%)
ผึ่งแดด + ทำแห้งในโรง	20-30	27.30	25-28	90-97
ระเหยน้ำออกโดยเร็ว	16	18	13	76



6. สีของหญ้าแห้ง

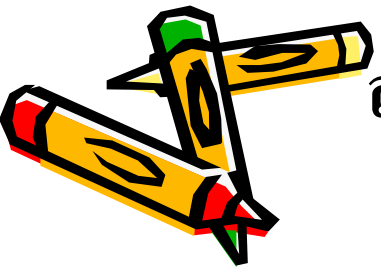
สีเขียวสด → ดี

สีเหลืองซีดถึงสีน้ำตาล → ฝน, โรค+แมลง, ขาดโบรอน

น้ำตาลคล้ำถึงสีดำ → ชื้นมาก

สีเทาออกขาว → เชื้อรา

7.สภาพของหญ้าแห้ง



สภาพดีมีความชื้นเหมาะสม ≈ 20%

ถ้าความชื้น 25-30 % → เชื้อราสร้างสารพิษ (mycotoxin) เช่น *Aspergillus flavus*, *Panicillium cyclopium*, *P. islandicum*, *P. palitans*

สารพิษ → Vit. K

Spontaneous combustion 71^{0}ซ. → 79-80^{0}ซ.

เกิดช่วง 6 สัปดาห์ - 1 เดือน

8.สิ่งแปลกปลอม

เช่น พืชเป็นพิษ วัชพืช หิน ไม้ และ ลวด

หญ้าหมักและการทำหญ้าหมัก

หญ้าหมัก (silage) คือ

ประเภทของหญ้าหมัก

1. High moisture of Direct-cut silage → น้ำ > 70% (>70-85%)
2. Wilted silage ความชื้น 60-70%
3. Low moisture silage or Haylage ความชื้น 45-55%

ประเภทของหลุมหมักหรือถังหมัก (silo)

1. Bunker or Clamp silo
2. Tower silo
3. Pit silo
4. Stack silo
5. Trench silo

ชนิดของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ทำหญ้าหมัก

1. พืชตระกูลหญ้า
2. พืชตระกูลถั่ว
3. ธัญพืช นิยมมากข้าวโพด* และข้าวฟ่าง

ข้าวโพด → King of crops → Top quality silage

NFE = 16.62% protein , Ca , Mn ต่ำ

ข้อปฏิบัติในการทำหญ้าหมัก

1. ตัดพืชเมื่อพืชมีอายุเหมาะสม เพราะ

ข้าวโพด → milky grain stage – early dent stag

ข้าวฟ่าง → last dough stage

หญ้า ถั่วและธัญญพืชอื่น → เริ่มออกดอก

2. หั่นพืชให้มีความยาวที่เหมาะสม มีข้อดี คือ

High moisture silage → หั่นยาว 0.95-1.91 ซม.

Wilted silage → หั่นยาว 0.95-1.27 ซม.

Low moisture silage → หั่นยาว 0.64 ซม.

3.ควบคุมความชื้นของพืช 60-70 %

- ความชื้น < 60% → อัดแน่นยาก มีช่องอากาศ เชื้อรา

- ความชื้น > 70% → สูญเสียโภชนะ

การประมาณความชื้นของพืชอาหารสัตว์ → พืช→ กำ

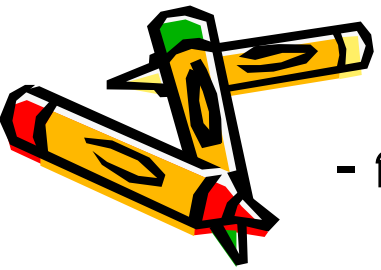
(1 นาที) → คลาย

- ก้อนกลม+มีน้ำไหลออก → ความชื้น > 75%

- ก้อนกลม+มีน้ำไหลออก → ความชื้น > 70-75%

- ก้อนพืชแตกออกช้า ๆ มือไม่มีความชื้น

→ ความชื้น > 60-70%



- ก้อนพืชแตกออกอย่างรวดเร็ว →ความชื้น <60%

การปรับความชื้นในพืช

- ถ้าความชื้นสูง - ผึ่งแดด→แดดดีประมาณ 2 ชม.

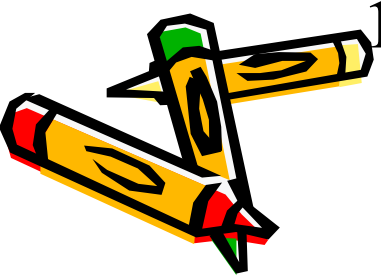
  ลดได้ประมาณ 10-15% (ประมาณ 5% ต่อ ชม.)

- เติมเมล็ดพืชป่น เช่น เมล็ดข้าวโพดป่น

  → 150 p./ton ลด 5%

- ถ้าความชื้นต่ำ → เติมน้ำ 4-5 แกลลอน/พืชสด

  1 ตัน เพิ่มความชื้น 1%



4.เติมสารช่วยหมัก (preservatives) เมื่อจำเป็น

จุดประสงค์ในการเติมสารช่วยหมัก

1.1 กากน้ำตาล (molasses) เติมเพื่อ? ใช้ใน?

ปกติพืชควรมีน้ำตาลประมาณ 13-16 %DM แต่หญ้ามี ↓ ประมาณ 6 %DM ควรเติมกากน้ำตาล 80 กก./พืช 1 ตัน ถั่วเติม 30 ลิตร/พืช 1 ตัน

1.2 ยูเรีย (urea)

ยูเรีย 10 ปอนด์/ข้าวโพด 1 ตัน เพิ่ม CP จาก 8.30%→ 12.3%DM เพิ่ม Lactic acid 4.2%→ 5.4%

1.3 หินปูน (limestone or calcium carbonate)

ใช้ 0.5 – 1.0 % โดยน้ำหนักของพืชที่ใช้ทำ

หญ้าหมัก

1.4 กรดอินทรีย์ (organic acids) ใช้กับพืชที่มี

ความชื้นสูงเพื่อ? เช่น กรด formic acid →

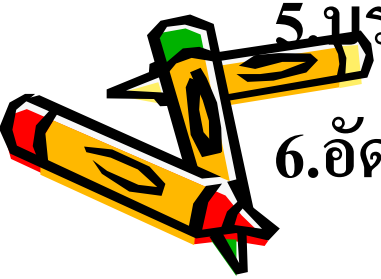
2.25 ลิตร/พืช 1 ตัน

propionic acid → 1% โดยน้ำหนักของ

พืช

5.บรรจุพืชที่หั่นแล้วลงไปในไซโลอย่างรวดเร็ว เพื่อ?

6.อัดให้แน่น



กระบวนการหมัก

เสร็จสมบูรณ์ประมาณ 2-3 สัปดาห์ แบ่งเป็น 5 ระยะ

ระยะที่ 1 → $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + ความร้อน T ประมาณ 37.8^0ซ. Yeast + mold

5 ชม. → O_2 หมด → พืชตาย

ระยะที่ 2 → anaerobic bacteria เช่น Lactobacilli + Streptococci

Lactobacilli

Starch + sugar ⟶ acetic acid (CH_3COOH)

Streptococci

ระยะที่ 3 → เริ่มผลิตกรดแลคติกโดย Lactic producing Bacteria LPB

$$\text{Glucose } (C_6H_{12}O_6) \longrightarrow \text{lactic acid } (2C_3H_3O_6)$$

ระยะที่ 1 + 2 + 3 → ใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน

ระยะที่ 4 → ผลิตกรดแลคติกเพิ่มมากใช้เวลา 15-20 วัน pH 3.5-4.5

ระยะที่ 5 → ขึ้นอยู่กับ 4 ระยะแรก

$$\text{Lactic acid} \rightarrow \text{butyric acid} + 2CO_2 + 2H_2$$

clostridia

Protein → ammonia, amino acid, amines, amide (proteolytic bacteria)

คุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

หญ้าหมักคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้ 85 % (>) หญ้าแห้งประมาณ 80% (<) 50-60%

หญ้าหมัก 2-3 ปอนด์ มีคุณค่าทางอาหารเท่ากับหญ้าแห้ง 1 ปอนด์

คุณภาพของหญ้าหมัก

หญ้าหมักที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐานยุโรป :

pH 4.2 Lactic acid 3-13%

NH_4-N < 11% ของ N ทั้งหมด Butyric acid < 0.2%

ไม่มีเชื้อรา ไม่มีรสขม

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

1. อายุของพืชที่ใช้ทำหญ้าหมัก หญ้าขนตัดเมื่อสูง 0.75-10 ม.
2. ขนาดของชิ้นพืช
3. ความชื้นของพืช
4. อุณหภูมิ → มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์เร่งกระบวนการหมัก เร่งการสลายโปรตีน

5.ปริมาณออกซิเจน → มีเพียงพอต่อการเจริญ LAB

6.ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

หญ้า ถั่วและธัญพืช มีจุลินทรย์ $<10^2$ CFU/กรัมของพืช

ข้าวโพด มีจุลินทรีย์อยู่ 10^2 – 10^7 CFU/กรัมของพืช

การเติมหัวเชื้อ → ใช้ 10% (>)ของปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

7.ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น → WSC 100 g/kg DM

8.ลักษณะของ silo

9.การเติมสารช่วยหมัก → เอนไซม์ย่อยสลาย

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของการทำไซเลจ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารต่ำจึงมีคุณค่าใกล้เคียงกับพืชอาหารสัตว์สด	1. เกษตรกรต้องมีความชำนาญในการทำไซเลจ
2. ทำได้ทุกสภาวะอากาศและฤดูกาล	2. ไซเลจขาดวิตามินดี
3. ส่วนของพืชที่แข็งก็จะอ่อนนุ่มสัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น	3. ลงทุนสูงในระยะแรก
4. พืชบางชนิดเมื่อทำเป็นอาหารสัตว์หมักแล้วความชอบกินของสัตว์เพิ่มมากขึ้น	4. ต้องรีบใช้ทันทีเมื่อนำออกจากหลุมหมักเพราะจะเสียหายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ
	5. เนื่องจากหญ้าหมักมีฤทธิ์เป็นกรดจึงทำลายภาชนะที่เป็นโลหะได้ง่าย

5. สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาเพราะใช้พื้นที่ในการเก็บน้อย และสามารถใช้หลุมหมักได้หลายครั้ง

6. ความน่ากิน

7. สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะ

8. เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ที่ดิน

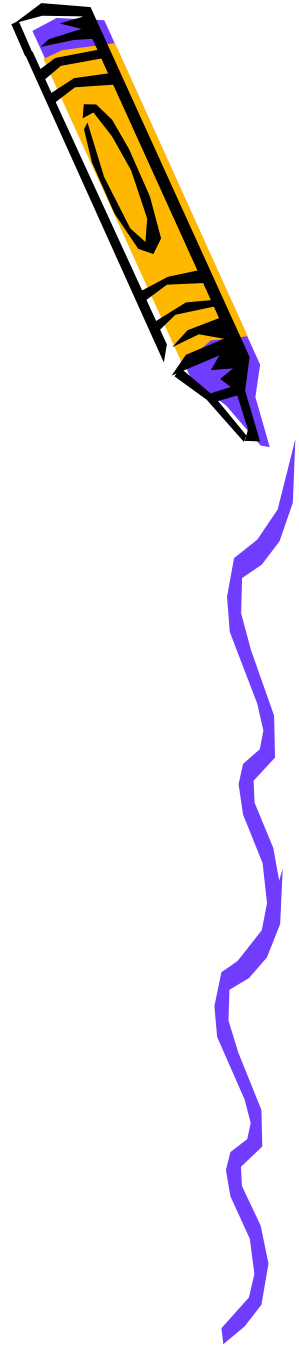
9. ไม่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย

10. น้ำนมที่ได้จากสัตว์ที่กินหญ้าหมักมีวิตามินเอสูง

11. มีพืชอาหารสัตว์ไว้ใช้เลี้ยงสัตว์ในยามขาดแคลน

12. ช่วยทำลายวัชพืชในแปลงหญ้า

6. เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ที่กินอาหารที่มีเมล็ดธัญญพืชมาก โคเนื้อต้องใช้เวลาขุนนานขึ้นจึงจะได้คุณภาพเท่ากัน



ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนะและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของพืชอาหารสัตว์สดและไซเลจ

คุณสมบัติ	พืชอาหารสัตว์สด	ไซเลจ
DM, %fresh weight	32.14	30.70
pH	5.63	4.25
Titratable acidity, meg NaOH/100g of DM	12.13	86.34
Buffering capacity, meg NaOH/100 g of DM	40.14	97.06
Water soluble carbohydrate	10.72	5.40
NDF	46.75	49.49
ADF	31.74	33.84
Cellulose	26.94	28.66
Hemicellulose	15.01	15.64
Crude protein	15.18	15.81

NDF : Neutral detergent fiber

ADF : Acid detergent fiber

การสูญเสียของหญ้าหมัก เกิดจาก

ปกติ 10-20%

1. ความร้อน → ปกติ 32.2-37.8 ^{0}ซ.

   ถ้าสูงกว่า 37.8-93.3 ^{0}ซ.→ เน่าเสีย , โปรตีนถูกทำลาย

   การย่อยได้ลดลง

   การทำให้อุณหภูมิขณะหมักต่ำ

2. เกิดเชื้อรา → มีอากาศมากไปเพราะ

3. เกิดแก๊ส → จากการหายใจของพืช , จุลินทรีย์ที่ไม่

   ต้องการ เนื่องจาก

4. มีความชื้นสูง > 70% สูญเสียโภชนะสูง

   ถ้าความชื้น < 70 , 70-75 และ >75% มีการสูญเสีย

   วัตถุแห้งเท่ากับ 4.5 , 1.28 และ 13.7% ตามลำดับ

การใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์

นิยมใช้เลี้ยงโคเนื้อ โคนม แพะ แกะ สุกร และไก่

โคเนื้อให้กิน 6-7 ปอนด์/นน.ตัว 100 ปอนด์ (6-7% ของนน.ตัว)

โคนมให้กิน 8-10 ปอนด์/นน.ตัว 100 ปอนด์ (8-10% ของนน.ตัว)

โครีดนม ให้กิน 12-14 กก./ตัว/วัน *ให้หลังรีดนม (2 ชม.)

โคเนื้อ ให้กิน 10-13 กก./ตัว/วัน

แพะ , แกะ ให้กิน 4-6 กก./ตัว/วัน

สุกร ให้กิน 1.5-3 กก./ตัว/วัน

ไก่ ให้กิน 2-4 กก./100 ตัว/วัน

- ใช้หญ้าหมัก 2.5-3 ปอนด์ แทนหญ้าแห้ง 1 ปอนด์ (DM)
- เปิดหญ้าหมักใช้แล้วต้องใช้ทุกวัน วันละ 2-5 นิ้ว
- ใช้ระยะขาดแคลนพืชอาหารสัตว์

แสดงส่วนประกอบของเสียของสัตว์ชนิดต่างๆ

	ไก่ไข่	ไก่กระทง	วัวนม	สุกร
CP	28	31.3	12.7	22-27
CF	12.7	16.8	37.5	-
EE	2.0	3.3	2.5	-
Ash	28.0	15.0	16.1	-
TDN	52.3	72.5	45.0	45.0

สารพิษที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์

1. **Aflatoxin** เกิดจากการผลิตของเชื้อราพวก **Aspergillus spp.**
   พบในเมล็ดถั่ว ข้าวโพด มันสำปะหลัง น้ำนม น้ำมัน และอาหารสัตว์ที่เก็บในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง

   ทำลาย ใช้ความร้อนสูง 150°C 4 ชม. ทำให้โภชนะในวัตถุดิบสูญเสีย

   อาการ การทำงานของตับลดลง เป็นดีซ่าน มีอาการประสาทตาย 2-5 วัน

2. **Cyanide** มีอยู่ในมันสำปะหลัง ข้าวฟ่าง และถั่วบางชนิด

   ลดพิษโดย การตากแห้ง การแปรรูป เช่น การบด อัดเม็ด หรือเติม วิตามิน B12 กรดอะมิโน methionine

   อาการ เป็นคอหอยพอก เกิดอาการทางประสาทช็อคตาย

3. **Mimosine** มีในใบกระถิน 2-4% เมล็ด 7%

ลดพิษ ใช้ความร้อนอบที่ 700C ครึ่งวันหรือใช้เหล็กซัลเฟต

อาการ ขนร่วงขับน้ำลายออกมากเกิดคอหอยพอก ลดการทำงานของจุลินทรีย์

4. **Gossypon** มีในเมล็ดฝ้าย

ลดพิษ เสริมเหล็กซัลเฟต 4 เท่า

อาการ กินอาหารลดลง หัวใจวาย ตาย

ในไข่ไก่ → สีไข่แดงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแกมเขียว

ในน้ำนมก็เช่นกัน

บทที่ 5

โภชนะในอาหาร

C,H,O,P,K,I,N,S,Ca,Fe,Mg,Na,Cl,Co,Cu,F,
Mn,Zn,Mo and Se

องค์ประกอบของโภชนะ

1.Water; H,O

- ร่างกายสัตว์มีน้ำ > 50%
- อาหารสัตว์แห้งมีน้ำ ~ 10%
- อาหารพืชสดมีน้ำ > 80%

แหล่งน้ำสำหรับสัตว์

1. น้ำดื่ม
2. น้ำในอาหาร
3. น้ำที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารในร่างกาย (metabolic water or oxidation water)

สัตว์จำศีล (Hibernating animals)

การสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย

1. ทางปัสสาวะ; Nitrogenous end product
   - Uric acid
   - Urea
2. ทางมูล
3. น้ำที่สูญเสียโดยไม่รู้ตัว (Insensible water)

หน้าที่ของน้ำ

1. รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ

โค	101.5 °F	สุกร	102.6 °F
ม้า	100.2 °F	แกะ	103.5 °F
ไก่	105.0 °F		

$$°K = °C + 273.5$$

$$°C = \frac{(°F - 32)5}{9}$$

$$°F = \frac{(°C - 9)+32}{5}$$

2. หน้าที่อื่นๆ Synovial fluid

ความต้องการน้ำของสัตว์เลี้ยง

1. อุณหภูมิและความชื้น
2. อายุสัตว์
3. อาหารสัตว์ มีหลายปัจจัย เช่น ชนิดหรือรูปแบบของอาหาร ปริมาณเยื่อใย โปรตีน และเกลือในอาหาร
4. ขนาดของตัวสัตว์
5. ระดับความสูงจากน้ำทะเล
6. การเคลื่อนไหว
7. การขับถ่ายน้ำออกจากร่างกาย
8. ระดับของการให้ผลผลิต
9. คุณภาพน้ำดื่ม

ตารางแสดงปริมาณน้ำที่สัตว์แต่ละชนิดต้องการ

ชนิดของสัตว์	ปริมาณน้ำ (ลิตร/วัน)
โคเนื้อ	20-30
ไก่ 100 ตัว	16
สุกร แพะ แกะ	8
โคนม	40-50

ผลกระทบของการขาดน้ำ

- กระหายน้ำ
- ไม่สบาย เบื่ออาหาร เมื่อขาดน้ำ **4-5%** ของน้ำหนักตัว
- ปวดศีรษะเคลื่อนไหวช้าลง เสียงแหบ ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีม่วง เมื่อขาดน้ำ **6-10%** ของน้ำหนักตัว
- ตาเริ่มแห้ง ผิวหนังย่น กลืนอาหารไม่ลง เริ่มเพ้อคลั่ง และอาจถึงตาย เมื่อขาดน้ำ **12-14%**

การวิเคราะห์หาน้ำในอาหาร

1. ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม
2. ใช้อุณหภูมิอบ 100-105 °C

$$\% \text{ น้ำ} = \frac{\text{นน.ที่หายไประหว่างการทำแห้ง} \times 100}{\text{นน.ตัวอย่างก่อนการทำแห้ง}}$$

$$\% \text{ DM} = \frac{\text{นน.ตัวอย่างหลังการทำแห้ง} \times 100}{\text{นน.ตัวอย่างก่อนการทำแห้ง}}$$

$$\% \text{ น้ำ} = 100 - \% \text{ DM}$$

2.Carbohydrate; C, H and O

สูตร; $C_x(H_2O)_y$

การสร้างคาร์โบไฮเดรตในพืช

ขบวนการสังเคราะห์แสง **(Photosynthesis)**

$$6CO_2 + 6H_2O + 673Kcal \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

(กลูโคส)

การแบ่งประเภทของคาร์โบไฮเดรต

Carbohydrate

Simple Carbohydrate

- Monosaccharide; Glucose,Fructose,Galactose
- Disaccharide; Sucrose,Lactose,Maltose
- Oligosaccharide: Trisaccharide; Raffinose
- Polysaccharide; Starch (NFE),Cellulose (CF)
  Hemicellulose (CF)

Complex Carbohydrate

- Neucleotide
- Glycoprotein
- Glycolipid

1.Simple carbohydrate;

1.1 Monosaccharide มี C; 3-7อะตอม แบ่งเป็น

- Triose; $C_3H_6O_3$
- Tetrose; $C_4H_8O_6$
- Pentose; $C_5H_{10}O_5$
- Hexose; $C_6H_{12}O_6$
- Heptose; $C_7H_{14}O_7$

น้ำตาล **Pentose** ที่สำคัญ

1) Xylose; ซังข้าวโพด เปลือกข้าวโอ๊ต รำข้าว หญ้าแห้ง

2) 2) Ribose and Deoxyribose

Nucleic acid (DNA, RNA), Riboflavin

ADP = Adenosin Diphosphte

ATP = Adenosin Triphosphate

3) Arabinose; gum arabic, รำข้าว, Chery gum

น้ำตาล **Hexose** ที่สำคัญ

1) Glucose or Dextrose or Grape sugar
2) Fructose or Levulose or Fruit sugar
3) Galactose; Lactose ในน้ำนม และ Agar
4) Mannose

1.2 Disaccharide; น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุล ต่อกันด้วย glycosidic linkage ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \Longrightarrow C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$$

(Hexose) (Hexose) (Disaccharide)

1) Sucrose or Cane sugar or Beet sugar

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xRightarrow{\text{sucrase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(sucrose) (water) (glucose) (fructose)

2. Maltose or Malt Sugar

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{maltase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(maltose) (glucose) (glucose)

3. Lactose or Milk sugar

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{lactase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(Lactose) (glucose) (galactose)

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\textit{Lactobacilus bulgaricus}]{\text{Streptococcus thermophilus}} 4C_3H_6O_3$$

(lactose) (lactic acid)

4. Cellobiose; β 1,4 Linkage

1.3 Oligosaccharide; monosac.3-10 โมเลกุล เช่น Trisaccharide; Raffinose

$C_{18}H_{32}O_{16} + 2H_2O \Longrightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$

(Raffinose) (glucose) (fructose) (galactose)

ระดับความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ

Lactose	มีความหวานเท่ากับ	16
Rafinose	"	22.6
Galactose	"	32.1
Maltose	"	32.5
Glucose	"	74.3
Sucrose	"	100
Fructose	"	173

1.4 Polysaccharides; ไม่มีรสหวาน ไม่เป็นผลึก ละลายน้ำอยู่ในรูป Colloid ถูกย่อยได้ intermediate products

ชนิดของ Polysaccharides

1) Non-structure carbohydrate

1.1 Starch; 2 ส่วน คือ amylose, amylopectin

Starch → dextrins → maltose → glucose

Dextrins; มีมากในเมล็ดพืชที่กำลังงอก

1.2 Glycogen (Animal starch); ตับ กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย

2) Structure carbohydrate

2.1) Cellulose; G-G-G-G-G-G

Cellulose $\xrightarrow{\text{Cellulase}}$ Glucose $\xrightarrow{\text{LAB}}$ VFA

LAB; Lactic acid bacteria

VFA; Volatile fatty acid เช่น acetic, propionic and butyric acid

2.2) Hemicellulose; glucose, mannose, xylose, arabinose and xylose

พบในใบ ส่วนอ่อน และเมล็ดพืช สัตว์ย่อยได้

2.3) Pectin; galacturonic, rhamnose, galactose, arabinose and xylose

มีมากในเปลือกส้มและหัวบีท

NSP; Non-starch polysaccharide คือ cellulose, hemicellulose and pectin

2.4) Lignin ไม่ใช่ carbohydrate

2. Complex carbohydrate

2.1) Nucleoside and nucleotide

-Nucleoside; ribose or deoxyribose + base (purine and pyrimidine)

-Nucleotide; มีphosphate มาจับเพิ่มขึ้น

2.2) Glycoprotein; polysaccharide+proten

2.3) Glycolipid; polysaccharide + lipid

การแบ่ง Carbohydrate ในทางวิเคราะห์

1. Proximate analysis; 2 กลุ่ม

1.1 Crude fiber (CF); Hennebery,Stohmann "Weende method"

ตัวอย่างอาหาร

⇓

Oven

⇓

Ether extract

⇓

Sulfuric acid 1.25%; 30 min

⇓

กรอง+ล้าง; น้ำร้อน

⇓

Sodium hydroxide 1.25%; 30 min

กรอง+ล้าง; น้ำร้อน

ล้าง; ethyl alcohol 95%

อบแห้งที่ 100 °C; 2 h ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก (A)

เผาที่ 600 °C; 30 min ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก (B)

น้ำหนัก CF = น.น. A – B

$$\% \text{ CF} = \frac{\text{น.น. CF} \times 100}{\text{น.น. ตัวอย่าง}}$$

1.2 Nitrogen free extract (NFE)

% NFE = 100 – (% water + % CP + % EE + % CF + % ash)

แผนผังของ Van Soest System

พืชอาหารสัตว์

ย่อยด้วย Neutral detergent (ND)

ส่วนประกอบภายในเซลล์

(cell contents or ND solubles)

ส่วนประกอบของผนังเซลล์

(cell wall components or ND insoluble fiber)

ย่อยด้วย Acid detergent (AD)

เฮมิเซลลูโลสและสารNที่ผนังเซลล์

(hemicellulose, cell wall N or AD solubles)

เซลลูโลสและลิกนิน

(lignocellulose or AD Insoluble fiber)

ย่อยด้วยกรดซัลฟุริกเข้มข้น 72%

เซลลูโลส

(cellulose)

ลิกนินที่ไม่ละลายในกรด

(acid insoluble lignin)

น้ำหนักที่หายไปคือลิกนิน

Cell content; น้ำตาล แป้ง เพคติน โปรตีน ไขมัน ไวตามิน อื่นๆ

Cell wall components; เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซิลิกา

Detergent method ของ Van Soest

1. NDF (Neutral detergent fiber), Cell wall

หลักการ; ละลายผนังเซลล์พืชด้วย Sodium lauryl sulphate แล้วกรองเอา cell wall ออกจาก cell contents

วิธีการ;

ตัวอย่าง 0.5 – 1 g

↓

ต้มใน NDS + Sodium sulfite 0.5 g + Decahydronaphthalene 2 cc. นาน 1 h

↓

กรองด้วย crucible, ล้างด้วยน้ำร้อน 90-100 °C 2-3 ครั้ง, ล้างด้วย acetone อีก 2 ครั้ง

อบ **crucible** + ตัวอย่าง ที่ **105 °C, 4 h**
หรือ **100 °C, 8 h** หรือ **overnight**

ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

คำนวณ

$$\% \text{ NDF (Cell wall)} = \frac{A-B}{S} \times 100$$

A = น้ำหนัก **crucible** + ตัวอย่าง
B = น้ำหนัก **crucible**
S = น้ำหนักตัวอย่าง

% NDS (Cell contents) = 100 - % NDF

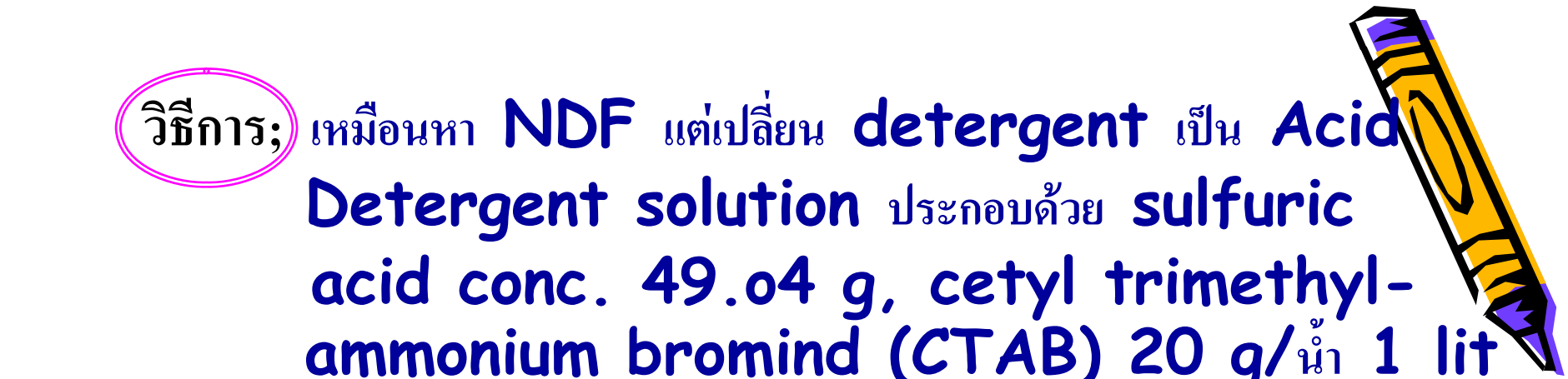
Neutral detergent solution

1. Sodium lauryl sulphate 30 g
2. Disodium ethylene diamine-tetraacetate 18.61 g
3. Sodium borate decarhydrate 6.81 g
4. Disodium hydrogen phosphate 4.56 g
5. 2-ethoxyethanol 10 cc
6. น้ำ 1 lit

2. ADF (Acid detergent fiber)

หลักการ; cell content และ hemicellulose จะถูกย่อยด้วย acid detergent solution ส่วนที่เหลือคือ ADF; cellulose, lignin, cutin and acid insoluble ash (silica)

วิธีการ; เหมือนหา NDF แต่เปลี่ยน detergent เป็น Acid Detergent solution ประกอบด้วย sulfuric acid conc. 49.04 g, cetyl trimethyl-ammonium bromind (CTAB) 20 g/น้ำ 1 lit



คำนวณ;

$$\% \text{ ADF} = \frac{A - B}{S} \times 100$$

A = น.น crucible + ตัวอย่าง

B = น.น crucible

S = น.น ตัวอย่าง

% Hemicellulose = % NDF- % ADF

❖ ตัวอย่างที่ได้นำไปหา lignin ต่อได้

3. ADL (Acid detergent lignin)

หลักการ; แยก**protein** และส่วนประกอบต่างๆที่ละลายในกรด โดยต้ม **Acid detergent solution,** ละลาย **cellulose** ด้วยกำมะถันเข้มข้น **72%,** ส่วนที่เหลือไปเผาที่ **500-550 °C**

วิธีการ; ตัวอย่างจาก **ADF + asbestos** ใส่ใน **crucible**

↓

วาง **crucible** ใน บีกเกอร์ เติมกรดกำมะถัน **72%** จนท่วมตัวอย่างและ **asbestos**

↓

เติมกรดลงไปอย่างสม่ำเสมอทุก **1 h** ประมาณ **3** ครั้ง (ช่วงที่ทำ **Crusible** ต้องอยู่ในที่เย็น ~ **20-23 °C**)

↓

กรองกรดออก ล้างด้วยน้ำร้อน

↓

อบ crucible + ต.ย ที่ 100 °C, 8 h
ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน.น (Wo)

เผา crucible + ต.ย ที่ 500 -550 °C,
3 h ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน.น (Wt)

การคำนวณ

$$\% \text{ ADL} = \frac{(Wo - Wt)}{S} \times 100$$

S = น้ำหนักตัวอย่าง

% cellulose = % ADF- ADL

ตารางแสดงปริมาณเยื่อใย (% DM) ในอาหารสัตว์

	CF	NFE	NDF	ADF	ADL
มันเส้น	3.6	88.84	-	-	-
ข้าวโพด	2.6	81.5	9	3	1
ข้าวฟ่าง	2.0	82.8	18	9	1
รำข้าวจ้าว	12.8	45.2	33	18	-
กากถั่วเหลือง	7.0	37.3	-	10	-
กากถั่วลิสง	10.8	29.2	-	-	-
กากทานตะวัน	35.1	31.5	40	33	12
กากงา	6.1	25.2	17	17	2
กากนุ่น	24.8	43.5	-	-	-
กากฝ้าย	12.8	31.3	28	20	6
ปลาป่น	1.0	1.0	-	-	-
นมผง	0.2	39.8	-	-	-

การย่อยได้ของเยื่อใย

ชนิดสัตว์	แหล่งที่ทำการย่อย	% ย่อยได้สัตว์
เคี้ยวเอื้อง	Rumen, colon	50-90
ม้า	Cecum, colon	13-40
สุกร	Cecum, colon	3-25
เป็ด, ไก่	Ceca	20-30

ประโยชน์ของเยื่อใย

- เยื่อใยมีคุณสมบัติเป็นยาระบายอ่อน ๆ **(Laxative)**
- ไก่ถ้ากินเยื่อใยน้อยเกินไปทำให้เป็น "โรคจิกกันเอง"
- โค, กระบือ ได้รับเยื่อใยน้อยเกินไป ทำให้เป็น "โรคกระเพาะแน่น"

หน้าที่ของคาร์โบไฮเดรต

- เป็นแหล่งพลังงานสำรอง **(Reserved Energy)**

3.Protein

พืชสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้

Nitrate + Sulfate + Co_2 + H_2O + E ➡ Protein

จุลินทรีย์สังเคราะห์โปรตีนได้จาก NPN

สัตว์โตเต็มที่, สัตว์อ้วน และลูกสัตว์ มีโปรตีน 17,10 และ 20%

ส่วนประกอบของโปรตีน

Amino acid ต่อด้วย peptide bond ➡ peptide chain

ประกอบด้วย C = 51-55 %, H = 6.7-7.3 %
O = 21-23 %, S = 0.5-2.0%
N = 15.5-18 %, P = 0-1.5%

หน้าที่ของโปรตีน

Antibody, Sperm, Ovum

การแบ่งประเภทของโปรตีน

แบ่งตาม **Solubility, Coagulation, Precipitation** และผลผลิตที่ได้จากการสลายตัว เป็น 3 กลุ่ม

1) Simple proteins

1.1) Albumins; egg albumin, lactalbumin serum albumin

1.2) Globulins; egg yolk " ovoglobulin"

กล้ามเนื้อ เมล็ดพืช

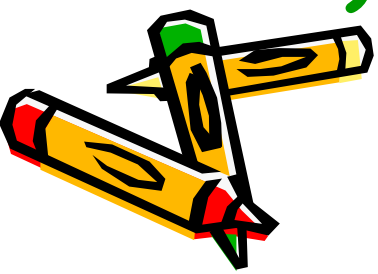
1.3) Glutelins; Endosperm
ข้าวสาลี (Glutenin) ข้าวเจ้า (Oryzenin)

1.4) Prolamines; ข้าวโพด " Zein", ข้าวสาลี
" Gliadine", เมล็ดข้าวบาเลย์ "Hordeine"

1.5) Histones; สลายตัวให้lysine พบใน Thymus, Hemoglobin

1.6) Aluminoids; มีในสัตว์ เช่น เขา ขน และกีบ
Connective tissues "Collagen"
Epidermal tissues " Keratin"

1.7) Protamines; ละลายใน Ammonium hydroxide พบใน Fish sperm



2) Conjugated or compound protein

simple protein และ non protein group

2.1) Nucleoproteins; protein+nucleic acid

เมล็ดพืช ต่อมต่างๆภายในอวัยวะสัตว์

2.2) Glycoproteins; protein+hexose

เนื้อเยื่อต่างๆในลำไส้

2.3) Phosphoproteins; มีp-group เช่น casein ในน้ำนม, vatellin ในไข่แดง

2.4) Chromoproteins; มีสารให้สี เช่น hemoglobin ประกอบด้วย globin and hematin สีแดงในเลือด

2.5) Lecithoproteins; มี lecithin พบในกล้ามเนื้อ เช่น tissue fibrinogen

3) Derived Protein

Simple protein **Conjugated protein**

degrade, ความร้อน น้ำย่อย และกรด

↓

Proteose

↓

Peptone

↓

Peptide

↓

Amino acid

ชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีน

1 กรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid , EAA)

2 กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acid)

sparing effect

Cystine ใช้แทน Methionine ได้ 30%

Tyrosine ใช้แทน Phenylalanine ได้ 50%

คุณสมบัติของโปรตีน (Properties of protein)

1 การละลาย; Nacl, ammonium sulphate

2 การเป็นบัฟเฟอร์ (Switter ion or Amphoteric

3 การเสียสภาพของโปรตีน (Denature); ความร้อน กรด ด่าง แอลกอฮล์ ยูเรีย และเกลือโลหะหนัก

ตารางแสดงกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น

Essential	Non essential
Arginine (Arg)	Alanine (Ala)
Histidine (His)	Aspartic acid (Asp)
Isoleucine (Leu)	Asparagine (Asn)
Leucine (Leu)	Cysteine (Cys)
Lysine (Lys)	Glutamic acid (Glu)
Methionine (Met)	Glutamine (Gln)
Phenylalanine (Phe)	Glycine (Gln)
Threonine (Thr)	Proline (Pro)
Trytophan (Trp)	Serine (Ser)
Valine (Val)	Tyrosine (Tyr)

ในสัตว์ปีกต้องการกรดอะมิโนเพิ่มอีก 2 ชนิดคือ

Glycine

Glutamic acid

แหล่งของโปรตีน (Sources of protein)

1 โปรตีนจากสัตว์ (Animal protein) จะมี Animal protein factor (APF) ซึ่ง APF จะมี Vit.B12

2 โปรตีนจากพืช (Plant protein)

ระดับโปรตีนในอาหาร แบ่งเป็น 3 ระดับ

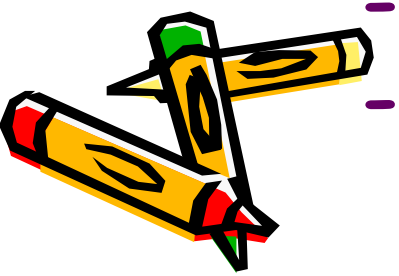
1 อาหารที่มีโปรตีนระดับต่ำ คือ มีโปรตีนอยู่ 1-15%

2 อาหารที่มีโปรตีนระดับปานกลาง คือ มีโปรตีนอยู่ 16-40%

3 อาหารที่มีโปรตีนระดับสูง คือ มีโปรตีนอยู่ 41-80%

คุณภาพของโปรตีน (Protein quality)

- ชนิดและปริมาณของ EAA ที่มีอยู่ในโปรตีนนั้น
- limiting amino acid; Met,Lys



ค่าทางชีวะ **(Biological value)**; **protein** ที่ย่อยได้

ของอาหารซึ่งสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้

Supplementary effect of protein;

การเสริมกรดอะมิโนให้แก่กันและกัน

ตัวอย่าง สุกรมีน้ำหนัก 47.5 กก.

ต้องการ **Isoleucine** 10.9 กรัม

ในข้าวโพดมี 8.9 กรัม

กากถั่วเหลืองมี 9.60 กรัม

รวมกัน 18.5 กรัม

ต้องการ **Threonine** 9.8 กรัม

ในข้าวโพดมี 7.13 กรัม

กากถั่วเหลืองมี 6.53 กรัม

รวมกัน 13.66 กรัม

ผลการให้โปรตีนแก่สัตว์มากเกินไป

เพิ่มการทำงานของตับและไตในการขับไนโตรเจนออกจากร่างกาย

โปรตีนเหลือใช้

- แยกเอา NH_2 group ออกจากกรดอะมิโนแล้วขับออกจากร่างกายในรูป urea ทางปัสสาวะ
- ส่วนที่เหลือนำไปเผาผลาญเป็นพลังงาน

การใช้ประโยชน์จาก NPN ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

NPN เช่น urea , biureat เกลือแอมโมเนียและมูลสัตว์

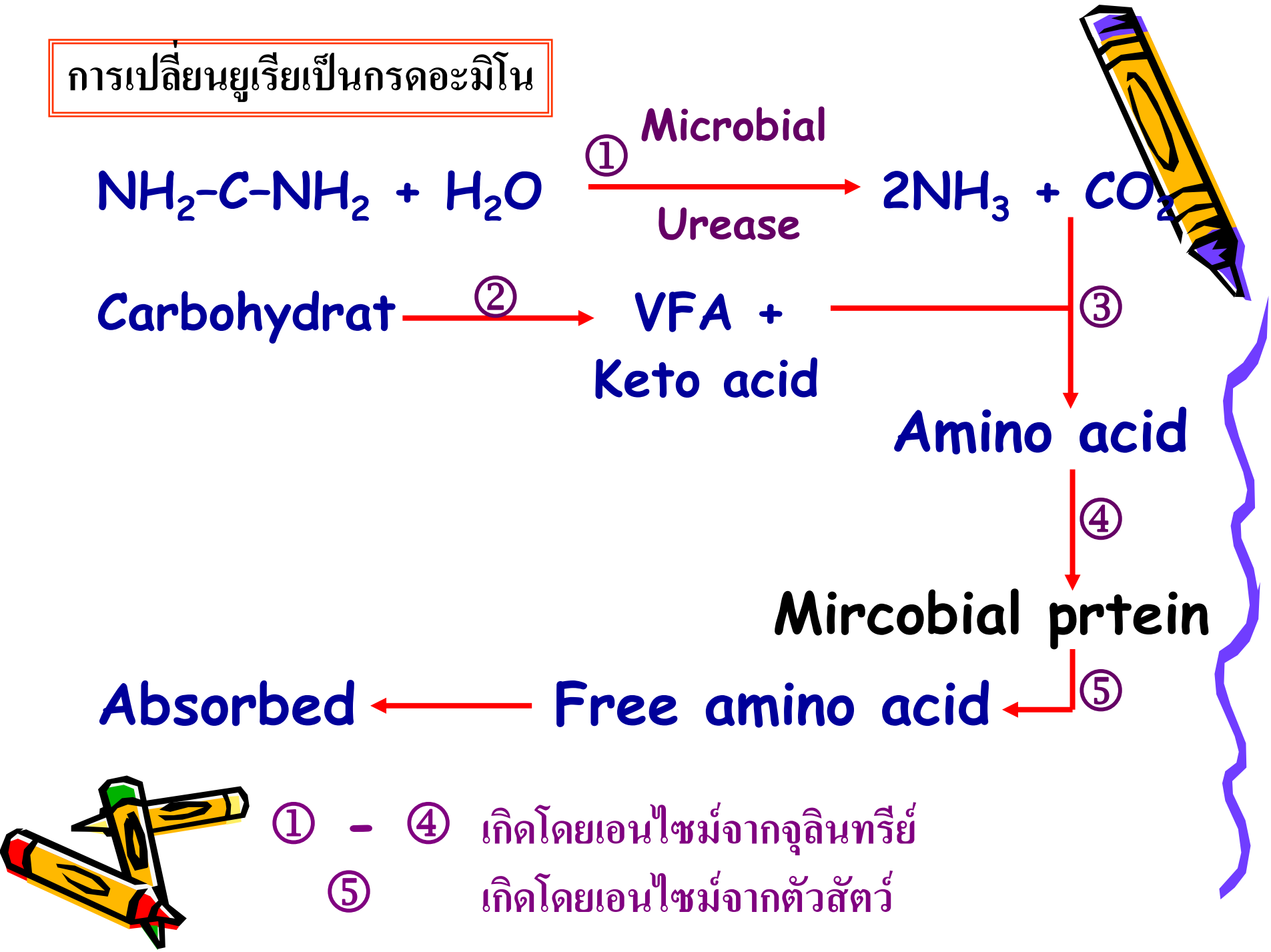
การใช้ยูเรีย

ยูเรียมี N 46.7% มี CP = 46.7x6.25 = 292%

ปุ๋ยยูเรียมี N 46% มี CP = 288%

วัตถุดิบ	บาท/ก.ก	CP (%)	บาท/100 กรัมCP
ยูเรีย	8	288	0.28
กากถั่วเหลือง	16	44	3.64
ปลาป่น	22	60	3.67

การเปลี่ยนยูเรียเป็นกรดอะมิโน



① - ④ เกิดโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์

⑤ เกิดโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์

การเป็นพิษของยูเรีย

ยูเรียไม่เป็นพิษต่อสัตว์โดยตรง แต่แอมโมเนียเป็นพิษ

สัตว์ดูดซึมแอมโมเนียเข้าสู่เส้นเลือดสร้างเป็น **alkalosis**

ถ้า NH_3 ในเลือดสูงเกิน 10 มก./ลิตร น้ำลายไหล ชัก ท้องอืด กล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กัน หายใจผิดปกติ

ถ้า NH_3 สูงถึง 30 มก./ลิตร สัตว์อาจถึงตาย

การแก้ไข → น้ำส้มสายชูผสมน้ำเย็น

ข้อควรระวังในการใช้ยูเรีย

ใช้ไม่เกิน 30 กรัม/น้ำหนักตัว 100 ก.ก. หรือไม่เกิน 1/3 ของโปรตีนในสูตรอาหาร

เสริม P, S และอาหารพลังงาน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

โปรตีนมี N 16% Factor ที่นำไปคูณ 100/16 = 6.25

โปรตีนในน้ำนม มี N 15.7% Factor ที่คูณ = 6.38

โปรตีนในแป้งข้าวสาลี มี N 17.5% Factor ที่คูณ = 5.71

"Kjeldahl Gunning Method"

หลักการ

1 การย่อย → $(NH_4)_2 SO_4$

2 การกลั่น → Boric acid

3 การไตเตรท

4 นำไปคำนวณหาค่า N แล้วคูณด้วย Empirical factor เพื่อหา % Protein

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ตัวอย่างอาหารประมาณ **1** กรัม

↓

ย่อยด้วยกรดซัลฟุริกเข้มข้น + **$CuSO_4$** + **Na** หรือ Potassium sulfate

↓

นำมากลั่น $NaOH$ 45% เพื่อไล่ NH_3 ออกมาเก็บ NH_3OH ที่ได้โดย (0.1 N , H_2SO_4)

↓

ไตเตรทด้วยด่างมาตรฐาน (0.1 N , $NaOH$)

*** ทำ Blank เช่นเดียวกันแต่ไม่มีตัวอย่าง

การคำนวณหาค่า N และ % Protein

$$\% N = \frac{(V2-V1)\ N \times 1.4}{W}$$

N = ความเข้มข้นของ standard NaOH

V1 = ปริมาตร standard NaOH ที่ไตเตรท Blank

V2 = ปริมาตร standard NaOH ที่ไตเตรทตัวอย่าง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

$$\% \text{ Protein} = \% N \times \text{Empirical factor}$$

สารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ

เช่น amine , amide , amino acid , alkaloids , ammonium salts , nitrogenous glucosides and fats

1) เอมีน (amine) เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นพิษ เช่น Histamine เกิดจากกรดอะมิโน histidine ถูกกำจัดกลุ่มคาร์บอนซิลออก (decarboxylation) เนื่องจากการทำของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ถ้ามีมากสัตว์ช็อค

พืชหมักที่มี clostridium; decarboxylation

Arginine → Putrescine

Histidine → Histamine

Lysine → Cadavarine

หัวบีทมี choline; oxidize → betaine กลิ่นคาวปลา

2) เอไมด์ (amide) เช่น

- Asparagine → Aspatic acid
- Glutamine → Glutamic acid

- มีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาการย้ายกลุ่มอะมิโน
- เอไมด์เป็นผลิตผลขั้นสุดท้ายที่สำคัญของการแคแทบอไลซ์ไนโตรเจน (nitrogen catabolism)

* สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขับออกในรูปยูเรีย
* สัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลานขับออกในรูปกรดยูริค

3) ไนเตรท (nitrate, NO_3) และไนไตร (nitrite , NO_2)

ดิน = ปุ๋ยไนโตรเจน $\rightarrow NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO_3 \rightarrow$ ต้นพืช

ต้นพืช = $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow$ amino acid $\rightarrow$ protein

จุลินทรีย์ = $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow$ ดูดซึมเข้าเลือด

$NO_2 \equiv$ hemoglobin $\rightarrow$ methemoglobin

4) แอลคาลอยด์ (alkaloids)

พบเฉพาะในพืช ส่วนใหญ่เป็นพิษ เช่น **nicotine** ในยาสูบ

morphine ในยางของผลฝิ่น

solanine ในหัวมันฝรั่งดิบและต้นอ่อนที่งอกจากหัวมัน

4) LIPIDS (ไขมันและสารที่คล้ายไขมัน)

ประกอบด้วยธาตุ C , H และ O แต่ O < C, H

มากนอกจากนี้มี P และ N

คุณสมบัติของลิพิด

ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายที่มีประจุหรือขั้ว (polar solvent) หรือสารละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น benzene , ether , chloroform , methanol เป็นต้น

Lipid → Fat (Triacylglycerol)

ไขมันให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.5 เท่า

หน้าที่ของลิพิด

- **lipid** ให้พลังงาน > **carbohydrate**
- **insulator**
- ช่วยถ่ายทอดสัญญาณไฟฟ้าในประสาท
- ช่วยดูดซึมและเป็นแหล่งเก็บวิตามิน **A , D , E , K**
- **essential fatty acid : EFA**
- **lipoprotein**
- ช่วยในการขนส่งไขมันในเลือด
- ป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายในร่างกาย

สัตว์โต ต้องการไขมันเพื่อให้ได้ **vit. A,D,E and K**

การแบ่งประเภทของลิพิด

Lipids

Simple

- Fat
- Wax

compounds

- Phospholipid
- Glycolipid
- Lipoprotein
- Sulfolipids

Derived

- Fatty acids
- Mono & Diglycerides
- Glycerol
- Others

Miscellaneous

- Carotenoids
- Terpenes
- Others

กรดไขมัน; Fatty acid (R-COOH)

1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid);
ไม่มีพันธะคู่ C atom ต่ำกว่า 10 เป็นของเหลว
C atom สูงกว่า 10 เป็นของแข็ง

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)
มีพันธะคู่ จุดหลอมเหลวต่ำ เป็นของเหลว

กรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์ (EFA)

- Linoleic
- Linolenic
- Arachidonic

โรคผิวหนัง โตช้า ตาย
น้ำมันข้าวโพด ถั่วเหลือง

ถ้าได้รับ EFA มากเกิน; vit. E สูง กล้ามเนื้อฝ่อลีบ
(muscular dystrophy) ไขสันหลังเหลวในหมู

กรดไขมันอิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (C^0)
Butyric (butanoic)	C_3H_7COOH	-7.9
Caproic (hexanoic)	$C_5H_{11}COOH$	3.2
Caprylic (Octanoic)	$C_7H_{15}COOH$	16.3
Capric (decanoic)	$C_9H_{19}COOH$	31.2
Lauric (dodecanoic)	$C_{11}H_{23}COOH$	43.9
Myristic (tetradecanoic)	$C_{13}H_{27}COOH$	54.1
Plamitic (hexadecanoic)	$C_{15}H_{31}COOH$	62.7
Stearic (octadecanoic)	$C_{17}H_{35}COOH$	69.6
Arachidic (eicosanoic)	$C_{19}H_{39}COOH$	76.3
Ligoceric (tetracosanoic)	$C_{23}H_{47}COOH$	86

กรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันไม่อิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (C^0)
Palmetoleic (hexadecanoic)	C_3H_7COOH	0
Oleic (octadecanoic)	C_3H_7COOH	13
Linoleic (octadecadienoic)	C_3H_7COOH	-5
Linolenic (octadecadienoic)	C_3H_7COOH	-14.5
Arachidonic (eicosatetraenoic)	C_3H_7COOH	-49.5
Clupanodoic (docosapentaenoic)	C_3H_7COOH	liquid

1) Simple lipids → fatty acid + alcohol ด้วย ester bond เรียกว่า "esterification"

1.1) ไขมัน (Fats) หรือน้ำมัน (oil) หรือ Triglyceride หรือ Triacylglycerol

Glycerol + 3 fatty acid

↓

Triacylglycerol

องค์ประกอบของไขมัน

มี Glycerol เหมือนกันแต่ต่างกันที่ fatty acid

GC = Gas chromatography

HPLC = High Performance Liquid Chromatgraphy

คุณสมบัติบางประการของไขมัน

1. Hydrolysis

Fat $\xrightarrow{\text{lipase}}$ glycerol + Fatty acid “lipolysis”

Fat $\xrightarrow{\text{ด่าง KOH}}$ glycerol + alkali salt (สบู่ , soap)

“saponification”

2. Hydrogenation (การเติมไฮโดรเจน)

Palmitoleic $\longrightarrow$ palmitic

3. Oxidation (การถูกออกซิไดส์)

- hydroperoxide
- free radical
- keton , aldehyde , hydrocarbon

4) Rancidity (การเหม็นหืน)

Antioxidants เช่น phenol , hydroquinone , butyrated hydroxyanisole ; BHA , ethoxyquin , เกลือแกลเลท (gallates) รวมทั้ง Vitamine C และ E

5) Iodine Number คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึมไว้ด้วยไขมัน 100 กรัม

6) Sponification number คือ จำนวนโปแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งใช้ sponification ไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม

1.2 ขี้ผึ้ง (Wax) = fatty acid กับ alcohol ที่มีกลุ่มไฮดรอกซิล (OH-group) เพียงหมู่เดียวและมีโมเลกุลใหญ่

2. Compound Lipid

2.1 Phospholipid or phosphatid or phosholipin

Fatty acid + alcohol + phosphoric acid

Alcohol ⟶ glyceral or sphingosine

1) glycerophopholipid or phosphoglyceride or phosphatide

1.1) phosphatidic acid

1.2) phosphatidycholine or lecithin มี choline

1. 3) cephalins มี amino-ethyl alcohol

2) sphingophospholipid

เช่น sphingomyelins ประกอบด้วย

sphingosine + fatty acid + phosphoric acid + choline

2.2 Glycolipid

fatty acid + alcohol + carbohydrate

1) monogalactosy diacylglycerol = glycerol + fatty acid + galactose

2) galactocerebroside = sphingosine + fatty acid + galactose

3. Derived Lipid (อนุพันธุ์ของลิพิด)

เช่น fatty acid , mono & diglyceride , glycerol และ steroid เช่น sex hormone , adrenal hormone , กรดน้ำดี และ sterol (cholesterol)

3.1 ฮอร์โมนประเภท steroid (steroid hormone)

เช่น - glucocorticoid

- androgen , estrogen

3.2 กรดน้ำดี = metabolize cholesterol

3.3 สารประเภท sterol พบในพืช (phytosterol) สัตว์ (zoosterol) และจุลินทรีย์ (mycosterol)

เช่น cholesterol

*** 7 – dehydrocholesterol = 7 – dehy + UVL → VitamineD3**

*** ergosterol = ergosterol + UVL → Vitamine D2**

4. Miscellaneous Lipid

4.1 Terpene เช่น chlorophyll ,carotenoid pigment ฮอร์โมนพืช และ Vitamine A , E และ K

4.2 Icosanoid เช่น prostanoic acid เป็นสารต้นต่อของ prostaglandin; PG เช่น PGF_2

การสะสมลิพิดในร่างกายสัตว์ (Lipid deposition)

1. Variable element เช่น Fat
2. Constant element เช่น phospholipids และ sterol

การวิเคราะห์หาไขมันและสารที่คล้ายไขมัน

- ใช้ anhydrous ethyl ether เป็นตัวสกัด
- สารสกัดที่ได้ คือ "Ether extract" true fat และ fat-like substance

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างอาหาร < 5 กรัม ≈ 1-2 กรัม

↓

นำไปอบใน oven เพื่อไล่น้ำออกไป

↓

สกัดด้วย ether ใน Soxhlet extractor นาน 16 ชม.

↓

ทำการระเหย ether ออกจากตัวอย่าง

↓

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือก็จะได้น้ำหนักของลิพิด

❁ คำนวณหา % **Lipid** จากสูตร

$$\% \text{ Lipid} = \frac{\text{น้ำหนักของ Lipid}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหาร}} \times 100$$

5) แร่ธาตุ (Mineral or Ash)

Fe เป็นสารประกอบของ hemoglobin

Mg เป็นสารประกอบของ chlorophyll

ประเภทของแร่ธาตุ

1. Major or Macro Element ได้แก่ Ca , P , Na ,K , Cl , Mg และ S
2. Miner Element ได้แก่ Fe , I , Cu , Co Mn , Zn และ Mo
3. Trace Element ได้แก่ F และ Se

หน้าที่โดยทั่วไปของแร่ธาตุ

- Soluble salts
- Metabolic cycles

Steer → Ca = 49% , P = 27%

แร่ธาตุอื่น ๆ = 24%

1. แคลเซียมและฟอสฟอรัส

<u>หน้าที่ของ Ca และ P</u>

- Thrombin จาก Prothrombin ทำให้เลือดเป็นลิ่ม (clot)
- Activate enzyme
- Amino acid & fat metabolism

ความสัมพันธ์ระหว่าง Ca , P และ Vitamine D

อาหารสุกร ควรมี Ca : P = 1.5 : 1 - 2.5 : 1

อาหารสัตว์ปีก ควรมี Ca : P = 1 : 1 - 2 : 1

อาหารลูกโค ควรมี Ca : P = 1 : 1 - 7 : 1

ส่วนประกอบของกระดูก

สัตว์โตเต็มที่กระดูกประกอบด้วย น้ำ 45% แร่ธาตุ 25% โปรตีน 20% และไขมัน 10%

Ca และ P ในเลือด

-Diffusible; phosphate และ bicarbonate

-Nondiffusible; P = 35-45 mg/100 cc.

Ca และ P ในเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม

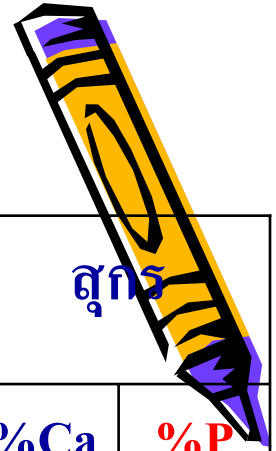
Ca = 1% , P = 0.15 - 0.2%

ความต้องการ Ca และ P ของสัตว์

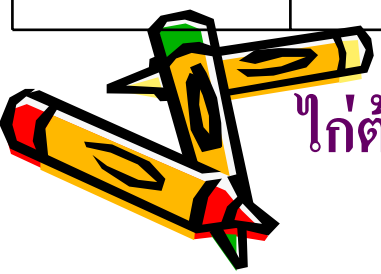
โทษและอาการขาด Ca และ P

- โรคกระดูกอ่อน (Rickets)
- โรคกระดูกเปราะ (Osteomalacia)

ความต้องการ Ca และ P ของสัตว์



	โคเนื้อ		โคนม		ม้า		แกะ		สุกร	
	%Ca	%P	%Ca	%P	%Ca	%P	%Ca	%P	%Ca	%P
Growing and fattening	0.54-0.20	0.39-0.20	0.31	0.23	0.74-0.26	0.46-0.22	0.23-0.18	0.21-0.16	0.65-0.50	0.54-0.40
ระยะอุ้มท้อง	0.15	0.15	0.31	0.23	0.34	0.26	0.23	0.18	0.75	0.75
ระยะให้นม	0.26	0.21	0.39-0.48	0.30-0.35	0.43	0.35	0.28	0.21	0.75	0.50



ไก่ต้องการ Ca = 1-3%, P = 0.5-0.75% ในอาหาร

ตารางแสดงปริมาณ Ca และ P ในอาหาร

วัตถุดิบอาหาร	%Ca	%P
กระดูกป่น	23-26	8-18
ปลาป่น	2-14	2-7
กากงา	1.99	1.33
ถั่วลิสงแห้ง	1.16	0.22
นมผง	0.09	0.72
รำข้าว	0.07	1.59
Dicalcium phosphate	20-30	18-22

2. โซเดียม โปแทสเซียม และคลอรีน

- Na
- K
- Cl

เกลือ เป็นสารประกอบที่ให้ Na, K และ Ca

- หน้าที่
- อาการขาดเกลือ
- แหล่งที่มาของเกลือ
- การเสริมเกลือให้แก่สัตว์ Nacl , Nacl + S , Nacl + Critical trace mineral

ความต้องการเกลือของสัตว์ → Nacl ≈ 0.25-0.5% ของอาหารทั้งหมด หรือ 0.005-0.01% ของนน.ตัว/วัน

3. แมกนีเซียม (Magnesium , Mg)

ซีรั่มของเลือดมี Mg ≈ 2-5 ม.ก/เลือด 100 ซีซี

-หน้าที่

-การขาดแร่ธาตุ Mg (Vasodilation) , (tetany) โรค Grass tetany or Grass stagger

-การแก้ไข

ให้ MgO 2 ส่วน เกลือ 1 ส่วน หรือ ใช้ 30% MgO + 32% defluorinated phosphate + 30% trace mineralized salt + 8% cotton seed meal

-ความต้องการ

ต้องการ 0.06% ของ Dry ration ทั้งนี้ต้องมี Ca , P

-แหล่งของ Mg

4. ซัลเฟอร์ (Sulfur , S)

ร่างกายมี S ≈ 0.15% ขนสัตว์มี ≈ 4%

พบในรูปสารอินทรีย์ โดยเป็นสปก.ของกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน เช่น Cystine , Methionine thiamine และ biotin

เป็นส่วนประกอบของวิตามิน thaiamine,biotin

สารอนินทรีย์ เป็นสปก.ของกระดูกอ่อน เลือด และน้ำดี

- การขาดธาตุ S
- ความต้องการ S

โคและแกะ ต้องการ 0.1% ration dry matter

- แหล่งของ S

ธัญญพืชต่าง ๆ , กำมะถันผง

5. เหล็ก (Iron, Fe)

ร่างกายมีเหล็ก 0.004%, hemoglobin

Iron-porphyrin หรือ heme

องค์ประกอบของ Cytochrone C, Peroxidase, Catalase

หน้าที่ของ hemoglobin,Hb

O_2 → เนื้อเยื่อ, Co_2 → ปอด

การสร้างHb; สร้างจากโพรงกระดูก (bone marrow) "hemopoiesis"

Hematin; สารประกอบของเหล็ก bilirubin และสารให้สีอื่นๆ

อาการขาดFe

โรคโลหิตจาง (Anemia)

การให้ธาตุ Fe

1. ให้ Ferrous sulfate หรือสารละลาธาตุ Fe ทางปาก 2-3 หยด/วัน ระหว่างสัปดาห์แรก

2. ฉีด Iron dextran จำนวน 100 มก. เมื่ออายุ 3 วัน หรือ 50 มก. เมื่ออายุ 21 วัน

การดูดซึมธาตุ Fe

ความต้องการธาตุ Fe

สัตว์ต้องการ 80 มก./กก. ของอาหาร

ลูกสุกรน้ำหนัก 3-50 ปอนด์ ต้องการ 100-160 ppmของอาหารข้น

ลูกไก่อายุ 2-3 wks ต้องการ 40 ppmของอาหารข้น

แหล่งของธาตุ Fe

6. ไอโอดีน (Iodine,I)

สัตว์โตเต็มที่มี I = 0.00004%

65% ของ I เป็นสปก.ของThyroxine

การขาดธาตุ I

โรคคอหอยพอก (goifer),

Thyroid gland ผลิต "Thyroxine"

หน้าที่ของThyroxine

Energy Metabolism, oxidation

ต่อมไร้ท่อ (Endocrin glands)

Hyprophysis และ gonads

โรคคอหอยพอก แบ่งเป็น 2 ประเภท

1. Simple or endemic goiter
2. Exophthalmic goiter มีสาเหตุจาก hyperactive gland

ความต้องการ I

สัตว์ ต้องการ 0.2 มก./ กก. ของdry diet

โค " 1-2 ไมโครกรัม/นน. 1 กก./วัน

สุกร " 4.4 "

ไก่เริ่มเลี้ยงและไก่พันธุ์ ต้องการ 0.5 มก./อาหาร 1 ปอนด์

แหล่งของ I

อาหารทะเล เช่น ปลาป่น เกลือป่น

7. ทองแดง (Copper, Cu)

พบอยู่ใน **hemocuprien**

หน้าที่ของ Cu

Tyrosinase, Catalase, Keratin

การขาด Cu

โรคอุจจาระร่วง (Diarrhea)

โรค **Enzootic ataxia or awayback**

โรค**falling disease**

ความต้องการ Cu

โคและแกะ ต้องการ **4-5** มก./ กก. ของอาหาร

สุกร " **6** "

ม้า " **5-8** "

ลูกไก่อายุ **1-2 wks** ต้องการ **3.2 ppm** ของอาหาร

Copper sulfate ($CuSo_4$) = 0.25-0.5%

แหล่งของ Cu

เมล็ดพืชและผลิตผลพลอยได้จากเมล็ดพืช เช่น รำ กากถั่ว

8. โคบอลท์ (Cobalt, Co)

หน้าที่ของ Co

การขาดธาตุ Co

โรค Bush sickness หรือ Coast disease หรือ Salt disease หรือ Pining Nutritional Anemia

ความต้องการ Co

โคและแกะ ต้องการ 0.05-0.1 มก./อาหาร1 กก.

Cobalt chloride, Cobalt sulfate, Cobalt carbonate (Co 12.5 g/100 kg)

แหล่งของ Co ; ปลาป่น

9. แมงกานีส (Manganise, Mn)

หน้าที่ของ Mn

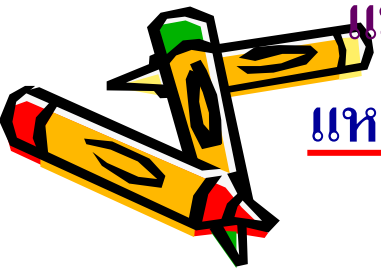
การขาด Mn; การเป็นสัด (Estrus)

โรคเอ็นเคลื่อน (Slipped tendon or perosis)

ความต้องการ Mn

โคเนื้อและแกะ	ต้องการ	1-28	มก./กก. Diet
โคนม	"	10-20	"
สุกร	"	20	"
ลูกไก่	"	25	มก./อาหาร 1 ปอนด์
แม่ไก่ใช้ทำพันธุ์	"	0.5	"

แหล่งของ Mn



10. สังกะสี (Zinc, Zn)

พบมากใน **epidermal tissues**

หน้าที่ของ Zn

Parakeratosis

การขาด Zn

แก้ไข; $ZnCO_3$, $ZnSO_4$ = 50 มก./ อาหารแห้ง 1 กก.

ความต้องการZn

โคเนื้อและแกะ ต้องการ 20-30 มก./อาหารแห้ง 1 กก.

สุกร " 50 "

ไก่ " 50 ppmของอาหารทั้งหมด

แหล่งของ Zn; นม ผัก พืชอาหารสัตว์

11. โมลิบดินัม (Molydenum, Mo)

หน้าที่ของ **Mo**

เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย **Xanthin oxidase**

Purine metabolism

ความต้องการ **Mo**

สัตว์ต้องการ 0.01 มก./กก.อาหารแห้ง // **5-10 mg**เป็นพิษ

12. ฟลูออรีน (Fluorine, F)

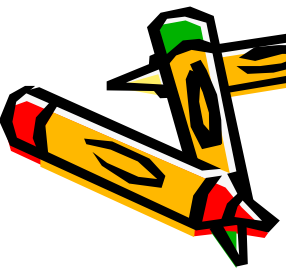
มีอยู่ในกระดูกและฟัน 0.04 - 0.66 % // มีมากเป็นพิษ

ความต้องการ **F**

โค แพะ แกะ และสุกร ต้องการ **0.1% dry ration**

ลูกไก่ " **0.035%** "

ไก่ไข่ " **0.053%** "



13. ซิลิเนียม (Selenium,Se)

หน้าที่

โรคเนื้อเยื่ออักเสบในตับ (Liver necrosis)

โรคกล้ามเนื้อพิการ (Muscular dyptophy)

การขาด Se

การเป็นพิษของ Se

โรค Alkali stagger หรือ blind stagger

ความต้องการ Se

สัตว์ต้องการ Se 0.1 มก.หรือน้อยกว่า/อาหารแห้ง 1 กก.

ได้รับมากเกิน 5 มก. จะเป็นพิษต่อสัตว์

หลักการให้แร่ธาตุแก่สัตว์

Trace mineralized salt

Free choice มี 2 วิธี

1. Cafeteria style

2. Single mixtures

การเลี้ยงสัตว์ในทุ่งหญ้าหรือหญ้าแห้งควรผสม

- เกลือ 1 ส่วน
- Difluorinated phosphate or steamed Bone meal 1-3 ส่วน

การวิเคราะห์หาแร่ธาตุ

1. ชั่งตัวอย่างอาหารใส่ใน Crucible
2. เผาใน furnace(เตาเผา 600 °C นาน 2 ชม.)
3. ชั่งน้ำหนักเถ้าซึ่งเป็นน้ำหนักแร่ธาตุ
4. คำนวณหา % แร่ธาตุ

$$\% \text{ แร่ธาตุ} = \frac{\text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

6) วิตามิน (Vitamins)

ค้นพบ Vit. B จากข้าว ป้องกันโรคเหน็บชา

Vit. A จากนม ป้องกันโรค nightblindness

Vit. C จากผลไม้ ป้องกันโรค scurvy

ประเภทของวิตามิน

1. Fat soluble vitamin ; Vit. A , D , E และ K
2. Water soluble vitamin ; Vit. B รวม และ Vit.C

การเก็บสำรองวิตามินไว้ในร่างกาย

Vit. ที่ละลายในไขมัน เช่น Vit. A/แคโรทีน เก็บไว้ที่ตับและเนื้อเยื่อ

การดูดซึม

1. Lymphatic system
2. Portal system

- สีของวิตามิน
- การสังเคราะห์วิตามินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ความทนทานของวิตามิน

- ความร้อน : มาก Choline (ละลายน้ำดี) ; น้อย Thiamine
- Oxidation : มาก Folic acid ; น้อย Thiamine
- แร่ธาตุ : มาก Pantothenic acid ; น้อย Thiamine
- แสงสว่าง : มาก Pantothenic acid ; น้อย Folic acid

ประเภทของวิตามิน

1. Vitamin A
2. Vitamin D
3. Vitamin E
4. Vitamin K
5. Vitamin Thaimine (B1)
6. Riboflavin (B2)
7. Niacin
8. Pantothenic acid
9. Pyridoxine (B6)
10. Biotin
11. Folic acid
12. Cholin

13 Inositol
14 Paraaminobenzoic acid
15 Cyanobalamin (B12)
16 Ascorbic acid (Vit. C)

บทที่ 6

ความสำคัญของโภชนะในอาหารต่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์เลี้ยง

1. การดำรงชีพและความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ

การดำรงชีพ คือ .....

Fasting catabolism คือ การเผาพลาญเนื้อเยื่อของร่างกายในยามที่สัตว์อดอาหารเพื่อให้ได้โภชนะมาใช้สำหรับกระบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อชีวิต เช่น การหายใจ การหมุนเวียนโลหิต การทำงานของกล้ามเนื้อ การสร้างเอนไซม์ ฮอร์โมน ฯลฯ

Respiration calorimeter

Indirect calorimeter

Fasting catabolism ต่ำที่สุด = Basal metabolism (BM)

= Basal metabolic rate (BMR)

หน่วยที่ใช้ Metabolic body size ของสัตว์ (Wkg0.75)

ปัจจัยที่มีผลต่อ BM

1) อายุสัตว์
2) ชนิดและพันธุ์สัตว์
3) ฮอร์โมนบางชนิด
4) การทำงานของกล้ามเนื้อ
5) ระดับอาหาร
6) การกินยาหรือสารบางชนิด
7) โรคภัยไข้เจ็บ
8) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ปริมาณโภชนะที่ต้องการ (Nutrient requirement) คือ...

ความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ คือ....

1.1 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ ปริมาณพลังงานที่สัตว์ต้องการเพื่อ

1) ให้กระบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อชีวิตดำเนินไปตามปกติ
2) เพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่
3) เพื่อการเคลื่อนไหวของร่างกายเท่าที่จำเป็น
4) เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

1) การออกกำลังกาย
2) อากาศ
3) ความเครียด
4) อารมณ์
5) ความแปรปรวนรายตัว
6) ระดับการให้ผลผลิต
7) การให้นมและการอุ้มท้อง

ตารางแสดง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีพเมื่อคิดเป็นพลังงานทั้งหมด

	ความต้องการพลังงานสุทธิ (Kcal/day)		พลังงานดำรงชีพเป็น % ของพลังงาน
	เพื่อการดำรงชีพ	การให้ผลผลิต	
วัวนม 500 กก.			
ให้นม 20 กก.	8,000	18,400	30
วัวขุนหนัก 300 กก.			
เติบโต 0.75 กก./วัน	7,000	3,700	65
หมูหนัก 50 กก.			
เติบโต 0.75 กก./วัน	1,730	2,320	43

ไก่หนัก 1 กก.			
เติบโต 27 กรัม/วัน	120	60	66
	(Mcal/year)		
วัวนม 500 กก. ให้ลูก			
หนัก 35 กก. ให้นม 4,000 กก.	2,920	3,060	49
หมูหนัก 500 กก. ให้ลูก 16 ตัว			
มีนน.แรกคลอด 1.5 กก./ตัว			
ให้นม 750 กก.	1,700	1,100	61
ไก่หนัก 2 กก. ให้ไข่ 220 ฟอง	45	20	69

1.2 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ

Metabolic faecal nitrogen (MFN) คือ

Endogenous urinary nitrogen (EUN) คือ

แปรฝันตาม Metabolic body weight ($W^{0.75}$)

∴ ปริมาณ N หรือโปรตีนที่ต้องการสำหรับการดำรงชีพ คือ ส่วนของ MFN และ EUN รวมทั้ง N อีกเล็กน้อยที่สูญเสียไปในรูปขี้รังแค, ผม และเหงื่อ

การหาปริมาณโปรตีนสำหรับการดำรงชีพ

$$R = 6.25\,[100/B\,(M \times D + (E \times W^{e}) + (S)]$$

R = ปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ที่สัตว์ต้องการ (กรัม/วัน)

B = Biological value

M = กรัมของ MFN / กก.วัตถุแห้งที่กิน

E = กรัมของ EUN / kg W^{e}/วัน

W^{e} = metabolic body weight ของสัตว์

S = ปริมาณกรัมของ N ที่สูญเสียไปในรูปขน , หนังที่หลุดร่วง/วัน

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> ลูกวัวนน. 100 กก. กินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้ง 2.1 กก./วัน ขับ EUW 0.12 ก./ $kgW^{0.75}$/วัน ขับ MFN 4 ก./กก.วัตถุแห้ง/วัน สูญเสีย N ในรูปขน หนังที่หลุดร่วง 0.02 $W^{0.75}$/วัน ถ้าโปรตีนในอาหารที่กินมี BV = 129 จงหาโปรตีนย่อยได้ที่สัตว์ต้องการ

$$R = 6.25\,[100/B\,(M \times D + (E \times W^{e}) + (S)]$$

$$R = 6.25\,[100/129\,(4x2.1)+(0.12x100^{0.75}) +(0.02x100^{0.75})$$

$$= 62$$

1.3 ความต้องการแร่ธาตุเพื่อการดำรงชีพ

1.4 ความต้องการวิตามิน

1.5 ความต้องการน้ำ

1.6 ความต้องการกรดไขมันบางชนิด

Linoleic , linolenic และ arachidonic = EFA

2. การเจริญเติบโตและความต้องการอาหารเพื่อการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโต หมายถึง

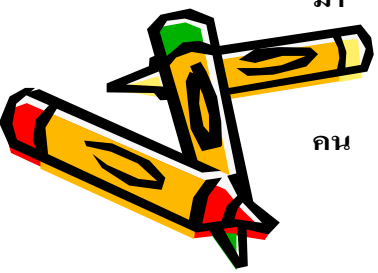
ลูกวัว , แกะ และม้า แข็งแรงกว่าลูกหมูและลูกคน

สัตว์อายุน้อย → กล้ามเนื้อ , สัตว์อายุมาก → ไขมัน

∴ ความต้องการโภชนะในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตจะแตกต่างกัน โดยปริมาณโภชนะจะมีค่าสูงสุดในสัตว์อ่อนและจะลดลงเมื่อสัตว์โตขึ้นเพราะสัตว์อ่อนมี ประสิทธิภาพ การใช้อาหารดีกว่าสัตว์โต

$$\text{ปภส. การใช้อาหาร} = \frac{\text{จน.อาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{นน.ที่เพิ่มตลอดการศึกษา}}$$

ชนิดสัตว์	นน. (กก.)	น้ำ (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)
วัว					
แรกเกิด	31.8	74.4	2.5	19.0	4.1
หย่านม	204.5	69.0	9.0	18.0	4.0
ตอน (รุ่น)	205.4	60.3	18.0	17.2	4.5
ขุน (อ้วน)	681.8	40.0	41.0	16.0	3.0
แกะ					
แรกเกิด	4.1	72.8	2.0	20.2	5.0
รุ่น	29.5	63.0	17.0	15.7	3.4
อ้วนมาก	56.8	39.0	44.0	14.4	2.6
หมู					
แรกเกิด	1.4	74.0	2.0	19.0	5.0
หย่านม	13.6	70.0	9.0	17.5	3.5
รุ่น	45.4	66.8	15.2	14.9	3.1
ระยะส่งตลาด	100.0	50.0	34.4	13.0	2.6
อ้วนมาก	136.4	42.5	43.5	12.0	2.0
ไก่					
แรกเกิด	41 (กรัม)	78.8	4.0	15.3	1.9
กระทง	1.6	65.7	12.2	18.4	3.7
แม่ไก่ไข่	2.0	59.6	20.0	17.0	3.4
กระต่าย					
ระยะส่งตลาด	3.6	69.0	8.2	18.0	4.8
ม้า					
แรกเกิด	50.0	73.0	2.0	20.0	5.0
โตเต็มที่	477.3	62.0	17.0	17.0	4.0
คน					
แรกเกิด	3.6	76.0	9.2	12.0	2.8
โตเต็มที่	68.2	59.0	18.0	18.0	5.0



การวัดการเจริญเติบโต

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย} = \frac{W2 - W1}{t2 - t1}$$

โดย W1 = นน.เริ่มต้นของสัตว์เลี้ยง

W2 = นน.สุดท้ายของสัตว์เลี้ยง

t1 = เวลาเริ่ม

t2 = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

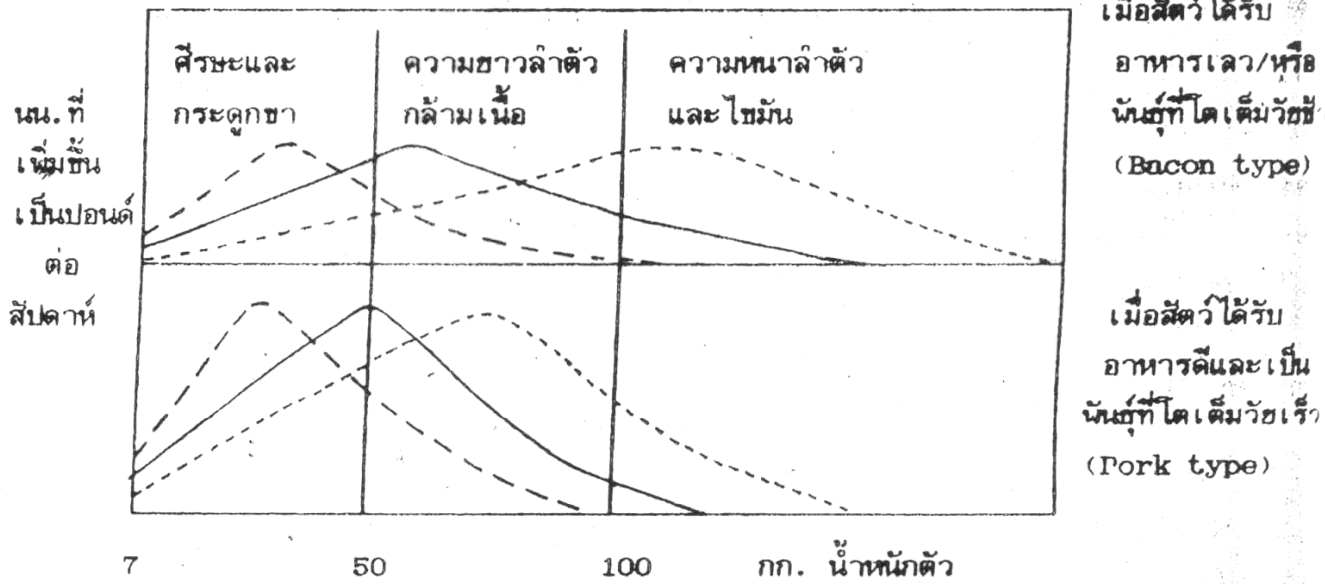
$$\text{\% อัตราการเจริญเติบโต} = \frac{W2 - W1}{W2} \times 100$$

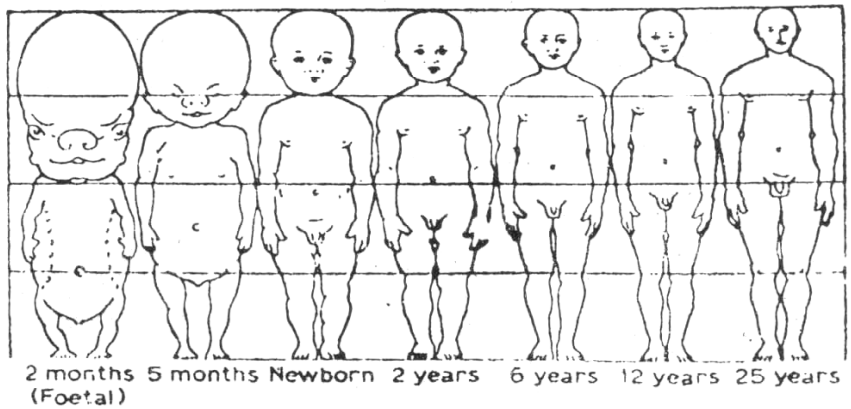
ฮอร์โมนที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

1) Growth hormone จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

2) Thyroxine และ Diiodotyrosine จาก Thyroid

Thyroprotein , Thiouracil





ภาพที่ 8.4 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของร่างกายในคนเมื่ออายุเพิ่มขึ้น
(จาก Hammond et al 1984)

การชะงักการเจริญเติบโต.....

ปริมาณโภชนะต่างที่สัตว์ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

2.1 ปริมาณพลังงานที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต คือ

2.2 ปริมาณโปรตีนที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

∴ โปรตีนคุณภาพดีมีปริมาณและสัดส่วน amino acid ที่จำเป็นเพียงพอกับความต้องการของสัตว์

การหาปริมาณโปรตีนที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

$$R = 6.25\ [100/B\ (M \times D + E \times W^{e} + G)]$$

โดย G = ปริมาณ N ที่กักเก็บไว้เพื่อการเจิญเติบโต (ก. N / กก. นน. เพิ่ม)

ตัวอย่าง 2. วัวนน.ตัว 350 กก. มีนน.ตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.5 กก. และสะสมโปรตีน 150 ก. (24 ก. N) ต่อกก.นน.เพิ่ม กินอาหารแห้งวันละ 7 กก. ขับ EUN วันละ 0.12 ก./กก. $W^{0.75}$ และ MFN 5 ก./กก.อาหารแห้ง ถ้าโปรตีนในอาหารที่กินมี BV = 70 ความต้องการโปรตีนย่อยได้ (DCP) เพื่อดำรงชีพและเพิ่มนน.ตัว 0.5 กก./วัน จงหาปริมาณโปรตีนที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

$$R = 6.25 [100/70 (5 \times 7)+(0.12 \times 350^{0.75})+(24 \times 0.5)]$$

$$= 496$$

การวัดความต้องการ EAA ในสุกรและสัตว์ปีก

Interaction เช่น Gly ↑ ถ้า Met , Arg และ Vit.B รวม ↓

Met ~ Cys , Protein ↑ , Met ↑ , Lys-

2.3. ปริมาณแร่ธาตุที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

เช่น ลูกหมู 30 กก. มี Ca ในร่างกาย ≈ 230 ก. สูญเสีย 0.9 ก./วัน

ต้องการชดเชย 0.4% ของนน. Ca ในร่างกาย/วัน

2.4 ปริมาณวิตามิน ความต้องการวิตามินขึ้นอยู่กับ

1) ปริมาณอาหารที่กิน

2) ปริมาณวิตามินที่สังเคราะห์ได้ในอาหารหรือร่างกาย

3) Availability ของวิตามิน

2.5 ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต

3. การเพิ่มไขมันของสัตว์ (Fattening)

การสะสมไขมันมี 2 ประเภท

1) สะสมไว้ตามช่องท้อง ระหว่างกล้ามเนื้อและใต้ผิวหนัง

2) ไขมันที่แทรกอยู่ตามเนื้อสัตว์เรียกว่า “marbling”

ความต้องการอาหารเพื่อขุนสัตว์

3.1) ต้องการพลังงานเป็น Net energy จาก แป้ง น้ำตาล ไขมัน

3.2) ต้องการโปรตีนเพิ่มเกินกว่าที่ต้องการเพื่อการเจริญเติบโตและดำรงชีพ

3.3) ต้องการวิตามินที่เกี่ยวกับ Energy metabolism

3.4) แร่ธาตุต้องมีเพียงพอ

เปรียบเทียบกับการขุนสัตว์กับการเจริญเติบโต

นน.เพิ่ม มาจาก การเจริญเติบโต การขุนสัตว์ และนน.อาหารและน้ำที่ได้รับ

* นน.เพิ่มจากการเจริญเติบโตผลิตได้ราคาถูกกว่าการขุนสัตว์

4. การสืบพันธุ์และความต้องการอาหารเพื่อการสืบพันธุ์

การสืบพันธุ์ คือ

วงจรการสืบพันธุ์ แบ่งออกเป็น 3 ระยะ

1) ระยะผลิตไข่และสเปอร์ม → puberty

การเร่งอาหาร (flushing) → ตกไข่มากขึ้น (เพศเมีย)

เพศผู้ต้องการอาหารเพื่อให้มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง

โภชนะที่ต้องการมาก → พลังงาน โปรตีน วิตามิน A, E และแร่ธาตุ Ca, P และ Mn

2) ระยะอุ้มท้อง แบ่งเป็น

ระยะที่ 1 → สะสมโภชนะน้อย

ระยะที่ 2 → สะสมโภชนะปานกลาง

ระยะที่ 3 หรือระยะสุดท้าย → สะสมโภชนะไว้ใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และการผลิตนม

โภชนะที่ต้องการมาก

1) โปรตีน

2) แร่ธาตุ → Ca + P - การสร้างกระดูก , I , Fe , Cu และ Co

3) วิตามิน → Vit A. หรือแคโรทีน - ไม่ให้ลูกพิการ , คุณภาพนม

Vit D , E และอื่น ๆ - การเจริญของ embryo

สำหรับแม่สัตว์ → “pregnancy toxaemia” 90% “แม่สัตว์ที่อุ้มท้องต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของตัวอ่อนสูง 2.5 เท่าของสัตว์ที่ไม่อุ้มท้อง”

การพัฒนาของลูกสัตว์ในท้อง

ไข่ + อสุจิ → embryo → fetal → คลอด

3) ระยะให้นม

ความต้องการอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณและองค์ประกอบของนม

ส่วนประกอบของน้ำนม

1) น้ำ 87.25%

2) วัตถุแห้ง 12.77% ประกอบด้วยไขมัน 3.80% โปรตีน 3.50% Lactose 4.80% และแร่ธาตุ 0.65%

ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของนม

1. พันธุ์ → เจอร์ซี่คุณภาพสูงกว่าโฮลสไตน์
2. อายุ → มากคุณภาพนมเลวลง
3. ระยะการให้นม → ให้นมสูงสุด คุณภาพนมเลวที่สุด

การผลิตน้ำนม

ต่อมสร้างน้ำนม (Mammary gland)

ต่อมกลั่นน้ำนมเล็ก ๆ “Alviolus”

ตารางที่ องค์ประกอบเฉลี่ยของนมในสัตว์ชนิดต่าง ๆ และคน (จาก Maynard and Loosli 1969)

ชนิดสัตว์	น้ำ	ไขมัน	solids not fat	โปรตีน	แลคโตส	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส
วัว	87.2	3.7	8.7	3.5	4.9	0.71	0.121	0.095
แพะ	86.5	4.0	8.7	3.6	5.1	0.80	0.131	0.104
แกะ	80.1	8.2	11.9	5.8	4.8	0.92	0.250	0.166
หมู	80.4	8.3	11.6	5.4	5.0	0.85	0.252	0.151
ควาย	83.0	7.4	-	3.8	4.9	0.78	0.180	0.120
คน	87.5	4.4	-	1.0	7.0	0.21	0.035	0.013

ตารางที่ เปรียบเทียบองค์ประกอบของนมและปริมาณนมในวัวพันธุ์ต่าง ๆ (จาก Mc Donald 1973)

พันธุ์	ไขมัน	solids not fat	โปรตีน	แลคโตส	เถ้า	ปริมาณนม/Lactation
Friesian	3.40	8.59	3.28	4.46	0.75	4529
Shorthorn	3.56	8.71	3.32	4.51	0.76	3943
Ayrshire	3.72	8.78	3.38	4.57	0.74	4109
Guernsey	4.55	9.01	3.57	4.62	0.77	3464
Jersey	4.97	9.19	3.66	4.70	0.77	3293

ตารางที่ ผลของอายุที่มีต่อองค์ประกอบของน้ำนมในวัว (จาก Waite et al 1956 อ้างอิงโดย Mc Donald et al 1973)

Lactation	Fat	SNF	โปรตีน	แลคโตส
1	4.11	9.01	3.36	4.72
2	4.06	8.92	3.35	4.62
3	4.03	8.82	3.28	4.59
4	4.02	8.84	3.30	4.57
5	3.90	8.72	3.26	4.53
6	3.91	8.74	3.30	4.48
7	3.94	8.67	3.25	4.48
8	3.82	8.64	3.23	4.44
9	4.03	8.70	3.27	4.48
10	3.83	8.66	3.25	4.46
11	3.77	8.61	3.16	4.46

โภชนะที่ต้องการใช้เพื่อผลิตน้ำนม

1) พลังงาน : คำนวณจาก GE ของนมและปริมาณนมที่ผลิตแล้ว คำนวณประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในอาหารให้เป็นพลังงานในนม

2) โปรตีน : คำนวณหาโปรตีนที่ต้องการเพื่อการดำรงชีพและการผลิตนมแล้วเอาโปรตีนเพื่อการดำรงชีพลบออก

ใช้สูตร $R = 6.25 [100/B(M \times D + E \times W^{e} + N]$

N = ปริมาณ N ในนมที่ผลิตขึ้นต่อวัน

3) แร่ธาตุ : นมมี Ca = 1.19 กรัม P = 0.99 กรัม/กก. ในการสร้างนม 1 กก. ต้องการ Ca 2.2 ก., P 1.5 ก.

ไข้นม (milk fever) ← Vit D

Cu , Fe , NaCl และ Se

4) วิตามิน : Vit A หรือ β-carotene → นมมีสีครีม

Vit D, biotin

5. การผลิตไข่และความต้องการอาหารเพื่อการผลิตไข่

องค์ประกอบไข่ 1 ฟอง (รวมเปลือก)

น้ำ 56.6% โปรตีน 12.1% ไขมัน 10.5% คาร์โบไฮเดรท 0.9%

เถ้า 10.9% พลังงาน 90 kcal/ฟอง

ความต้องการโภชนะเพื่อผลิตไข่

5.1 พลังงาน : ดำรงชีพ + ผลิตไข่ = 270 kcal/วัน

5.2 โปรตีน : ผลิตไข่ต้องการ = 15%

5.3 แร่ธาตุ : ไข่ 1 ฟองมี Ca = 2 g. P = 0.2 กรัม F = 1.6 ม.ก , I , Mn และ Zn

5.4 วิตามิน : riboflavin , pantothanic acid , biotin และ folic acid เพิ่ม สูง Vit A และ D ไก่ใช้ D3 ดีกว่า D2 35 เท่า

6. การผลิตขนสัตว์ (Wool production)

องค์ประกอบขนสัตว์

1) Wool fiber คือ ..... มี 20-75% ปก. C, N, S, H และ O

2) Yolk or grease

2.1 Suint มี 15-50%

2.2 Wool fat or laolin มี 8-30% ปก. C , H และ O

โภชนะที่ต้องการสำหรับผลิตขนสัตว์

6.1 พลังงาน

6.2 โปรตีน → เป็นโปรตีนที่มี S

6.3 แร่ธาตุ → K

6.4 วิตามิน

7. การผลิตแรงงาน (work production)

ประเภทของแรงงาน

1) Involuntary เช่น การทำงานของหัวใจ

2) Voluntary เช่น การวิ่ง การเดิน การพักผ่อน

โภชนะที่ต้องการสำหรับการผลิตแรงงาน

7.1 พลังงาน

7.2 โปรตีน จำเป็นต่อการสร้างน้ำย่อยฮอร์โมน

7.2 แร่ธาตุ → Na , Cl , Fe , P

7.3 วิตามิน เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย

บทที่ 7

สรีระวิทยา การย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในร่างกายสัตว์

ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ; ปาก → คอหอย → หลอดคอ → กระเพาะ → ลำไส้เล็ก → ลำไส้ใหญ่ → ทวารหนัก

ต่อมหรืออวัยวะที่เกี่ยวข้อง ; ฟัน ลิ้น ต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน

กระเพาะสัตว์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. กระเพาะเดี่ยว (Simple or monogastric stomach)

   สัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร สุนัข สัตว์ปีก ม้า และกระต่าย

2. กระเพาะประกอบหรือกระเพาะรวม (Compound stomach)

   มีกระเพาะหลายถุง เช่น โค กระบือ แพะ และแกะ

1. ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

1.1 ปาก (Mouth)

1.2 คอหอย (Pharynx)

1.3 หลอดอาหาร (Esophagus)

1.4 กระเพาะพัก (Crop)

1.5 กระเพาะจริง (Proventriculus stomach)

glandular mucosa

gastric juices = กรดเกลือและ proteolytic enzyme เช่น pepsin ย่อยโปรตีน

1.6 กึ๋น (Gizzard or Ventriculus)

Pepsin และกรดเกลือจากกระเพาะจริงมาย่อย

1.7 ลำไส้เล็ก (Small intestine)

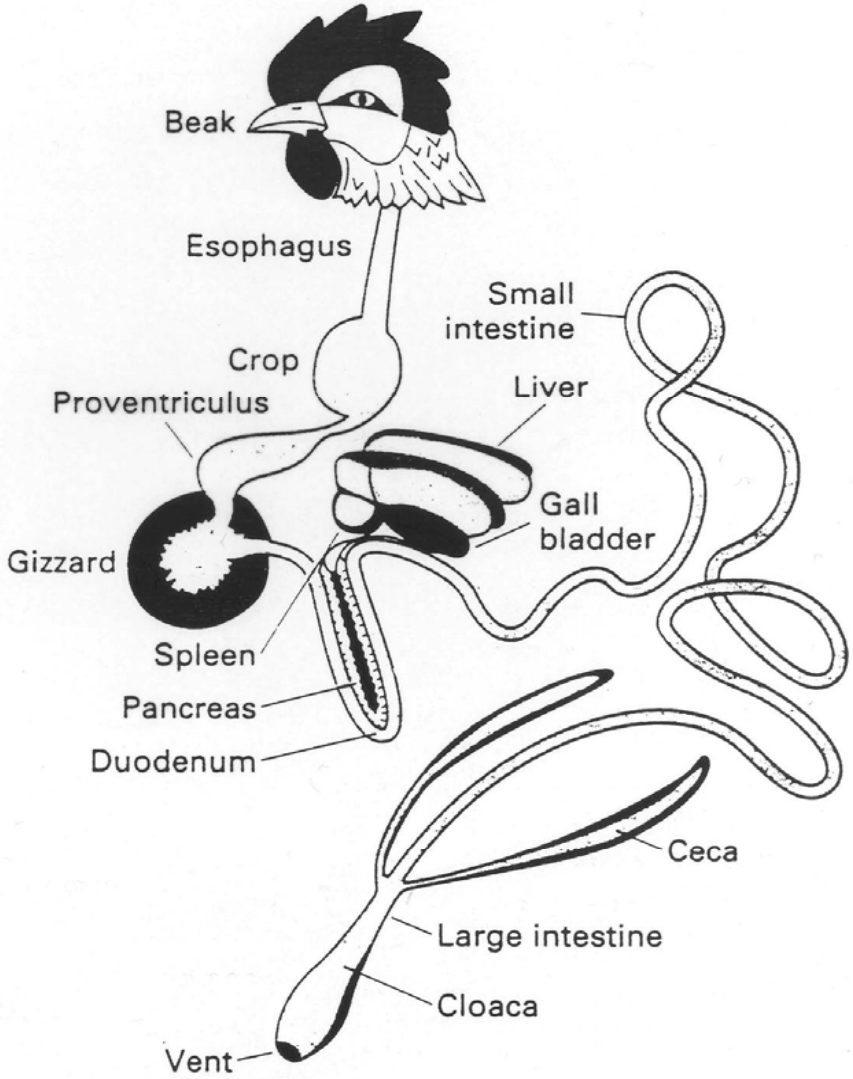
ตามผนังลำไส้เล็กมี vili และแบ่งลำไส้ออกเป็น 3 ส่วน คือ duodenum , jejunum , ileum

1.8 ไส้ติ่ง (Ceca)

1.9 ลำไส้ใหญ่ (Colon)

1.10 ส้องทวารหนัก (Cloaca)

1.11 ทวารหนัก (Vent or Anus)



ภาพแสดง ทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

ที่มา Taylor, 1995

2. ระบบทางเดินอาหารของสุกร

คล้ายคลึงกับสัตว์ปีกแต่มีข้อแตกต่างกันดังนี้

2.1 ปาก ต่อมน้ำลายที่สำคัญ 3 ต่อม คือ

- parotid salivary glands อยู่บริเวณข้างกกหู
- submaxillarysalivary glands อยู่ใต้ขากรรไกร
- sublingual salivary glands อยู่บริเวณใต้ลิ้น

2.2 สุกรไม่มีกระเพาะพักเหมือนในสัตว์ปีก

2.3 กระเพาะอาหาร (Stomach) เป็นกระเพาะจริงบุด้วยเยื่อหุ้ม (mucous membrane) มีต่อมต่าง ๆ แตกต่างกันหลายชนิดจึงแบ่งกระเพาะออกเป็น 4 ตอน คือ

1) Esophageal region เป็นส่วนแรก ไม่มีต่อมผลิตน้ำย่อย หน้าที่ควบคุมการเข้าของอาหาร

2) cardiac gland region มี mucous gland

ผลิตน้ำเมือกป้องกันการย่อยผนังตัวเอง

3) fundic gland region มี gastric glands

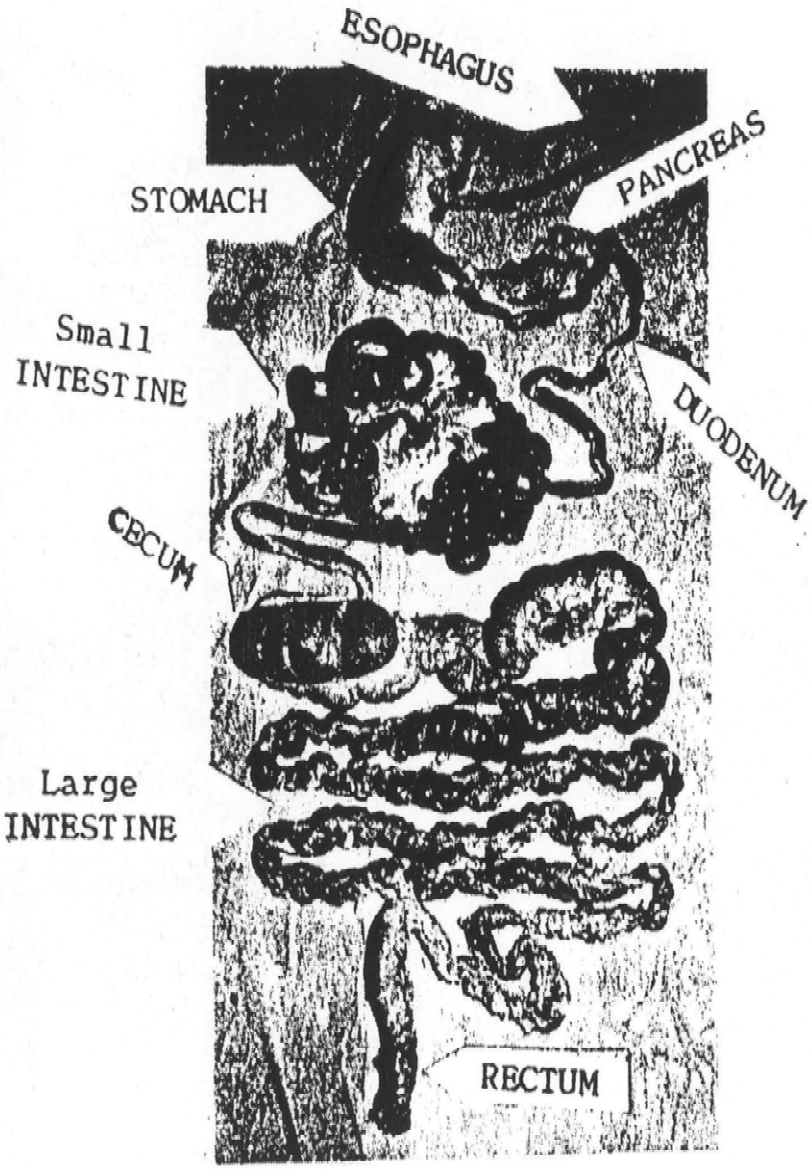
ผลิต gastric juice

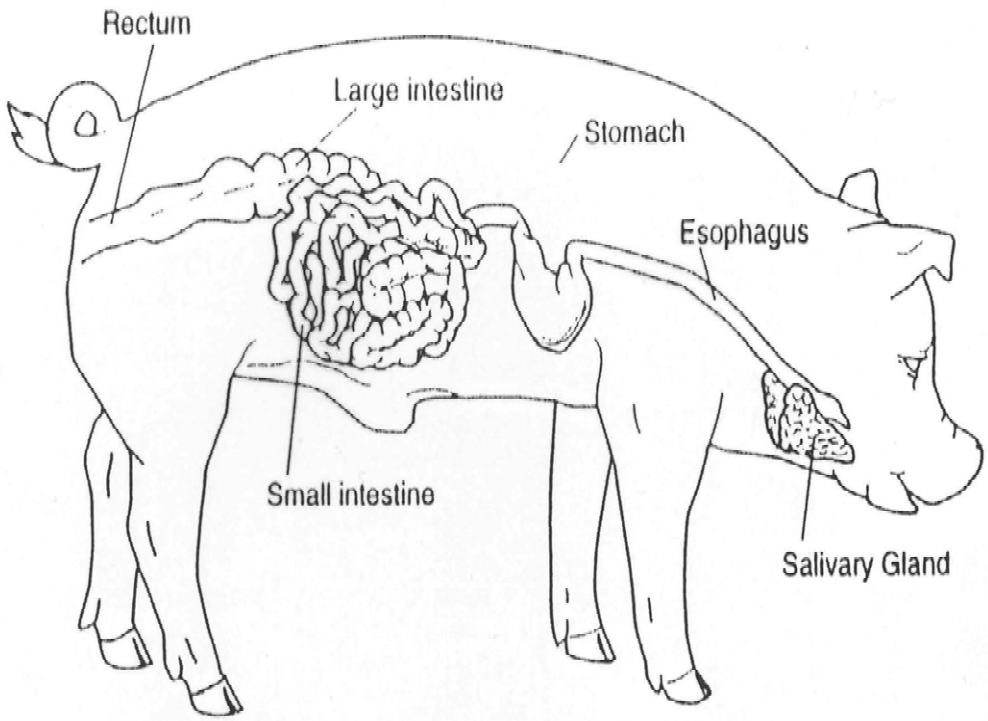
4) pyloric gland region เป็นส่วนสุดท้าย มีหน้าที่

ผลิตน้ำเมือกและควบคุมการไหลออกของอาหารภายในกระเพาะ

2.4 ลำไส้ใหญ่

2.5 ไส้ติ่ง สุกรมีไส้ติ่งเพียงหนึ่งอัน



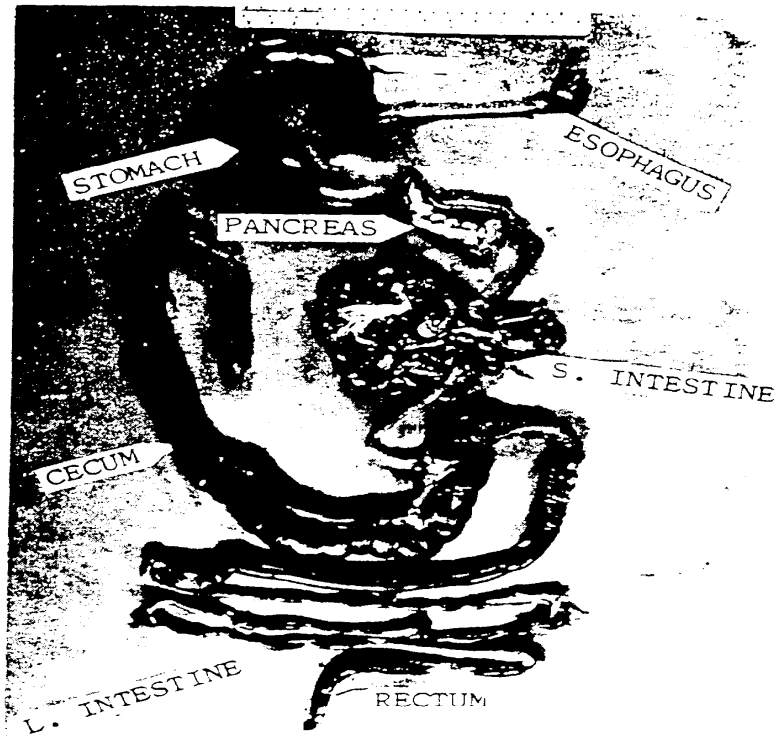


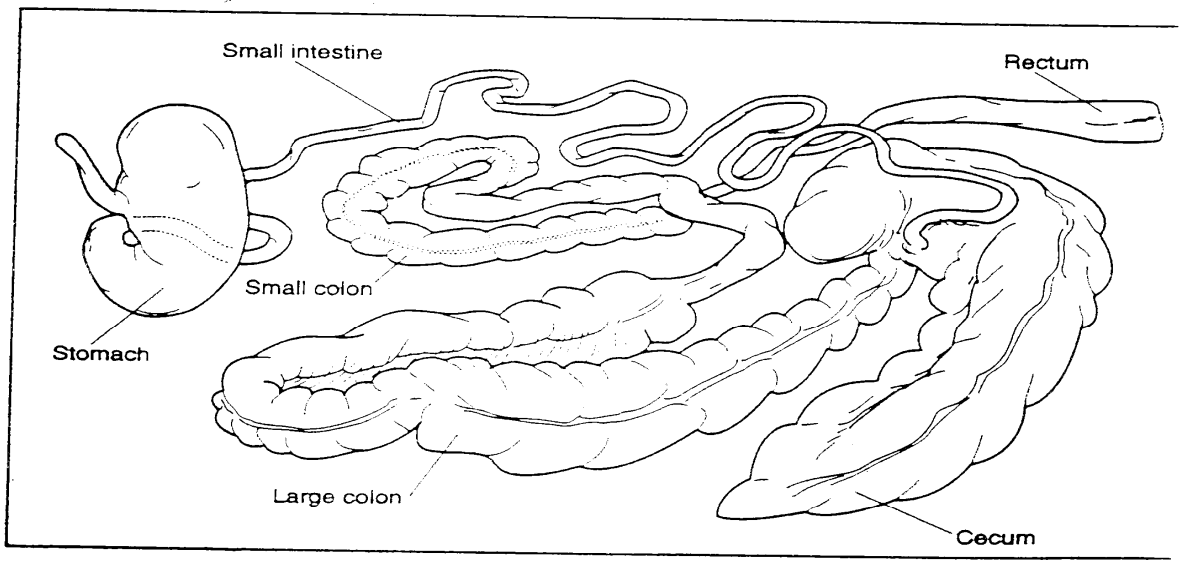
ภาพแสดง ทางเดินอาหารของสุกร

ที่มา Herren, 1994 และ Pond *et al*, 1995

ตารางแสดง ความจุของทางเดินอาหารส่วนต่าง ๆ ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวบางชนิด

ส่วนของทางเดินอาหาร	คน (ลิตร)	สุกร (ลิตร)	ม้า	ไก่
Esophagus	-	-	1.1 เมตร	ความยาวของทางเดินอาหารไก่ที่โตเต็มที่ ประมาณ 2.1 เมตร
Stomach	0.9	7.6	15.2 ลิตร	ปาก – กระเพาะพัก 17.5 ซม.
Small intestine	3.8	7.6	45.6 ซม.	ปาก – กระเพาะแท้ 20 ซม.
Large intestine	0.9	11.4	21.4 ซม.	lleum and jejunum , 1.2 m
Cecum			30.4 ล.,1.1 ม.	Cecum 17.5 cm.
Large colon			68.4 ล., 3.1 ม.	
Small colon			15.2 ล., 3.6 ม.	





ภาพแสดง ทางเดินอาหารของกระต่าย (บน) และม้า (ล่าง)

ที่มา Herren.1994 และ Pond *et al*, 1995

3. ระบบทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การทำงานของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่คล้ายคลึงกับสุกรแต่จะแตกต่างตรงที่ปากและกระเพาะ

หน้าที่ของปากในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

- กัด บด และเคี้ยวอาหาร อาศัยแผ่นแข็งด้านบนและฟันกัดด้านล่างร่วมด้วยปากและลิ้น
- ผลิตน้ำลายวันละ 150-200 ลิตร มีลักษณะเป็นด่าง pH>8 เพราะประกอบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) และในน้ำลายไม่มีเอนไซม์ย่อยแป้งแต่จะช่วยปรับระดับ pH ในกระเพาะรูเมนให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะ
- กลืนอาหาร
- เคี้ยวเอื้องเมื่อมีการขยอกอาหาร

หน้าที่ของกระเพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. กระเพาะผ้าขี้ริ้วหรือกระเพาะหมัก (rumen or paunch) มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความจุ ~150 ลิตร ภายในมีลักษณะคล้ายผ้าขี้ริ้ว คือ มีตุ่มขน (papillae) อยู่ทั่วไป ตามผนังมีแบคทีเรียอยู่ $2.5 \times 10^{10} - 5 \times 10^{10}$ ตัว/มล. โปรโตซัวเฉลี่ย $2 \times 10^{10} - 5 \times 10^{5}$ ตัว/มล. รวมทั้งยีสต์อีกจำนวนหนึ่ง

1) เป็นที่พักอาหารและช่วยให้อาหารอ่อนตัวลง
2) ช่วยบดอาหารให้เล็กลง
3) เป็นที่หมักอาหารเยื่อใย (fermentation) ของจุลินทรีย์

โดยโค-กระบือสามารถย่อยเยื่อใยได้ 60-70% แต่ม้าย่อยได้เพียง 30% นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยสังเคราะห์วิตามินบีรวมและกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกชนิด

2. กระเพาะรังผึ้ง (reticulum or honeycomb)

มีขนาดเล็กที่สุดมีความจุประมาณ 7.5 ลิตร ภายในมีลักษณะเป็นรูคล้ายรังผึ้งกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีการสร้างน้ำย่อย

1) เป็นที่พักอาหารและช่วยให้อาหารอ่อนตัวลง
2) ช่วยปั้นอาหารเป็นก้อนเพื่อส่งอาหารหรือขยอกอาหารกลับไปที่ปากเพื่อเคี้ยวเอื้อง **“hardware stomach”**
3) ช่วยควบคุมการส่งอาหาร

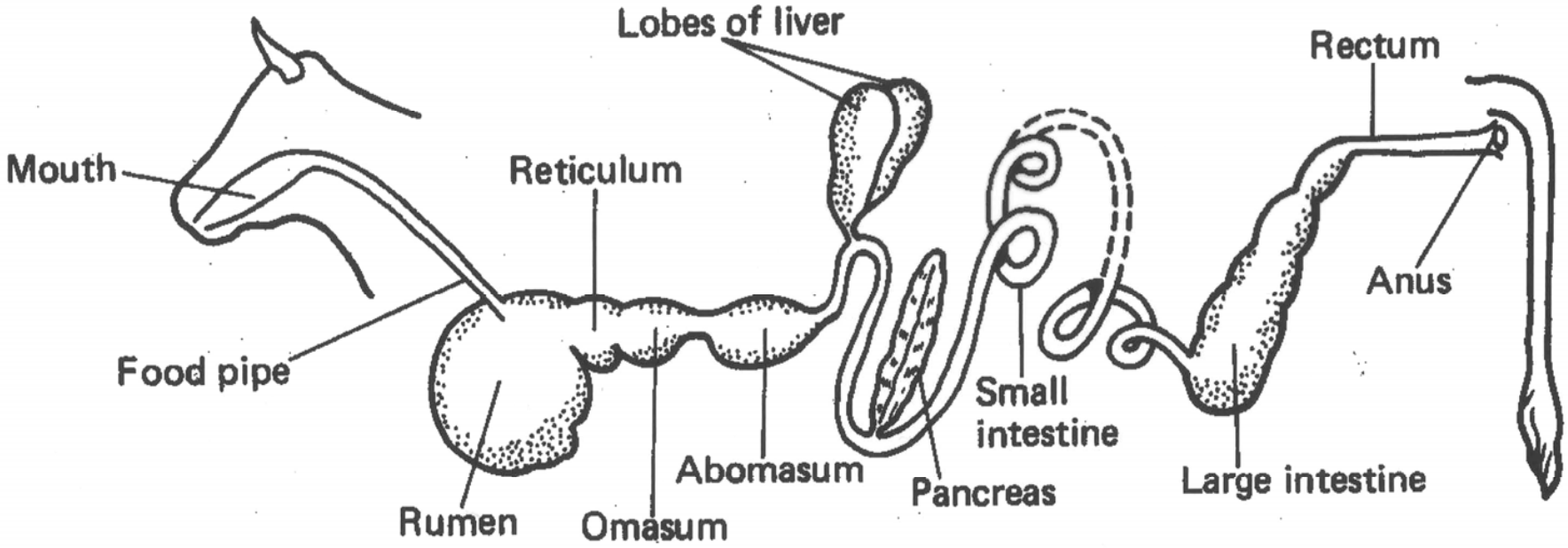
3. กระเพาะสามสิบกลีบ (Omasum or manyplies)

มีความจุประมาณ 15 ลิตร ภายในประกอบด้วยกล้ามเนื้อใหญ่เป็นกลีบ ๆ หรือเป็นหลีบไม่มีการสร้างน้ำย่อย

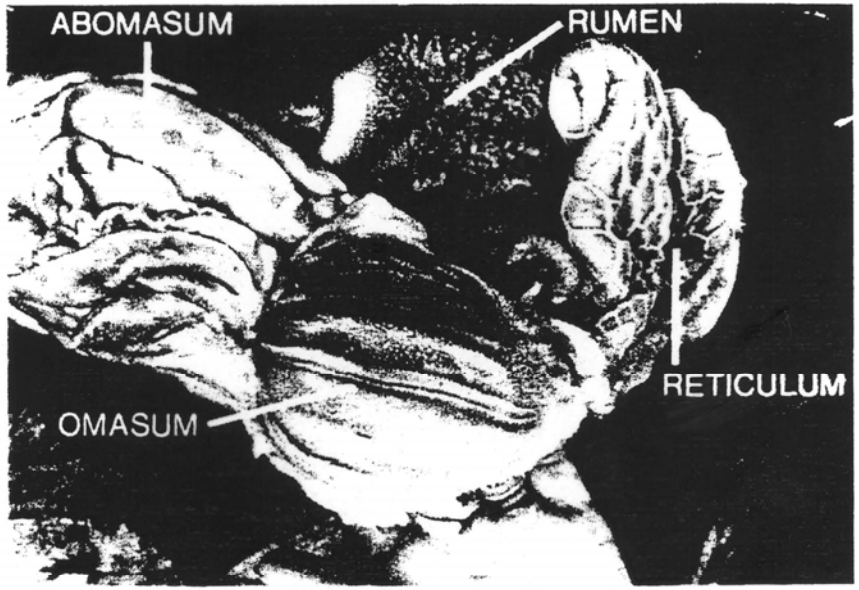
1) เป็นที่พักอาหารและบีบเอาน้ำจากอาหาร
2) ดูดซึมน้ำบางส่วนที่บีบออกมา
3) ช่วยบดอาหารให้มีขนาดเล็กลงเพื่อส่งไปยังกระเพาะจริง

4. กระเพาะจริง **(Abomasums or true stomach)** มีความจุประมาณ 15 ลิตร ผนังมีต่อมผลิตน้ำย่อย **(gastric juices)** ซึ่งประกอบด้วยกรดเกลือและเอนไซม์ **pepsin** หรือ **rennin** โดย **rennin** มีหน้าที่ช่วยทำให้น้ำนมแข็งเป็นลิ่มทำให้เอนไซม์เข้าย่อยน้ำนมได้

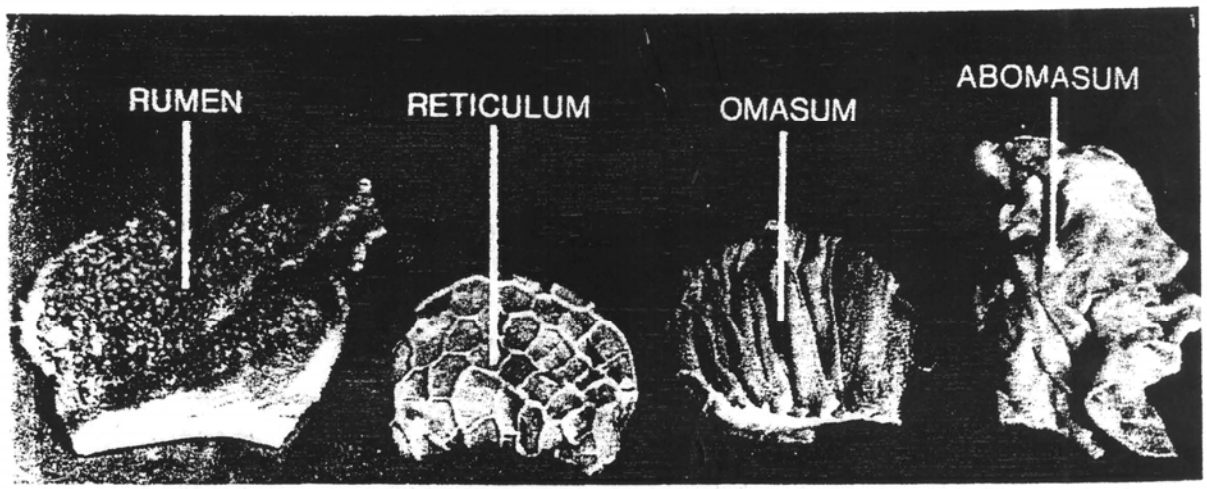
สำหรับลูกโครยะกินนมมี **esophagel** หรือ **reticular groove** ต่อจากหลอดอาหารไปยังกระเพาะสามสิบกลีบจนถึงกระเพาะจริงใช้เป็นท่อทางผ่านของน้ำนมไปสู่กระเพาะจริงได้เลย



ภาพแสดง ทางเดินอาหารของโคที่โตเต็มที่



A



B

ภาพแสดง ผนังภายในของกระเพาะแต่ละส่วน

ที่มา Taylor, 1995

ส่วนของทางเดินอาหาร	โค	แกะ
Stomach	150	
Rumen	7.5	19
Reticulum	7.5	1.9
Omassum	15	0.95
Abomasum	15	2.8
Small intestine	57 (39 เมตร)	7.6 (24 เมตร)
Large intestine	38	5.7

การย่อยอาหารแบ่งออกเป็น 3 วิธี

1. กลวิธี (Mechanical digestion) เช่น การเคี้ยวอาหาร การบีบหดตัวของกล้ามเนื้อในระบบทางเดินอาหาร การย่อยอาหารในกึ๋นของไก่
2. วิธีทางเคมี (Chemical digestion) เช่น การย่อยโดยอาศัยน้ำย่อยและการใช้น้ำดีรวมทั้งกรดเกลือ
3. การย่อยโดยจุลินทรีย์ (Microbial digestion) เช่น ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และในไส้ติ่งกับลำไส้ใหญ่ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว

เอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยอาหาร

เอนไซม์	แหล่งที่ผลิต	โภชนะที่ถูกย่อย	สารที่ย่อยได้
เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต			
Amylase	ปาก , ตับอ่อน , ลำไส้เล็ก	Starch	Maltose , dextrin
Lactase	ลำไส้เล็ก	Lactose	Glucose & galactose
Maltase	ลำไส้เล็ก	Maltose	Glucose & glucose
Sucrase	ลำไส้เล็ก	Sucrose	Glucose & fructose
เอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic หรือ protease)			
Pepsin	กระเพาะ	Protein	Polypeptides
Trypsin	ตับอ่อน	Protein	Polypeptides

เอนไซม์	แหล่งที่ผลิต	โภชนะที่ถูกย่อย	สารที่ย่อยได้
Chymotrypsin	ตับอ่อน	Peptides	Peptides & amino acids
Carboxypeptidases	ตับอ่อน	Peptides	Peptides & amino acids
Aminopeptidases	ลำไส้เล็ก	Peptides	Peptides & amino acids
Dipeptidases	ลำไส้เล็ก	Dipeptides	Amino acids
เอนไซม์ย่อยไขมัน			
Lipase	ตับอ่อน , ลำไส้เล็ก	Lipids	Fatty acids + glycerol & Glycerides

การย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

1. การย่อยอาหารในปาก

น้ำลาย ประกอบด้วย น้ำ Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO^-_3 , ∝- amylase + complex lysozyme

Amylose $\xrightarrow{\text{∝-amylase}}$ Glucose , Maltose

Amylopectin $\xrightarrow{\text{∝-amylase}}$ Limited dextrins

2. การย่อยอาหารในกระเพาะ

น้ำย่อยจากกระเพาะประกอบด้วย น้ำ กรดเกลือ แร่ธาตุต่าง ๆ สารเมือก pepsinogen , rennin , lipase และ intrinsic factor

3. การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก อาศัยน้ำย่อยจาก

1) น้ำดี (Bile) ทำหน้าที่เป็น emulsifier

2) น้ำย่อยจากตับอ่อน (Pancreatic juice)

2.1) Trypsinogen (inactive) —*trypsin* / *Enterokinase*→ Trypsin (active)

2.2) Chymotrypsinogen (inactive) —*trypsin*→ Chymotrypsin (active)

2.3) Procarboxypeptidase —*trypsin*→ Carboxypeptidase

2.4) Pancreatic ∝-amylase

2.5 **Pancreatic lipase ย่อยไขมันให้ได้ di- และ monoglyceride**

2.6 **Lecithinase ย่อย phospholipids lecithin ให้เป็น glycerol , phosphocholin และ fatty acid**

2.7 **Polynucleotidase**

Nucleic acid —*polynucleotidase*→ **Nucleotide**

Nucleotide —*nucleosidase*→ **P + S และ N**

P + S และ N —*phosphatase*→ **P , S และ N**

3) น้ำย่อยออกจากลำไส้เล็ก (Intestinal juice) ได้แก่ sucrase , maltase , lactase , oligo-1 , 6-glucosidase , aminopeptidase และ dipeptidase

4. การย่อยในลำไส้ใหญ่

โปรตีนที่ไม่ถูกย่อย ***Proteolytic bacteria*** → **สารที่ทำให้เกิดกลิ่นในมูล**

(indole , skatole , phenol fatty acid , hydrogen sulfide และ amino acid)

Cellulose

+ ***cellulolytic bacteria*** → **volatile fatty acids**

Hemicellulose

การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

จุลินทรีย์ เช่น Bacteroides succinogenes , Butyrivibrio fibrisolvens , Streptococcus bovis เป็นต้น ทำหน้าที่ย่อยอาหารให้เป็น VFA แอมโมเนีย CO_2 และมีเทน

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน แบ่งออกเป็น 2 ขั้น

ขั้นที่ 1 Complex carbohydrate ย่อยโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ให้เป็น simple sugar คือ

Cellulose —*β-1,4-glucosidase*→ **Cellobiose**

Cellobiose —***phosphorylase***→ **Glucose , Glucose - 1 - phosphate**

Starch, Dextrin —*amylase*→ **Maltose , Isomaltose**

Maltose , Isomaltose —*Maltase , α-1,6-glucosidase*→ **Glucose , Glucose - 1 – phosphate**

Fructans —*fructase*→ **Fructose**

Hemicellulose —เอนไซม์ย่อย *β-1 , 4-linkage* / *xylanase*→ **Xylose, Uronic acid**

Pectin $\xrightarrow{\textit{pectinesterase}}$ Pectic acid , Methanol

Pectic acid , Methanol $\xrightarrow{\textit{polygalacturonidase}}$ Galacturonic acid

ขั้นที่ 2 Simple sugar $\xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}}$ Pyruvic acid

Pyruvic acid $\xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}}$ CO_2 , Methan , VFA พวก Acetic , Butyric และ Propionic

การเกิดก๊าซในรูเมน $\rightarrow$ CO_2 = 65% , Methan = 25-27%

การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

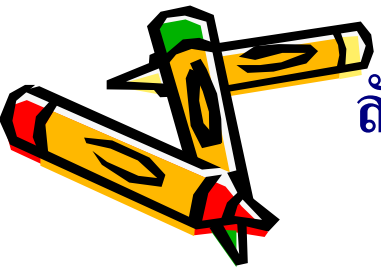
Protein —จุลินทรีย์→ Peptide , Amino acid

Peptide , Amino acid —deamination→ Organic acid , $NH_4 + CO_2$

การย่อยไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

กรดไขมันไม่อิ่มตัว —จุลินทรีย์→ Glycerol และ Fatty acid

การสังเคราะห์วิตามินในกระเพาะรูเมน



สังเคราะห์วิตามินบีรวมได้

การดูดซึมโภชนะ

- สัตว์กระเพาะเดี่ยว - สัตว์เคี้ยวเอื้อง

การดูดซึมโภชนะที่ลำไส้ มี 2 ระบบ

1. ระบบเลือด = โภชนะ → capillary (ลำไส้) → venous system

↓

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ← hepatic vain (หัวใจ) ← portal vain (ตับ)

2. ระบบน้ำเหลือง = โภชนะ → lacteal (villi) → lymphatic system

↓

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ← thoracic duct (หัวใจ)

รูปแบบของการดูดซึม มี 3 แบบ

1. **Active transport** คือ แบบต้านกระแสความเข้มข้นต้องใช้พลังงานเข้าช่วยและต้องมีตัวพา
2. **Passive diffusion** คือ แบบแพร่จากที่มีความเข้มข้นสูงไปต่ำ ไม่ต้องใช้พลังงาน
3. **Pinocytosis** หรือ **phagocytosis** คือ แบบใช้ผนังเซลล์ล้อมกลืนสารโมเลกุลใหม่เข้าไป

การดูดซึมน้ำ → ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และไส้ติ่ง

การดูดซึมอาหารคาร์โบไฮเดรต

- **สัตว์กระเพาะเดี่ยว** จะดูดซึมในรูป monosaccharide

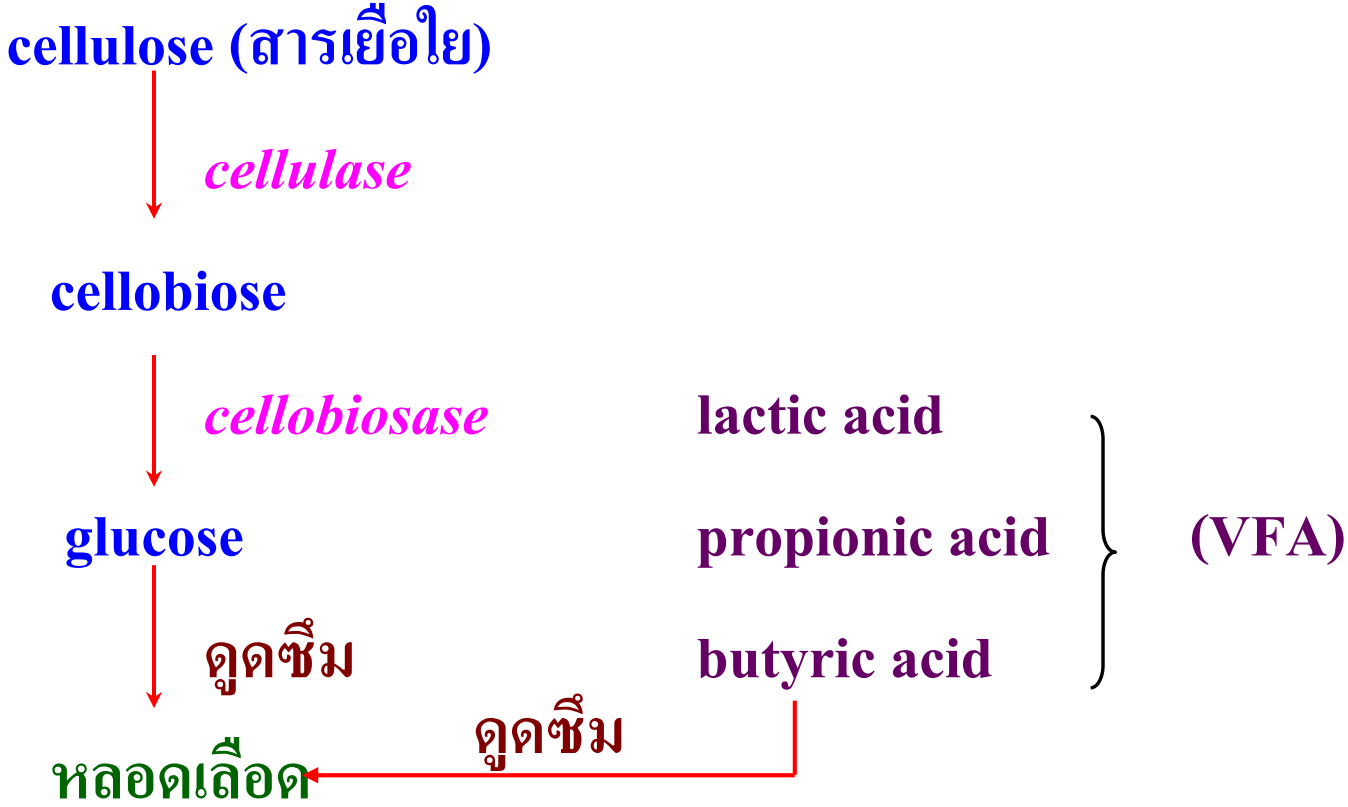
แป้ง —amylase→ maltose, sucrose, lactose —(m)+(s)+(l)→ glucose, galactose, fructose —ดูดซึม→ หลอดเลือด

ภาพ แสดงไดอะแกรมการย่อยและการดูดซึมแป้งและน้ำตาล

ตารางแสดงรูปแบบและความเร็วในการดูดซึมคาร์โบไฮเดรต

ชนิดคาร์โบไฮเดรต	ความเร็วในการดูดซึม	รูปแบบการดูดซึม
galactose	110	active transport
glucose	100	active transport
fructose	43	semi – active transport
manose	19	passive transport
xylose	15	passive transport
arabinose	5	passive transport

- **สัตว์เคี้ยวเอื้อง** คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ได้เป็น VFA



ภาพ แสดงไดอะแกรมการย่อยและการดูดซึมสารเยื่อใย

การดูดซึม = rumen → portal blood system → ตับ

↓

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ← systemic blood

การดูดซึมอาหารโปรตีน

Protein

↓ *pepsin*

↓ *endopeptidase*

Protein , polypeptide , proteose , peptone

↓ *trypsin*

↓ *endopeptidase*

ภาพที่ 1.6 แสดงไดอะแกรมการย่อยและการดูดซึมอาหารโปรตีน

การดูดซึม

Amino acid → ลำไส้เล็ก → portal blood

L – amino acid ดูดซึมแบบ active transport มีตัวพา เช่น Na+ , Vit. B6

D – amino acid ดูดซึมแบบ free diffusion

∝ – globulin ในนมน้ำเหลืองเป็นโปรตีนที่ถูกดูดซึมโดยไม่ถูกย่อยดูดซึมแบบ pinocytosis

การดูดซึมอาหารไขมัน

ทางเดินอาหาร

Triglyceride

↓

(Diglyceride) + 1 fatty acid

(Monoglyceride) + 2 fatty acid

รวมกับน้ำดี

↓

Glycerol + fatty acid → glycerol , fatty acid → หลอดเลือด

เซลล์ผิวลำไส้

protein

+

phospholipids

+

cholesterol

+

triglyceride

} * หลอดน้ำเหลือง

* chylomicron คือ ก้อนไขมันเล็ก ๆ ที่เกิดจากการรวมตัวของ triglyceride และ cholesterol โดยมีสารโปรตีนและphospholipids มาห่อหุ้ม

การดูดซึมแร่ธาตุ

- แร่ธาตุจะดูดซึมเข้าทางสายเลือด
- ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ เช่น รูปแบบของแร่ธาตุ , interaction และการละลายของแร่ธาตุ
- Ca กับ P
- P ในรูป phytic acid จะจับกับ Ca และ Mg → phytate salt
- Oxalic acid ในอาหารที่ขึ้นเราทำให้ Ca + oxalic acid → Ca – oxalate
- Ca + fluoride ในอาหาร → Ca-fluoride
- Fe ดูดซึมได้ดีในรูป Ferrous มากกว่าแบบ Ferric , Vit C ช่วยดูดซึมดีขึ้น

การดูดซึมวิตามิน

- วิตามินที่ละลายในน้ำจะดูดซึมเข้าสู่สายเลือด
- วิตามินที่ละลายในไขมันจะดูดซึมเข้าสู่ระบบน้ำเหลือง

-Vitamin A ดูดซึมดีกว่า carotene

- Vitamin B 12 ต้องอาศัยนิวโคโปรตีนที่เรียกว่า intrinsic factor ที่ขับจากกระเพาะในการดูดซึมเข้าสู่ระบบเลือด

Metabolism

Metabolism แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ

1. Catabolism
2. Anabolism

พลังงานชีวะเคมี เช่น ATP , ADP , AMP , PP , NADH , NADPH , $FADH_2$, GTP และ UTP

1. Carbohydrate metabolism

Carbohydrate → glucose → เส้นเลือด

↓

ตับ, เนื้อเยื่อ (glycogen)

- Hyperglycemia
- Hypoglycemia

ฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด คือ

1) Adrenaline สร้างจาก Adrenal gland
2) Insulin สร้างจาก Island cell ของ Pancreas

1.1 Carbohydrate catabolism

1) การใช้ glucose เป็นแหล่งพลังงาน

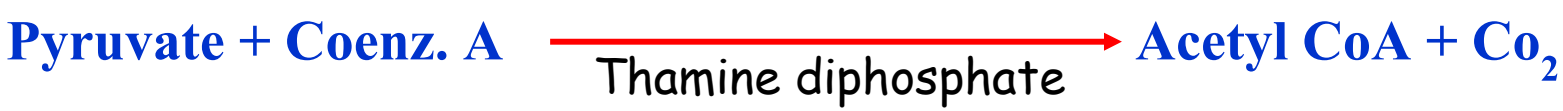
ต้องผ่านกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ

1. glycolysis ซึ่งจะได้ pyruvate ออกมา

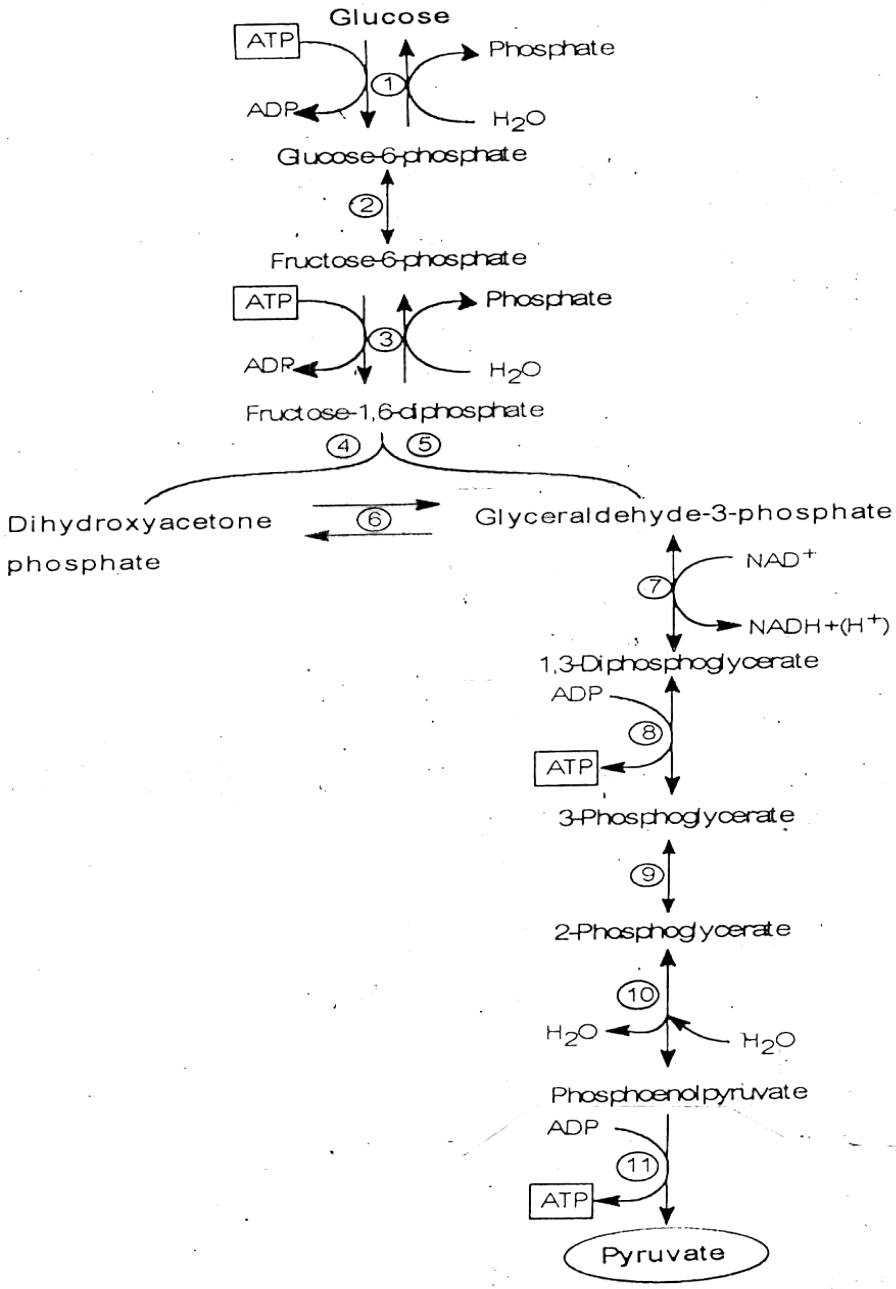
ในสภาพไม่มี O_2 ให้ 2 ATP/mole glucose

ในสภาพมี O_2 ให้ 8 ATP/mole glucose

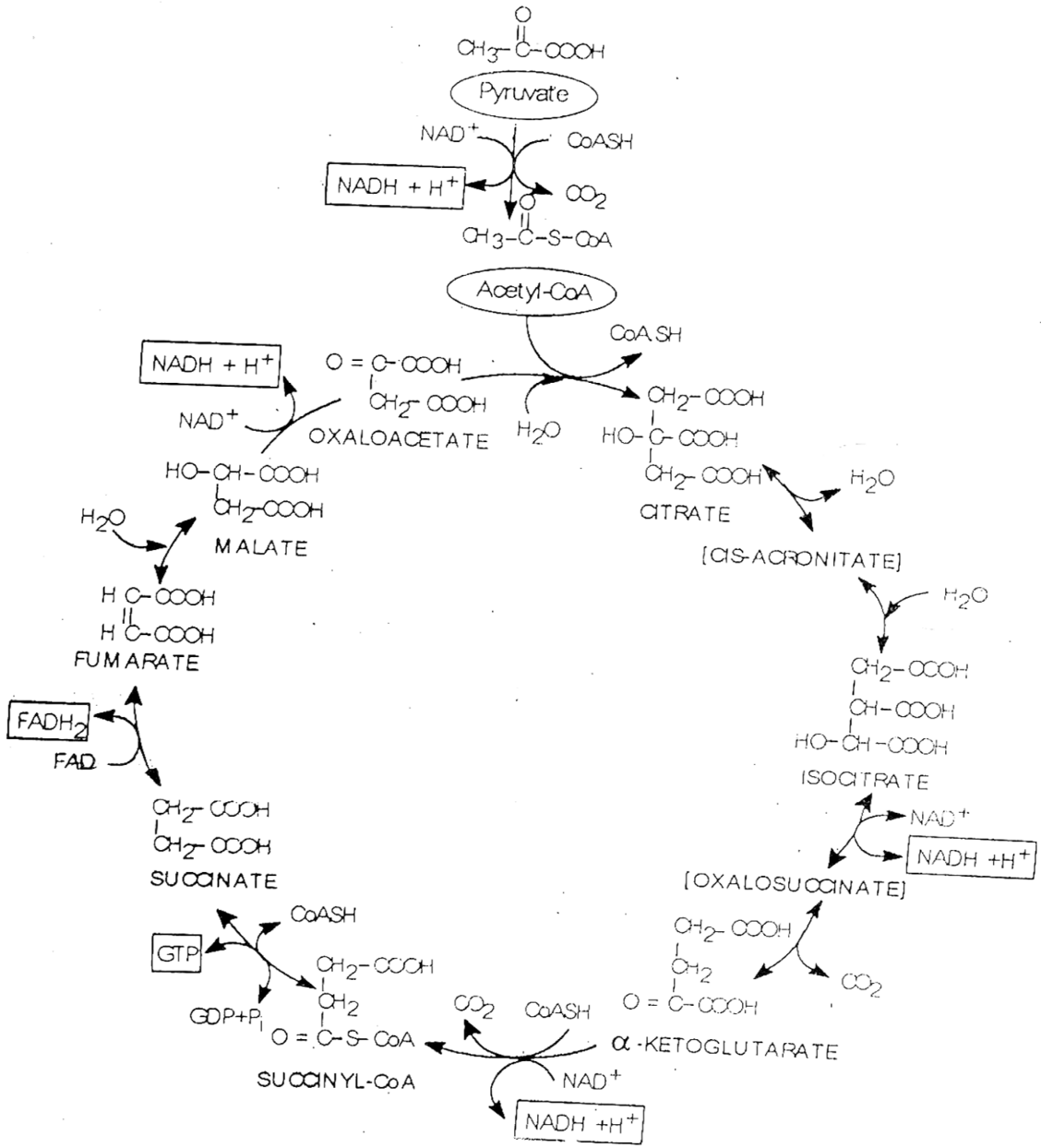
2. การเปลี่ยน pyruvate ให้เป็น acetyl Co A



3. Krebs'cycle (TCA cycle) ให้ 12 ATP/AcetylCo A ดังนั้น glucose 1 mole ให้ ATP 36 หรือ 38 mole



วิถีไกลโคไลสิส



วัฏจักรเครบส์ หรือ citric acid cycle หรือ tricarboxylic acid (TCA)

ประสิทธิภาพในการเผาผลาญ **glucose** ในร่างกาย เท่ากับ

204 x 100/686 = 44%

โดย **ATP 1 mole** ให้พลังงาน **8 Kcal**

เผา **glucose** ใน **bomb calorimeter** ได้ **686 Kcal**

การสลาย glucose โดยวิธี pentose phosphate

- เกิดในตับ เนื้อเยื่อไขมันและต่อมน้ำนม
- ได้พลังงาน 35 ATP/mole gloucse
- สร้าง NADPH2 เพื่อการสังเคราะห์ไขมัน
- สร้าง pentose (ribose) เพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก

2) การใช้ glycogen เป็นแหล่งพลังงาน ต้องสลาย glycogen โดยไม่ใช้ ATP แต่ใช้ inorganic phosphate และ glycogen phosphorylase ให้ได้เป็น Glucose-1-P →Glucose-6-P เข้าสู่วิถีเดิมได้พลังงาน 39ATP/mole glucose

Carbohydrate catabolism ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Glucose → VFA - 2 Acetic acid
- 2 Propionic acid
- 1 Butyric acid

การใช้ VFA เป็นแหล่งพลังงาน

1. Acetate → Acetyl Co A → TCA cycle = 10 ATP

2. Propionate → succinyl Co A → TCA cycle

Phosphoenol pyruvate

ย้อน = glycolysis → TCA cycle → 17 ATP/mole prop

pyruvate → TCA cycle → 18 ATP/mole prop

3. Butyrate $\rightarrow$ β-hydroxybutyrate

↓

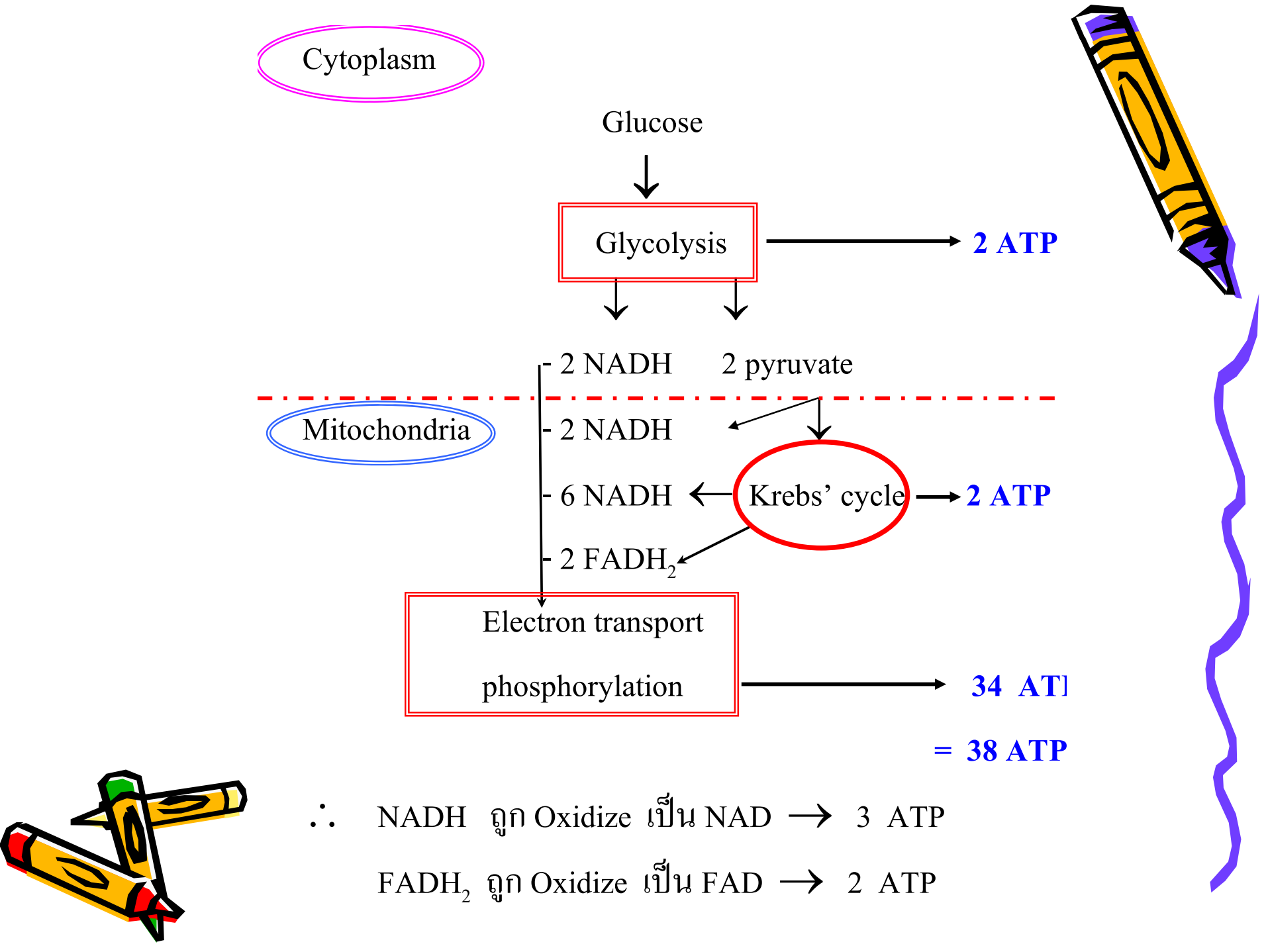
Acetoacetate

Acetoacetyl CoA | **Acetyl CoA**

↓ | ↓

TCA cycle | **TCA cycle**

ATP 26 mol/1 mol but. | **ATP 25 mol/1 mol but.**

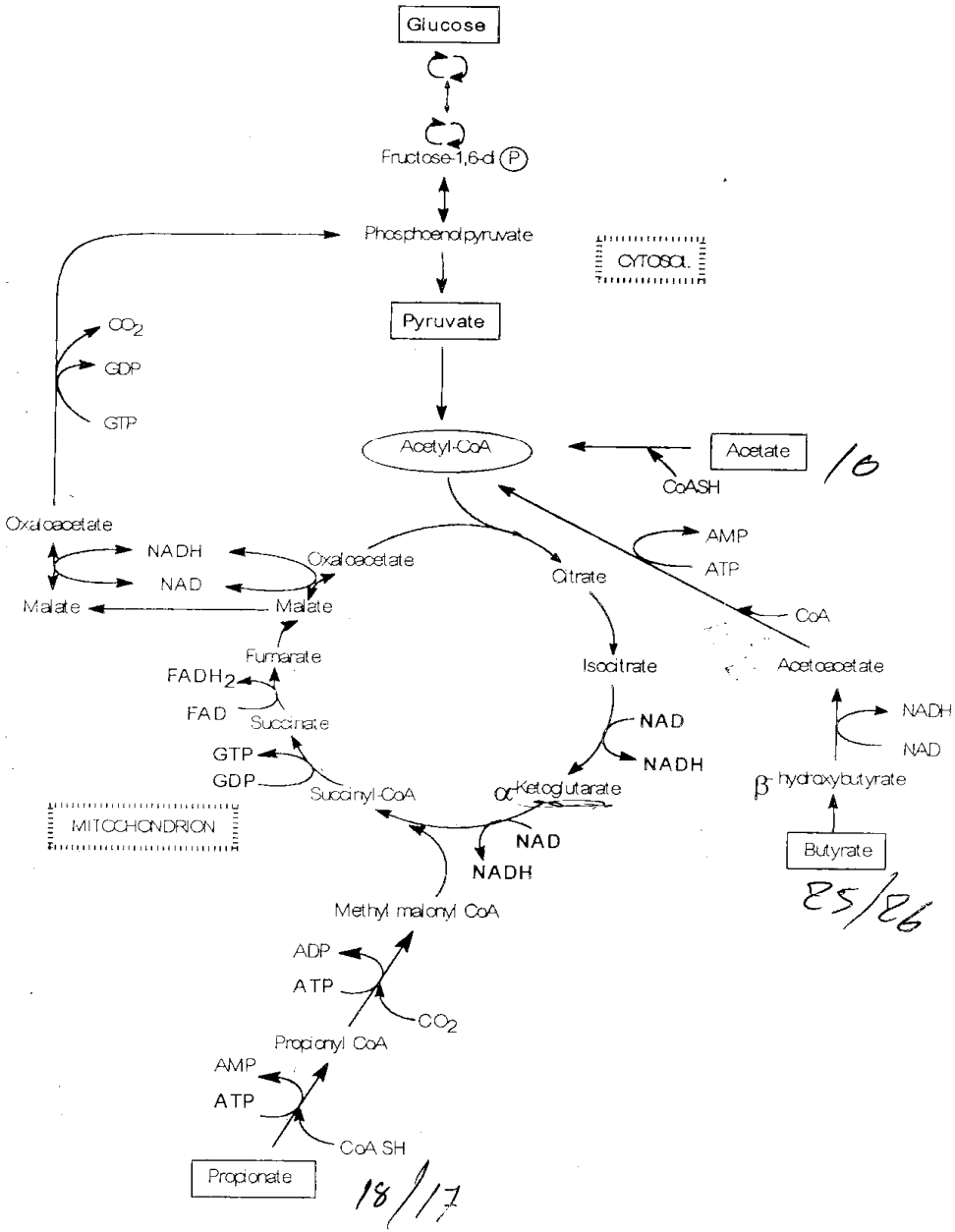


∴ NADH ถูก Oxidize เป็น NAD → 3 ATP

$FADH_2$ ถูก Oxidize เป็น FAD → 2 ATP

ประสิทธิภาพการเผาผลาญ VFA

VFA	mole ATP/mole VFA	mole ATP/mole glucose
Butyrate	25 or 26	25 or 26
Propionate	17 or 18	34 or 36
Acetate	10	20



ภาพที่ วิถีการเผาผลาญกรดไขมันระเหยได้ทั้ง 3 ชนิด

1.2 Carbohydrate anabolism

1) Gluconeogenesis (การสังเคราะห์กลูโคส)

1.1) glucogenic substances ได้แก่ glycerol , lactate , propionate , non-EAA และ EAA เช่น Arginine , methionine , cystine เป็นต้น

1.2) ketogenic substances เช่น leucine , fatty acid เป็นต้น

1.3) สารที่เปลี่ยนเป็น glucose และ ketone ได้เช่น isoleucine , leucine , phenylalanine และ tyrosine

สรุป การสังเคราะห์ glucose ต้องอาศัยวิธีการย้อนวิถีไกลโคไลซีส

2 Pyruvate + 2 NADH + 4H+ + 4ATP + 2GTP + 6H2O

↓

glucose + 2 NAD+ + 4 ADP + 2 GDP + 6 Pi

2) **Glycogenesis** (การสังเคราะห์ **glycogen**)

สังเคราะห์จาก glucose และน้ำตาล Hexose อื่น ๆ เช่น galactose , fructose และ mannose

3) **การสังเคราะห์แลคโตส** สังเคราะห์จาก glucose และ galactose (β-1 , 4)

galactose ต้องสร้างจาก glucose "epimer"

2. Fat metabolism

2.1 Fat catabolism

1) การใช้ **glycerol** เป็นแหล่งพลังงาน

glycerol เปลี่ยนเป็น glucose

- Glycolysis → pyruvate → acetyl CoA → TCA cycle (22 ATP/mol gly)

- ย้อน glycolysis → glucose (22 ATP/mole glycerol)

2) การใช้กรดไขมันเป็นแหล่งพลังงาน

Fatty acid → β-oxidation pathway ได้ acyl Co A → oxidize → ได้ acyl Co A ที่มี C อะตอมน้อยกว่าเดิม 2 อะตอม , acetyl Co A และ 5 ATP

* Acyl Co A จะวนเข้า β-oxidation pathway ใหม่จนได้ acetyl Co A ทั้งหมด

Acetyl Co A → TCA cycle → 12 ATP

2.2 Fat anabolism

1) การสังเคราะห์กรดไขมันอิ่มตัว

- ใน Cytoplasm สร้างจาก acetyl Co A → C-chain ยาว 16 อะตอม
- ใน Mitochondria เริ่มจาก palmitate ได้ c-chain เป็น 18 , 20 , 22 และ 24 อะตอม

2) การสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัว; สังเคราะห์จากกรดไขมันอิ่มตัว

Palmitic acid → palmitoleate

3) การสังเคราะห์ glycerol และ สร้าง triacylglycerol

glycerol สร้างจาก glucose

3. Protein metabolism

3.1 Protein catabolism

- การใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งพลังงาน

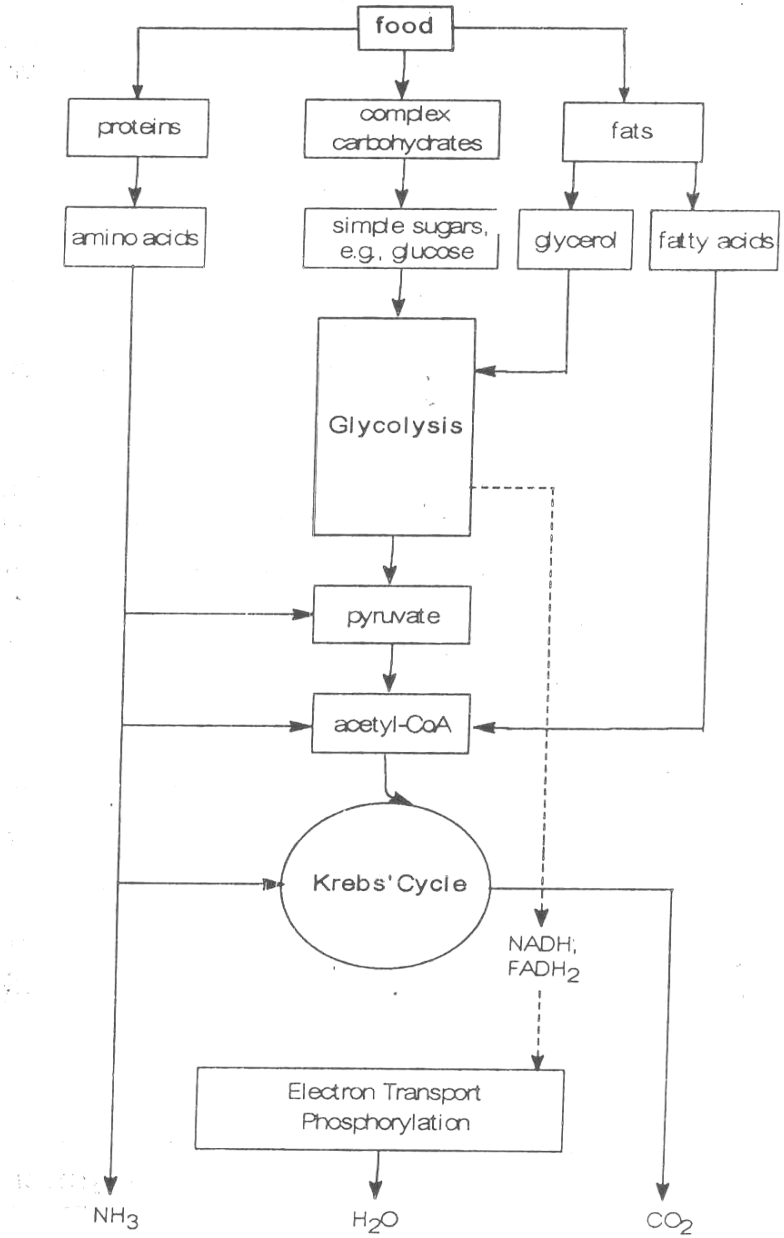
Deamination
Transamination
} Glycolysis → TAC cycle

3.2 Protein anabolism

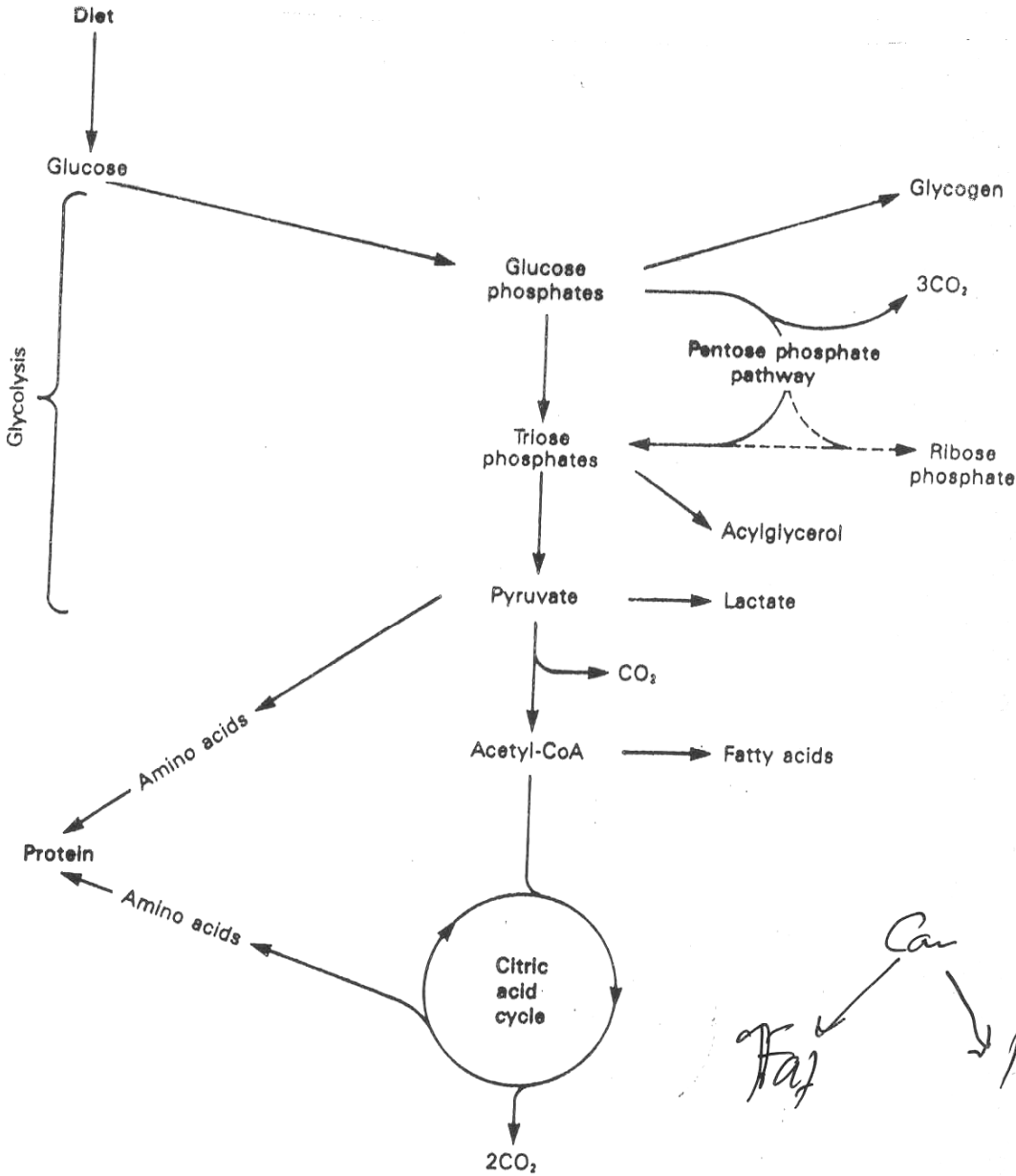
1) การสังเคราะห์กรดอะมิโน

Transamination โดยใช้ glutamate ถ่ายกลุ่มอะมิโน ให้สารตัวกลางใน glycosis และ TCA cycle

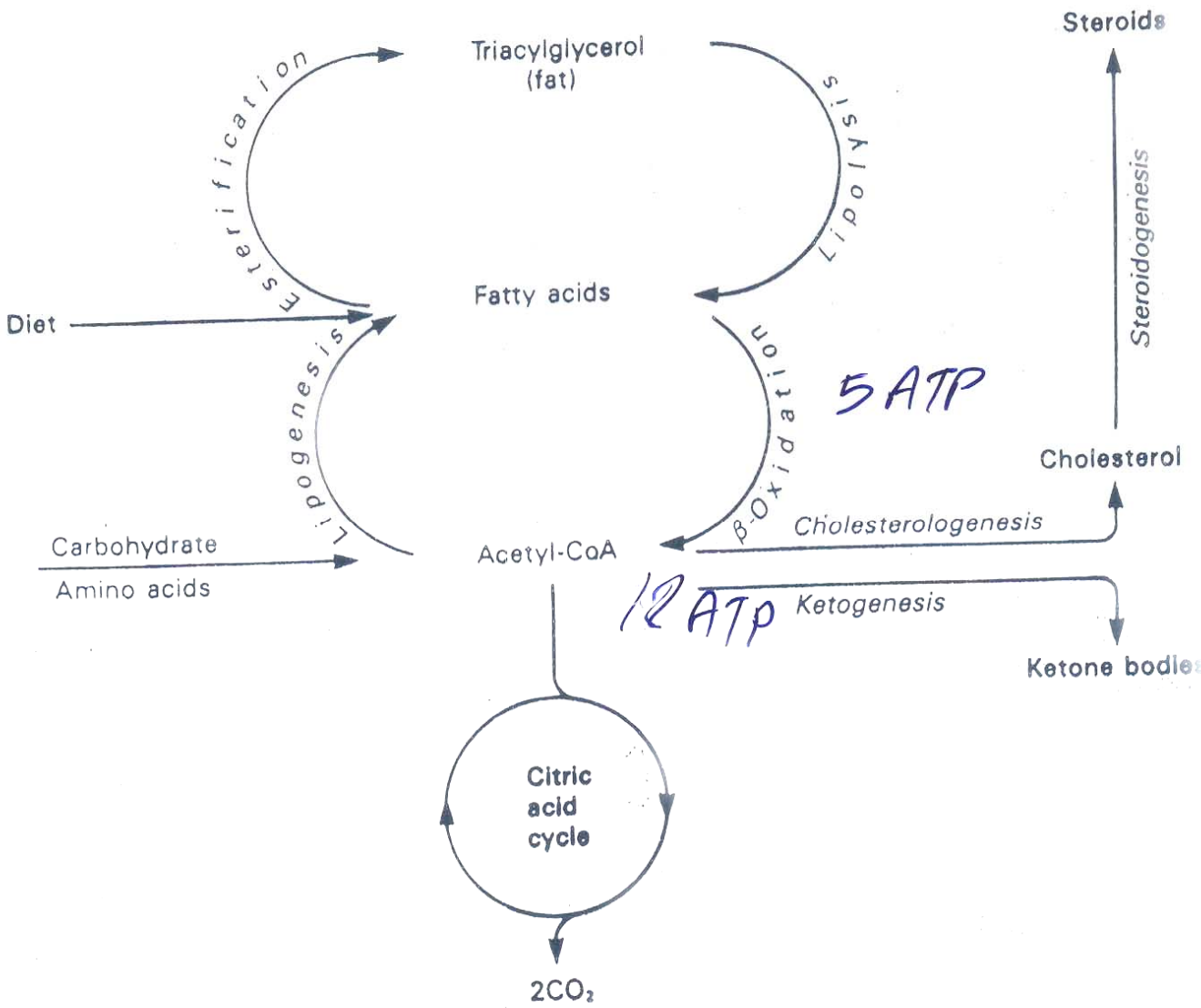
2) การสังเคราะห์โปรตีน



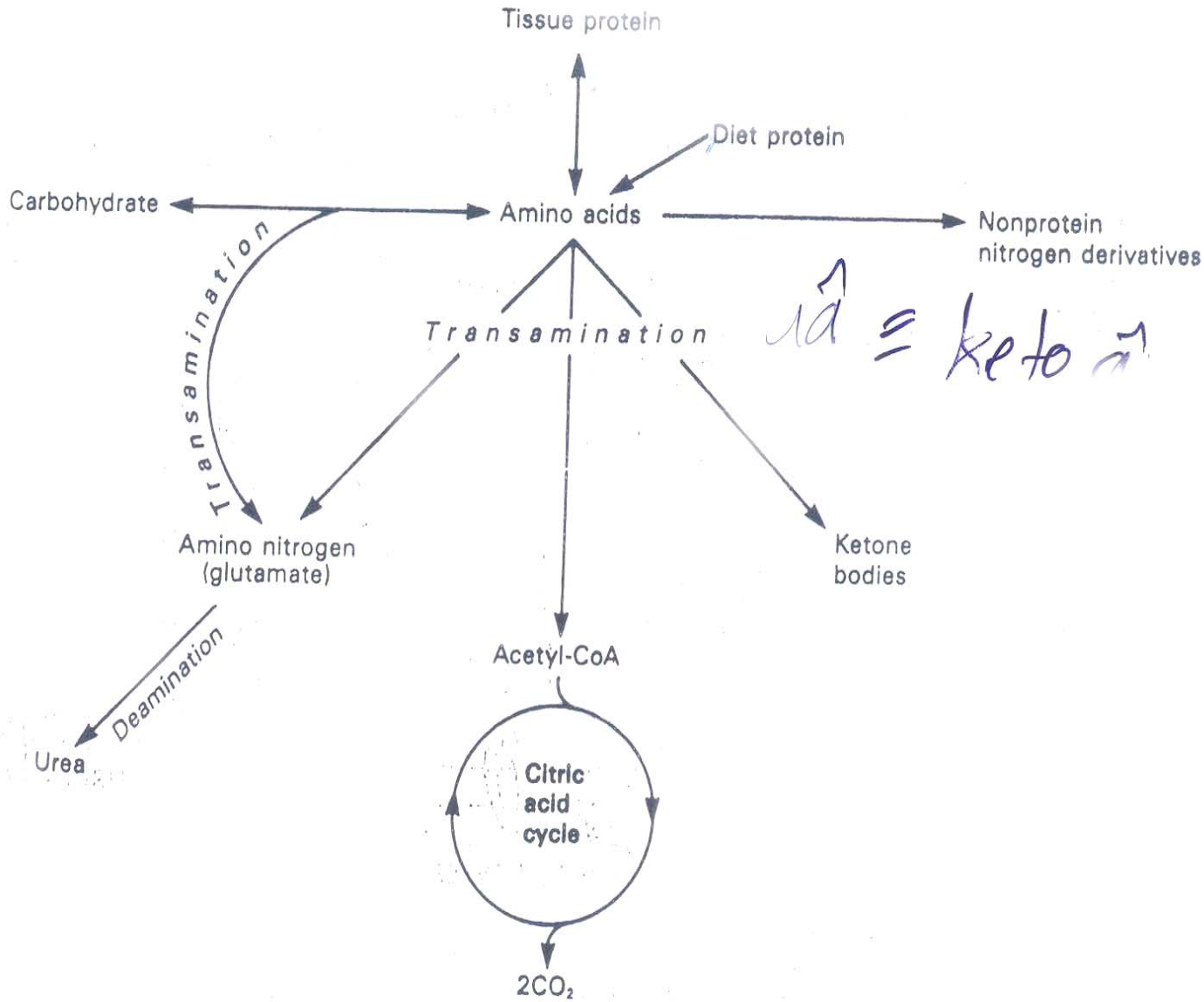
ภาพที่ 6.24 การสลายโภชนะหลักให้เป็นพลังงานโดยสรุป



ภาพที่ สรุปเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Murray *et al*, 1996)



สรุปเมแทบอลิซึมของไขมัน (Murray et ai, 1996)



ภาพที่ สรุปเมแทบอลิซึมของโปรตีน (Murray *et al*, 1996)

บทที่ 8

การประมาณคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์

การย่อยได้ของอาหาร (Digestibility)

Digestion trial หรือ Metabolism trial

1. วิเคราะห์หาโภชนะในอาหาร
2. ให้สัตว์กิน
3. เก็บมูล
4. วิเคราะห์โภชนะในมูล
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ (apparent digestibility) หรือ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (digestibility coefficients)

คำนวณได้จาก

$$\% \text{ การย่อยได้} = \frac{\text{โภชนะที่สัตว์กิน} - \text{โภชนะในมูล}}{\text{โภชนะที่สัตว์กิน}} \times 100$$

$$= 100 \times \frac{(\text{น.น อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{น.น มูล} \times \%\text{โภชนะในมูล})}{\text{น.น อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}}$$

EX 1. อาหารมีวัตถุแห้งหนัก 44,688 กรัม มี protein 22.86 % เยื่อใย 18.47 % , NFE 46.60 % และไขมัน 3.80 % มูลมีน้ำหนัก 11,609 กรัม มี protein 22.04 % , เยื่อใย 18.58 % ,NFE 35.75 % และไขมัน 6.74 % จะมี % การย่อย ได้หรือสัมประสิทธิ์การย่อยได้เป็นเท่าใด

% การย่อยได้ของโปรตีน =

% การย่อยได้ของเยื่อใย =

% การย่อยได้ของ NFE =

% การย่อยได้ขอไขมัน =

ค่า “Apparent digestibility coefficients , ADE” ยังไม่ถูกต้องเพราะมี metablic fecal substance (MFS) or endogenous fecal substance (EFS) เช่น น้ำย่อย แบคทีเรีย และผนังทางเดินอาหารที่ ลอกหลุดออกมาที่ถูกต้อง คือ True digestibility coefficients , TDE (สัมประสิทธิ์การย่อยได้จริง) ที่นำเอาส่วน EFS มาลบออกจากมูลด้วย

$$= \frac{100 \times (\text{น.น อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{น.น มูล} \times \%\text{โภชนะในมูล}) - (\text{น.น EFS} \times \%\text{โภชนะใน EFS})}{\text{น.น อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}}$$

การวัดการย่อยได้ทำได้ 2 วิธี คือ การทดลองกับตัวสัตว์ (in vivo method) และการทำในห้องปฏิบัติการ (in vitro method)

1. การทดลองกับตัวสัตว์ นิยมอยู่ 2 วิธี คือ

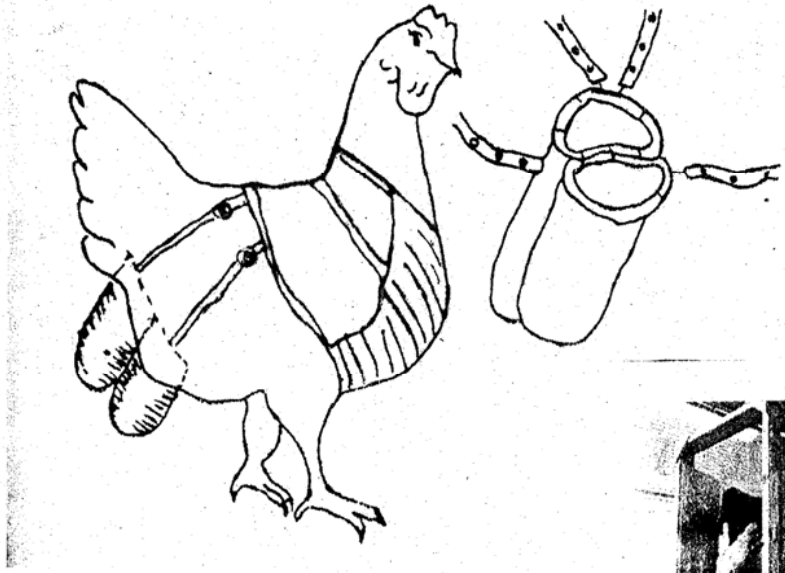
1.1 Total collection

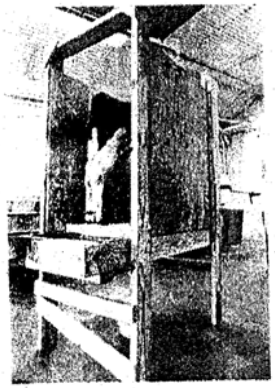
1.2 Indicator method

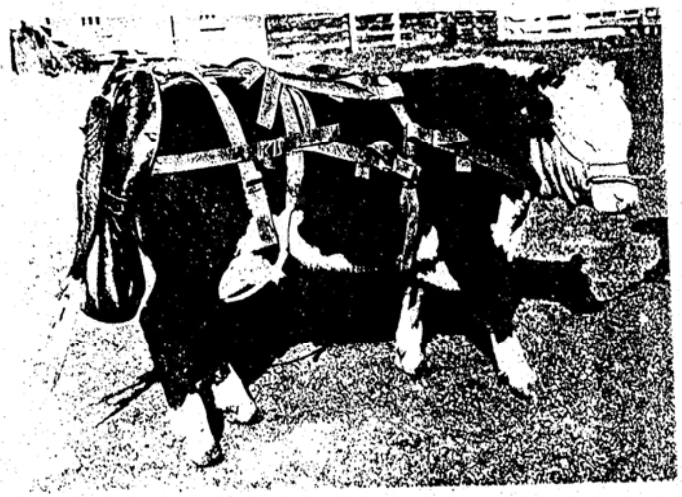
"indicator ที่สัตว์กินเข้าไปต้องถูกถ่ายออกมาหมด"

คุณสมบัติของ indicator

1. ไม่ถูกย่อยและควรจะถูกขับถ่ายออกมาหมด
2. ไม่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร
3. ไม่เป็นพิษ
4. มีอัตราการไหลผ่านระบบทางเดินอาหารสม่ำเสมอ
5. สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ง่ายและแน่นอน







Ex. Indicator เช่น ลิกนิน , chromic oxide (Cr2O3) , ferric oxide

$$\% \text{ การย่อยได้} = \frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร} - \text{วัตถุแห้งในมูล}}{\text{วัตถุแห้งในอาหาร (กรัม)}} = \frac{Cr_2O_3\text{ในอาหาร} \quad Cr_2O_3\text{ในมูล} \times 100}{Cr_2O_3\text{ในอาหาร (กรัม)}}$$

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อย

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (food composition)
2. องค์ประกอบของสูตรอาหาร (ration composition)
3. การเตรียมอาหาร (preparation of foods)
4. ปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวสัตว์ (Animal factor)
5. ระดับของอาหาร (Level of feeding)

2. การหาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (in vitro method) แบ่งออกเป็น 4 วิธี

2.1 ใช้ rumen fluid or rumen liquor หรือ pepsin

2.2 ใช้ pepsin และ cellulose ย่อยแทน rumen liquor

2.3 วิธี nylon bag

2.4 วิธี gas production

ความสำคัญของค่าการย่อยได้ของอาหารในทางปฏิบัติ

โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestion Nutrient)

TDN หมายถึง .....

ประโยชน์ของ TDN

- ประเมินคุณค่าและราคาอาหาร
- วัดค่าพลังงานในอาหาร

การคำนวณหาค่า TDN

$$TDN = D.CP + D.CF + D.NFE + (2.25 \times D.EE)$$

$$\text{Digestion nutrient} = \frac{\% \text{ Nutrient} \times \text{Digestion coefficient}}{100}$$

Ex 1. TDN ของรำข้าว

โภชนะ	%โภชนะ	สัมประสิทธิ์การย่อยได้	โภชนะที่ย่อยได้
CP	12.4	68	
CF	11.6	28	
NFE	39.9	76	
EE	13.6	83	

TDN =

หน่วยของ TDN = ปอนด์ หรือกิโลกรัม หรือเปอร์เซ็นต์

Ex 2. จงหา TDN ของใบกระถินแห้ง

โภชนะ	%โภชนะ	สัมประสิทธิ์การย่อยได้	โภชนะที่ย่อยได้
CP	26.0	64.8	
CF	11.2	44.3	
NFE	8.8	42.7	
EE	45.5	76.3	

TDN =

ข้อดีของการหาค่าพลังงานด้วยระบบ TDN คือ ง่าย

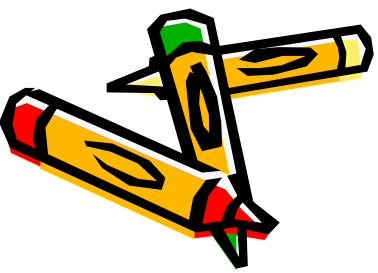
ข้อเสีย

1. ไม่ได้รวมถึงแร่ธาตุและวิตามินที่ย่อยได้
2. ไขมันที่ย่อยได้ต้องคูณด้วย 2.25 ทำให้ค่าพลังงานเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า TDN

1. เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง คือ น้ำในอาหารไม่ได้นำมาคิด เช่น นม
2. การย่อยได้ของวัตถุแห้ง เช่น อาหารเยื่อใย
3. จำนวนแร่ธาตุที่มีอยู่ในวัตถุแห้ง คือ อาหารใดมีแร่ธาตุสูงค่า TDN ต่ำ
4. จำนวนไขมันที่มีอยู่ในวัตถุแห้ง คือ ไขมันสูง TDN อาจสูงเกิน 100

สรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า TDN



- อาหาร
  - น้ำ (ไม่มีค่า TDN)
  - วัตถุแห้ง
    - วัตถุแห้งที่ไม่ย่อย เช่น CP, CF, NFE , EE, Mineral ที่ไม่ย่อย……ไม่มีค่า TDN
    - วัตถุแห้งที่ย่อย
      - CP, CF, NFE, EE ที่ย่อย……..มีค่า TDN
      - Mineral ที่ย่อย …… ไม่มีค่า TDN

ตัวอย่าง TDN ของอาหาร

เมล็ดถั่วเหลือง	มี	TDN	83.1 %
กากน้ำตาล	มี	TDN	73.9 %
ปลาป่น	มี	TDN	68.1 %
รำข้าว	มี	TDN	58.9 %
หญ้าซูดานแห้ง	มี	TDN	53.1 %
หญ้าหมักทำจากต้นข้าวโพดแก่	มี	TDN	20.2 %
นมสด	มี	TDN	16.1 %
แกลบข้าว	มี	TDN	10.0 %

บทที่ 9

พลังงานในอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์

Energy → En = in
Energy → Ergon = work

ความสามารถในการทำงาน
(Ability to do work)

หน่วยของพลังงาน

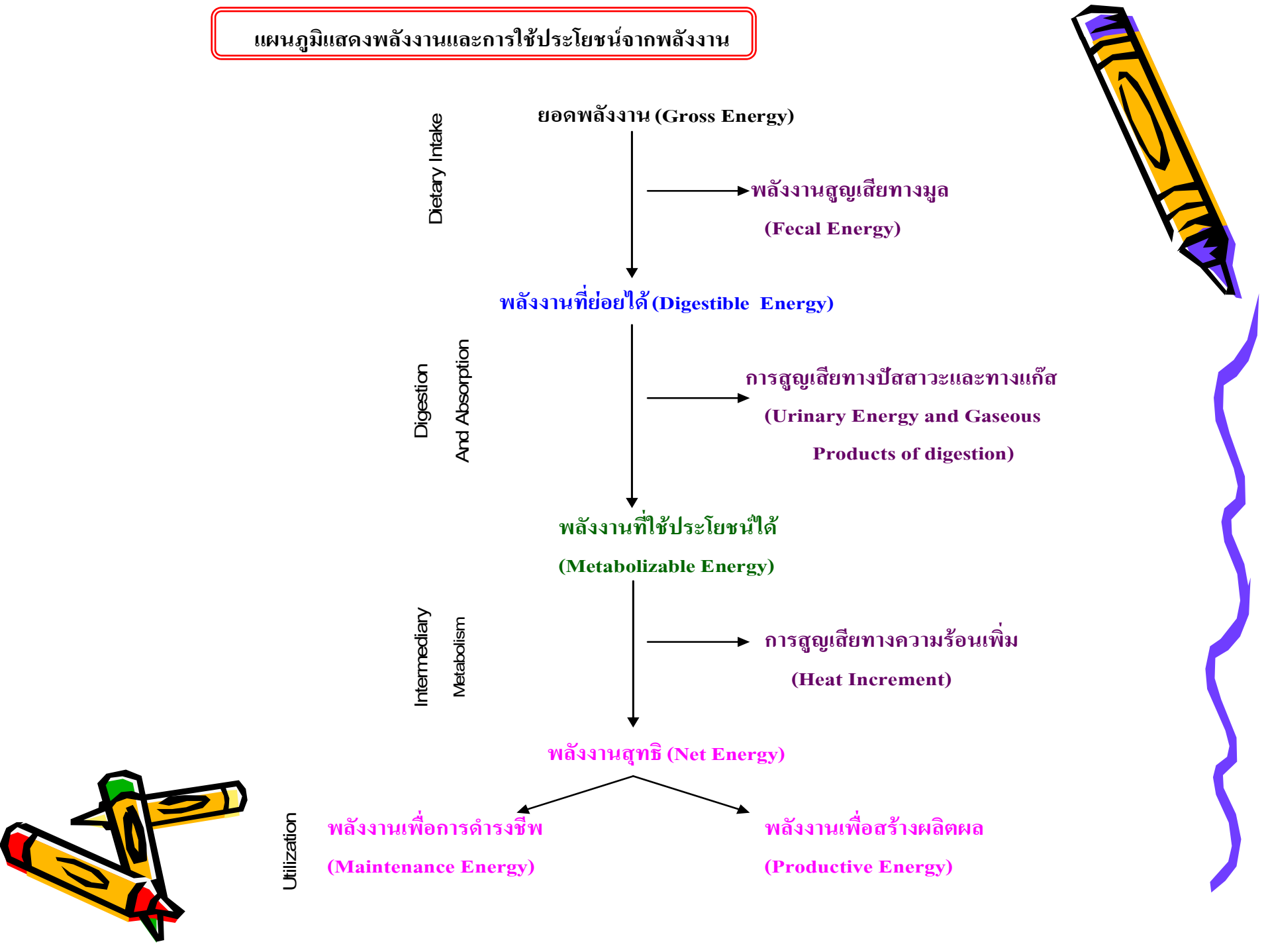
Calorie ; cal , Kilocalorie ; Kcal , Mega calorie ; Mcal

British thermal unit ; BTU → 1 kcal = 4 BTU

BTU = 252 cal.

Joule → 1 cal = 4.184 J และ 1 J = 0.233 cal

แผนภูมิแสดงพลังงานและการใช้ประโยชน์จากพลังงาน



พลังงานในอาหาร

1. พลังงานรวม (Gross energy ; GE) → bomb calorimeter

"heat of combustion"

ตัวอย่างค่า GE ของอาหาร

โปรตีน	=	23.6 KJ	แป้ง	=	17.9 KJ
ไขมัน	=	39.5 KJ	ข้าวโพด	=	18.4 KJ
ฟางข้าวโอ๊ต	=	18.8 KJ			

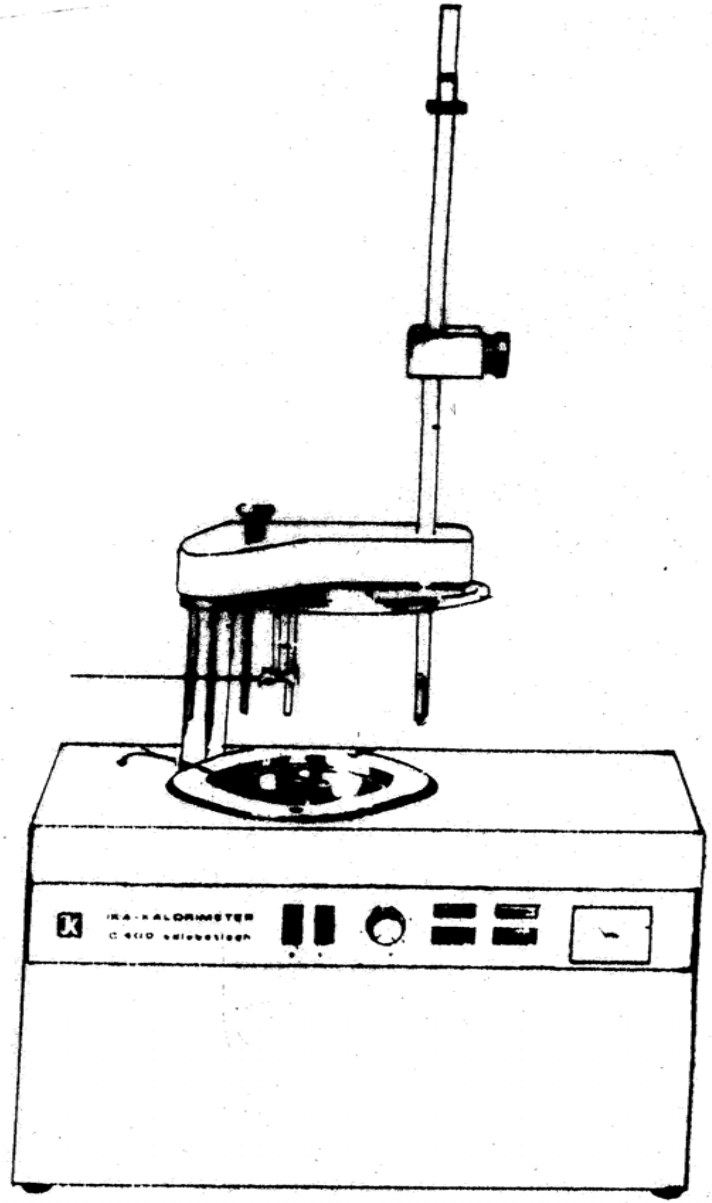
$\therefore\ C_6H_{12}O_6 \rightarrow O \equiv H \rightarrow H2O$

$*O \equiv C$

$C_{57}H_{110}O_6 \rightarrow *O \equiv H$

(tristearin) $*O \equiv C$

* ออกซิเจนจากภายนอก



Adiabatic Bomb Calorimeter

- การเผาผลาญ H 1 กรัมให้พลังงาน > การเผาผลาญ C ที่น้ำหนักเท่ากันถึง 4 เท่า

GE ไม่สามารถบ่งชี้ถึงพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้อย่างแท้จริง

2. พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy ; DE)

DE = GE – FE

หรือ DE = (GE ของอาหาร 1 หน่วยนน.แห้ง x นน.แห้งของอาหาร) - (GE ของมูล 1 หน่วยนน.แห้ง x นน.แห้งของมูล)

Ex สุกรกินอาหารข้นที่มีนน.แห้ง 1.81 กก./วัน อาหารนั้นมีพลังงาน 18.84 MJ/กก. ขับมูลที่มีวัตถุแห้ง 0.45 กก./วัน มูลมีพลังงาน 16.44 MJ/กก. จงหาค่า DE

3. พลังงานเมตะโบไลซ์ (Metabolizable energy ; ME)

ME = DE – UE (-GPD ในกรณีสัตว์เคี้ยวเอื้อง)

หรือ ME = GE – FE - UE (-GPD ในกรณีสัตว์เคี้ยวเอื้อง)

Feeding trial

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า ME

1) ชนิดของสัตว์

2) สมดุลของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอาหาร ลบ , บวก

3) วิธีการเตรียมอาหาร

การคำนวณค่า DE และ ME จากองค์ประกอบของโภชนะ

สุกร → DE = 5.78 DP + 9.42 DEE + 4.40 DFi + 4.47 DNFE

ส.ค.อ. → DE = 5.78 DP + 8.15 DEE + 4.42 DFi + 4.06 DNFE

สุกร → ME = 5.01 DP + 8.95 DEE + 3.44 DFi + 4.08 DNFE

ส.ค.อ. → ME = 4.32 DP + 7.73 DEE + 3.59 DFi + 3.63 DNFE

โดย DE และ ME มีหน่วยเป็น Kcal / kg.

DP = ปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ kcal/kg.

DEE = ปริมาณไขมันที่ย่อยได้ (g/kg.)

DFi = ปริมาณเยื่อใยที่ย่อยได้ (g/kg.)

DNFE = ปริมาณ NFE ที่ย่อยได้ (g/kg.)

ME ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง แปรผันตามอัตราการย่อยได้ คือ

ME = 80% ของ DE ถ้าอาหารมีการย่อยได้ 50%

ME = 88% ของ DE ถ้าอาหารมีการย่อยได้ 80%

เฉลี่ย ME ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ≈ 0.82 ของ DE

4. พลังงานสุทธิ (Net energy , NE)

NE = ME – HI

NE = GE – UE – GPD – HI

4.1 พลังงานสุทธิที่ใช้ในการดำรงชีพ (Net energy for maintenance , NEm) แบ่งออกเป็น

1) Basal metabolism (Bm)

2) Voluntary activity energy (VAE)

3) Heat to keep body warm (HBW) 37 , 38.6 , 39, 41.5 ºC

4) Heat to keep body cool (HBC) สุกร 20-260 ºC

Thermal neutrality = อุณหภูมิของสวล. ซึ่งความร้อนที่ระบายออกเท่ากับความร้อนจำนวนต่ำสุดที่ร่างกายสร้างขึ้น อุณหภูมิของร่างกายจะอยู่ในระดับปกติโดยไม่ต้องปรับอุณหภูมิหรือปรับแต่น้อย (อุณหภูมิที่สัตว์อยู่สบาย)

ปัจจัยที่มีผลต่อ Thermal neutrality

1) อายุสัตว์
2) พันธุ์
3) ความอ้วน-ผอม และการมีขนปกคลุมร่างกาย
4) อาหารที่กิน
5) ความชื้นอากาศ
6) การตากลม

การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

* Physical regulation, Chemical regulation

- การระบายความร้อนออกจากร่างกาย
- การรักษาความร้อนไว้ในร่างกาย

4.2 พลังงานสุทธิที่ใช้เพื่อการผลิต (Net energy for production, NEp)

พลังงานที่สูญเสียไป

1) พลังงานสูญเสียทางมูล (Fecal energy; FE) หมู 20% ของ GE
   ส่วนวัวและแกะ 40-50% กินอาหารหยาบ, 20-30% กินอาหารข้น
2) พลังงานสูญเสียทางปัสสาวะ (Urinary energy; UE)
   สัตว์เคี้ยวเอื้อง ~ 3-5% ของ GE

3) พลังงานสูญเสียทางก๊าซ (Gaseous energy) มีเทน (CH_4)
สัตว์เคี้ยวเอื้อง < 10% ของ GE

4) พลังงานสูญเสียทางความร้อนเพิ่ม (Heat increment , HI)
44% เมื่อเทียบกับการเผากลูโคสใน bomb calorimeter

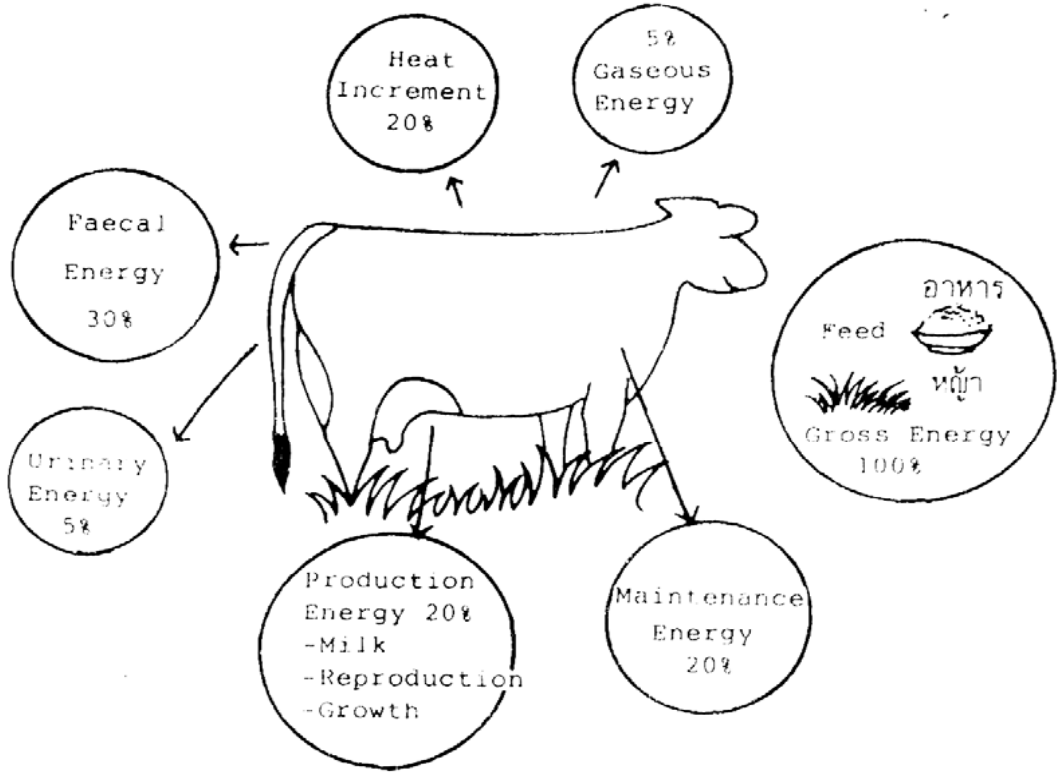
Heat of fermentation , HF ≈ 5-10% ของ GE

Apparent DE → DE = GE – FE

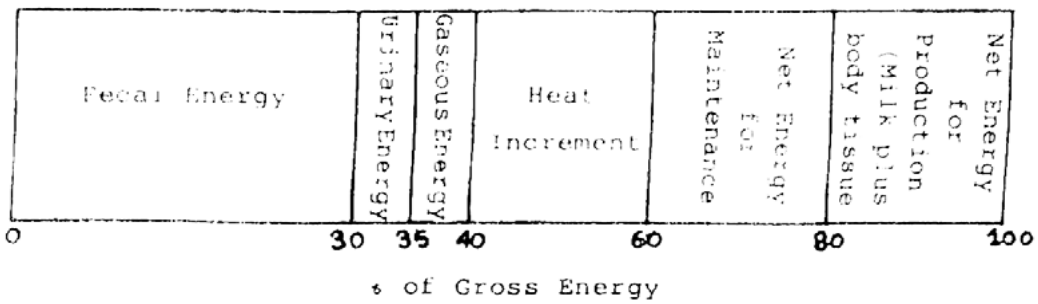
True DE → DE = GE – FE – HF – GPD

เปรียบเทียบค่า TDN , DE , ME และ NE

ความถูกต้องแม่นยำที่สุด → NE → ME → TDN → DE



ภาพที่ แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อการต่างๆ ในวัวนม



แผนภาพที่ ลำดับการสูญเสียและการใช้พลังงานเพื่อการต่างๆ

บทที่ 10

การคำนวณสูตรอาหารเบื้องต้น

1. หลักเกณฑ์ประกอบในการคำนวณสูตรอาหาร

1.1 ต้องทราบความต้องการอาหารของสัตว์แต่ละชนิด

1.2 คำนวณวัตถุแห้ง โปรตีน พลังงาน แคลเซี่ยม ฟอสฟอรัส และแคโรทีน หรือวิตามิน เอ

1.3 ต้องทราบค่าโภชนะต่างๆที่มีอยู่ในอาหาร

1.4 เลือกอาหารที่จะใช้ผสมในสูตรอาหารให้ถูกต้อง

1.5 จัดสัดส่วนวัตถุดิบให้เหมาะสม เช่น ให้มีอาหารพลังงาน 70 – 75 % โปรตีน 20% แร่ธาตุ ไวตามินอื่น ๆ 5 – 10 % โปรตีนนั้นควรเป็นโปรตีนจากสัตว์ไม่น้อยกว่า 10 %

1.6 เมื่อคำนวณสูตรอาหารออกมาแล้ว ต้องมีโภชนะต่างๆ ตรงตามความต้องการของสัตว์

- ควรมีโภชนะต่างๆไม่ต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่สัตว์ต้องการมากกว่า 3%
- ควรมีพลังงานไม่เกินกว่าความต้องการมากกว่า 5% เพราะสัตว์มีความสามารถใช้พลังงานได้จำกัด
- มี Caและ P มากพอกับความต้องการและให้มีอัตราส่วน C: P ระหว่าง 1: 1 และ 2: 1
- จำนวนแคโรทีนที่คำนวณได้อาจมีมากเกินความต้องการของสัตว์ บางครั้งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่แคโรทีนถึงจะมีมากก็ไม่เกิดอันตรายต่อสัตว์
- DM ไม่ควรเกิน 3 %

2. วิธีต่างๆในการคำนวณสูตรอาหาร

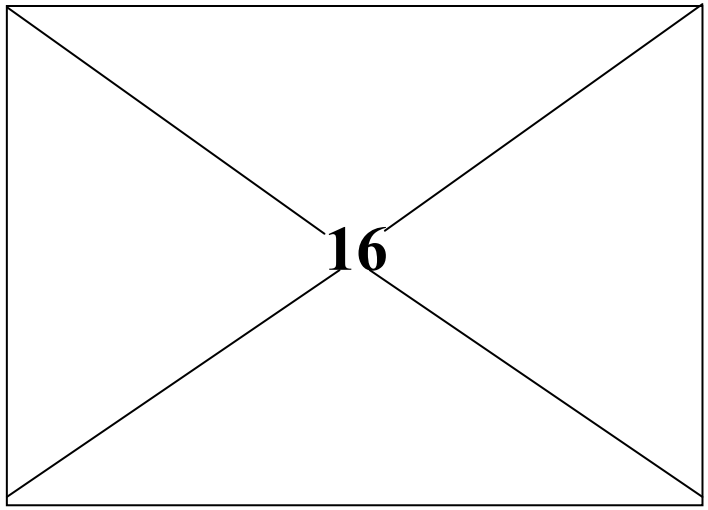
2.1 การคำนวณโดยใช้รูปสี่เหลี่ยมของเพียสัน (Peason ‘s Square Method)

2.1.1 เมื่อใช้อาหารเพียงสองชนิด

<u>ตัวอย่าง</u> กสิกรผู้เลี้ยงสุกรต้องการผสมอาหารโดยการใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) ผสมกับอาหารเสริม (40 % โปรตีน) เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้อาหารที่มีโปรตีน 16 % ถ้ากสิกรผสมอาหาร 100 กิโลกรัม จะต้องใช้ข้าวโพด และอาหารเสริมอย่างละกี่กิโลกรัม

ข้าวโพด 8.8

40-16= 24



อาหารเสริม 40

16-8.8=7.2

24+7.2=31.2

คำนวณการใช้อาหารแต่ละชนิด

ใช้ข้าวโพด = $\frac{24}{31.2} \times 100 = 76.92$ ก.ก.

ใช้อาหารเสริม = $\frac{7.1}{31.2} \times 100 = 23.08$ ก.ก.

หรือใช้อาหารเสริม = 100 – 76.92 ก.ก.

= 23.08 ก.ก.

ตรวจสอบว่าการคำนวณถูกต้องหรือไม่ ดังต่อไปนี้

ข้าวโพดให้โปรตีน = $\frac{76.92 \times 8.8}{100}$ = 6.77 %

อาหารเสริมให้โปรตีน = $\frac{23.08 \times 40}{100}$ = 9.23 %

16.00 %

แสดงว่าการคำนวณถูกต้อง

2.1.2 เมื่อใช้อาหารสามชนิดหรือมากกว่าสามชนิด

ตัวอย่าง กสิกรต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน), รำข้าว (12% CP) และอาหารเสริม (40% CP) เมื่อผสมอาหารทั้งสามชนิดเข้าด้วยกันแล้วให้ได้โปรตีน 14% (ใช้ข้าวโพด: รำข้าว = 2: 1)อยากทราบว่าจะต้องใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

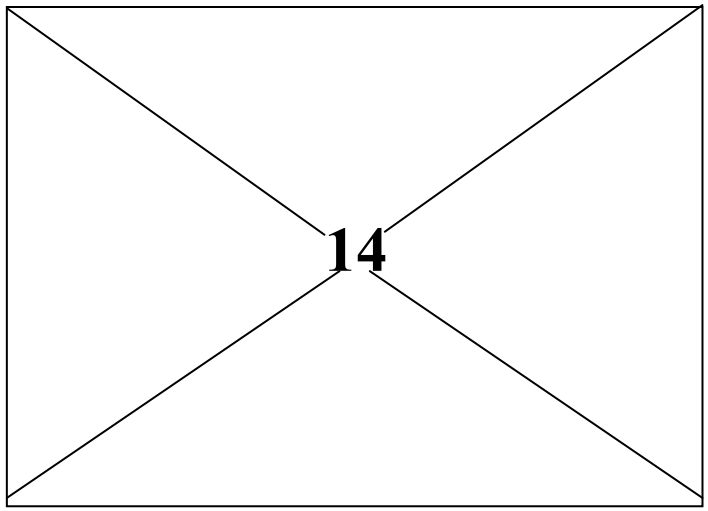
วิธีทำ หาส่วนผสมระหว่างข้าวโพด และรำข้าวเสียก่อนว่ามีโปรตีนกี่เปอร์เซ็นต์

ข้าวโพดมีโปรตีน	2	×	8.8 =	17.6
รำข้าวมีโปรตีน	1	×	12 =	12.0
			รวม =	29.6 ÷ 3

ข้าวโพด + รำข้าวมีโปรตีน = 9.87 %

1.รำข้าว

2.ข้าวโพด 9.8



40-14= 26

อาหารเสริม 40

14-9.8=4.13

26+4.13=30.13

คำนวณการใช้อาหารแต่ละชนิด

ใช้ข้าวโพด + รำข้าว = $\frac{26}{30.13} \times 100$ = 86.29 ก.ก.

ใช้อาหารเสริม = 100 – 86.29 = 13.71 ก.ก.

ใช้ข้าวโพด = $\frac{2}{3} \times 86.29$ = 57.53 ก.ก.

ใช้รำข้าว = $\frac{1}{3} \times 86.29$ = 28.76 ก.ก.

ตรวจสอบการคำนวณ

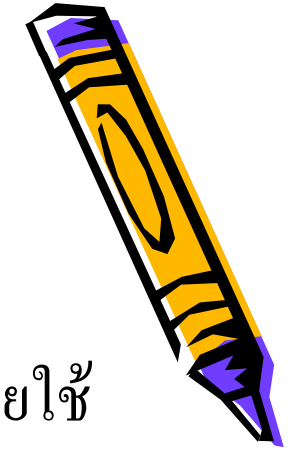
ข้าวโพดให้โปรตีน = $\frac{57.53 \times 8.8}{100}$ = 5.063 %

รำข้าวให้โปรตีน = $\frac{28.76 \times 12}{100}$ = 3.451 %

อาหารเสริมให้โปรตีน = $\frac{13.71 \times 40}{100}$ = 5.484 %

รวม = 13.998 %

หรือ = 14 %



ตัวอย่าง ต้องการผสมอาหารเลี้ยงโคเนื้อให้มีโปรตีน 12 % โดยใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) หญ้าแห้ง (9.0 % โปรตีน) , และกากถั่วเหลือง (45.8 % โปรตีน) ผสมอาหาร 100 กิโลกรัม อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด (กำหนดให้ใช้ข้าวโพด : หญ้าแห้ง = 4 : 1)

2 .2 การคำนวณโดยวิธีพีชคณิต (Algebratic Method)

2.2.1 เมื่อใช้อาหารเพียงสองชนิด

<u>ตัวอย่าง</u> กสิกรผู้เลี้ยงสุกรต้องการผสมอาหารโดยการใช้ข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) ผสมกับอาหารเสริม (40 %โปรตีน) เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้อาหารที่มีโปรตีน 16% ถ้ากสิกรผสมอาหาร 100 กิโลกรัม จะต้องใช้ข้าวโพดและอาหารเสริมอย่างละกี่กิโลกรัม

วิธีคำนวณ

X = กิโลกรัมข้าวโพด / 100กิโลกรัมอาหารผสม

Y = กิโลกรัมอาหารเสริม / 100 กิโลกรัมอาหารผสม

$X + Y = 100$ ---------- (1)

$0.088\ X + 0.40\ Y = 16.0$ (กก.โปรตีน / 100กก.อาหารผสม) --------- (2)

(1) คูณด้วย 0.088

$0.088\ X + 0.088\ Y = 8.8$ ---------- (3)

(2) – (3) $0.312\ Y = 7.2$

$Y = 23.08$

$X = 100 - 23.08 = 76.92$

ใช้ข้าวโพด = 76.92 กิโลกรัม

ใช้อาหารเสริม = 23.08 กิโลกรัม

2.2.2 เมื่อให้อาหารสามชนิดหรือมากกว่าสามชนิด

<u>ตัวอย่าง</u> กสิกรต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้ข้าวโพด (8.8 %โปรตีน) , รำข้าว (12 %โปรตีน) , และอาหารเสริม (40 % โปรตีน) เมื่อผสมอาหารทั้งสามชนิดเข้าด้วยกันแล้วให้ได้โปรตีน 14% (ใช้ข้าวโพด :รำข้าว = 2 : 1) อยากทราบว่าจะต้องใช้อาหารแต่ละชนิด เป็นจำนวนเท่าใด

วิธีคำนวณ

X = กก. ข้าวโพด + กก.รำข้าว / 100 กก.อาหารผสม

Y = กก. อาหารเสริม / 100 กก.อาหารผสม

$$X + Y = 100 \quad \text{---------- (1)}$$

หาสัดส่วนของโปรตีนจากข้าวโพดและรำข้าว

$$\frac{[(2 \times 8.8) + (1 \times 12)]}{3} / 100X + 0.40\,Y = 14 \quad \text{---------- (2)}$$

$$0.0987\,X + 0.40\,Y = 14 \quad \text{---------- (3)}$$

(1) คูณด้วย 0.0987

$$0.0987\,X + 0.0987\,Y = 9.87 \quad \text{---------- (4)}$$

$(3) - (4) \quad 0.3013\,Y = 4.13$

$$Y = \frac{4.13}{0.3013} = 13.71$$

$$X = 100 - 13.71 = 86.29$$

$\therefore$ ใช้ข้าวโพด $\frac{2}{3} \times 86.29 = 57.53$ กิโลกรัม

ใช้รำข้าว $\frac{1}{3} \times 86.29 = 28.76$ กิโลกรัม

ใช้อาหารเสริม = 13.71 กิโลกรัม

2.2.3 เมื่อกำหนดจำนวนอาหารบางชนิด

<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม ให้มีโปรตีน 14% โดยให้อาหารที่ผสมนั้นมีรำข้าว 17 % (11.7 % โปรตีน) และมีไวตามิน 3 % ส่วนที่เหลือเป็นข้าวโพด (8.8 % โปรตีน) และกากถั่วเหลือง (44 % โปรตีน) อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

วิธีทำ

17 กิโลกรัมของรำข้าวให้โปรตีน 17 x 0.117 = 1.99

3 กิโลกรัมของวิตามินให้โปรตีน 3 x 0 = 0

20 กิโลกรัมของรำข้าวและวิตามินมีโปรตีน 1.99

ยังขาดโปรตีนอยู่ 14 - 1.99 = 12.01

โดยโปรตีนจาก 12.01 กก. ต้องหาจาก 100-20 = 80 กก.

X = กิโลกรัมข้าวโพด

80 – X = กิโลกรัมถั่วเหลือง

$$X(0.088) + (80 - X)(0.44) = 12.01$$

$$0.088X - 0.44X + 35.2 = 12.01$$

$$0.088X - 0.44X = 12.01 - 35.2$$

$$-0.352X = -23.19$$

$$X = \frac{23.19}{0.352}$$

$$X = 65.88 \text{ กก.}$$

$\therefore$ ใช้ข้าวโพด = 65.88 กก.

ใช้กากถั่วเหลือง = 80 – 65.88

= 14.12 กก.

ตรวจสอบการคำนวณ

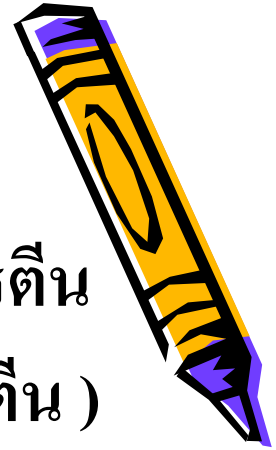
ใช้ข้าวโพด 65.88 กิโลกรัม ให้โปรตีน = 65.88 x 0.088 = 5.80

กากถั่วเหลือง 14.12 กิโลกรัม ให้โปรตีน = 14.12 x 0.44 = 6.21

รำข้าว 17 กิโลกรัม ให้โปรตีน = 17 x 0.117 = 1.99

ไวตามิน 3 กิโลกรัม ให้โปรตีน = 3 x 0 = 0

รวม 100 กิโลกรัม มีโปรตีน 14 %



<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม ให้มีโปรตีน 15% โดยให้อาหารที่ผสมนั้นมีรำข้าว 20 % (11.7 % โปรตีน) และมีไวตามิน 4 % ส่วนที่เหลือเป็นข้าวโพด (8.6 % โปรตีน) และกากถั่วเหลือง (41 % โปรตีน) อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด

<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการผสมอาหารจำนวน 100 กิโลกรัม ให้มีโปรตีน 16% โดยให้อาหารที่ผสมนั้นมีรำข้าว 19 % (11.7 % โปรตีน) และมีไวตามิน 2 % ส่วนที่เหลือเป็นข้าวโพด (8 % โปรตีน) และกากถั่วเหลือง (40 % โปรตีน) อยากทราบว่าจะใช้อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด