บทที่ 6

ระบบย่อยอาหาร

Digestive system

ระบบย่อยอาหารมีความสำคัญต่อร่างกาย เนื่องจากสัตว์ต้องใช้โภชนะจากอาหารที่กินในขบวนการทางเคมีต่างๆ ในร่างกาย เพื่อสร้างพลังงานในการดำรงชีพและให้ผลผลิต ระบบย่อยอาหารจะเกี่ยวข้องกับการกินอาหาร หรือนำอาหารเข้าสู่ปาก (ingestion or prehention) การย่อยอาหาร (digestion) การดูดซึมโภชนะ (digestion) และการขับถ่ายของเสีย (excretion) ออกจากร่างกาย อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะเคลื่อนที่ผ่านท่อทางเดินอาหารส่วนต่าง ๆ (gastrointestinal tract or alimentary tract) โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบรอบท่อทางเดินอาหาร และในขณะที่อาหารเคลื่อนที่ผ่านท่อทางเดินอาหารแต่ละส่วนนั้น จะเกิดการย่อยอาหารทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งโภชนะต่างๆ ในอาหารสามารถดูดซึม (absorption) ผ่านเข้าเส้นเลือดดำ (hepatic portal vein) เพื่อไปที่ตับ จากนั้นจึงถูกส่งไปที่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปโดยผ่านระบบไหลเวียนของเลือด อาหารส่วนที่ไม่ย่อยจะถูกขับออกจากร่างกายทางลำไส้ใหญ่ในรูปของมูล (feces)

**1.กายวิภาคของระบบย่อยอาหาร**

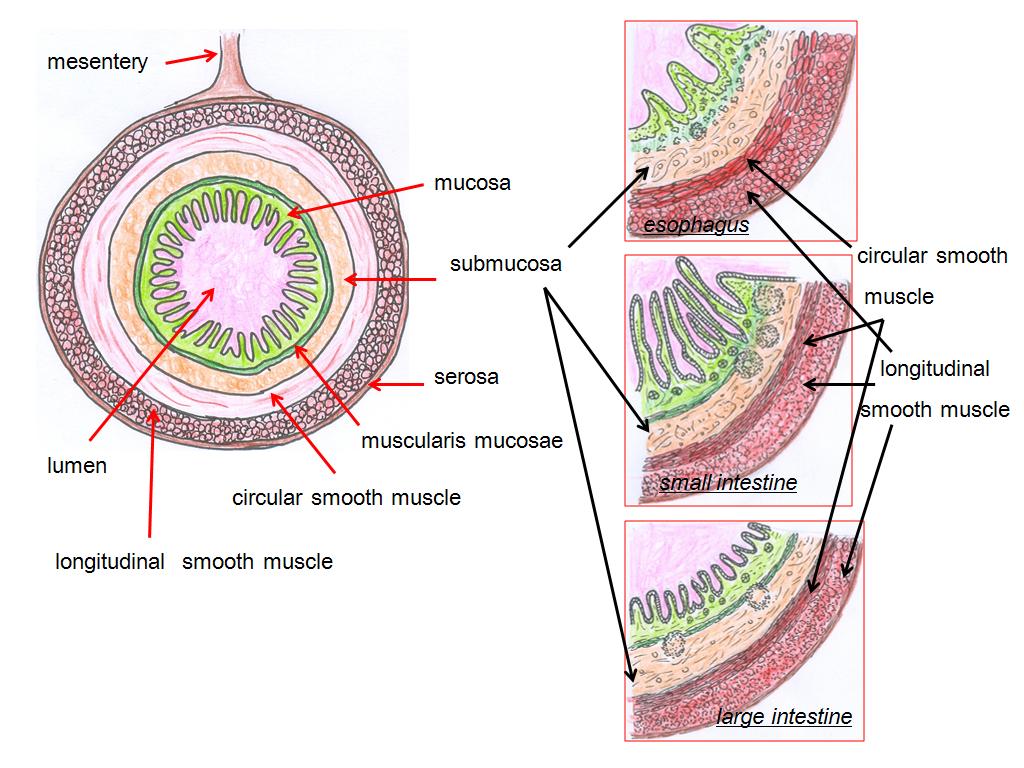
ระบบย่อยอาหารในสัตว์เศรษฐกิจทุกชนิดประกอบด้วยอวัยวะย่อยอาหาร คือท่อทางเดินอาหารที่มีลักษณะเป็นท่อยาว และอวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร เช่น ต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน เป็นต้น

# 1.1 กายวิภาคของท่อทางเดินอาหาร

ท่อทางเดินอาหาร มีลักษณะเป็นท่อยาว เริ่มต้นจากช่องปาก (mouth cavity) ไปสิ้นสุดที่ช่องทวารหนัก (anus) โครงสร้างพื้นฐานของท่อทางเดินอาหารประกอบด้วยผนัง 4 ชั้น คือ ชั้นเยื่อเมือก (mucous membrane or mucosa) ชั้นใต้เยื่อเมือก (submucosa) ชั้นกล้ามเนื้อ (muscularis externa) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) และชั้นเซโรซา หรือชั้นเยื่อบุผิวด้านนอก (serosa membrane) ท่อทางเดินอาหารแต่ละส่วนของจะมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกัน จะแตกต่างกันที่ขนาด ความยาวรูปร่าง และความหนาของผนังแต่ละชั้น ในสัตว์เศรษฐกิจ เช่น โค สุกร และสัตว์ปีก นอกจากท่อทางเดินอาหารแต่ละส่วนจะมีขนาดความจุที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีการพัฒนาที่แตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของอาหารที่สัตว์กินด้วย จึงสามารถแบ่งประเภทของสัตว์ออกตามลักษณะของท่อทางเดินอาหารได้เป็น 2 ประเภท คือ

**ก. สัตว์กระเพาะเดี่ยว หรือ สัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง (simple stomach or non ruminant)** ท่อทางเดินอาหารมีการพัฒนาแบบง่าย ๆ ไม่ยุ่งยาก ได้แก่ ท่อทางเดินอาหารของสัตว์กินเนื้อ (carnivorous) รวมทั้งสัตว์ที่กินเนื้อและเมล็ดธัญพืช (omnivorous) เช่น สุนัข แมว สุกร สัตว์ปีก กระต่าย และ ม้า เป็นต้น

**ข. สัตว์กระเพาะรวม หรือ สัตว์เคี้ยวเอื้อง (compound stomach or ruminant)** ท่อทางเดินอาหารมีการพัฒนามากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการกินอาหารที่มีเยื่อใยสูง และ มีความฟ่าม ได้แก่ โค กระบือ แพะ และ แกะ ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะขนาดใหญ่ ภายในกระเพาะมีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องที่กับการย่อยอาหารประเภทเยื่อใยอาศัยอยู่มากมาย



**ภาพที่ 6.1** โครงสร้างพื้นฐานของท่อทางเดินอาหาร

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Reece (1997) และ Frandson et al. (2009)

**ตารางที่ 6.1**  ความจุของท่อทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ในสัตว์เศรษฐกิจ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ชนิดของสัตว์** | **ความจุของส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหาร (%)** | | | |
| **กระเพาะ** | **ลำไส้เล็ก** | **ไส้ติ่ง** | **โคล่อนและไส้ตรง** |
| **โค** | 71 | 18 | 3 | 8 |
| **แพะ และ แกะ** | 67 | 21 | 2 | 10 |
| **ม้า** | 9 | 30 | 16 | 45 |
| **สุกร** | 27 | 33 | 6 | 32 |

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Pond *et al.* (1995)

* + 1. **ส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหาร**

1. **ปาก (mouth)** เป็นส่วนแรกของท่อทางเดินอาหาร เมื่อนำอาหารเข้ามาในปากจะเกิดการเคี้ยวอาหาร (mastication) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค-กระบือ จะมีการเคี้ยวเอื้อง (rumination) เกิดขึ้นในปากด้วย การเคี้ยวอาหารและการเคี้ยวเอื้องทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง ในขณะที่เคี้ยวอาหารต่อมน้ำลายจะหลั่งน้ำลาย (salivation) เพื่อคลุกเคล้าอาหาร ทำให้อาหารอ่อนนุ่มและสะดวกในการกลืน ปากของสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการกินอาหาร เช่น ม้ามีริมฝีปากที่อ่อนนุ่มจึงใช้ทั้งริมฝีปากบนและริมฝีปากล่าง (upper and lower lips) ในการนำอาหารเข้าปาก จากนั้นจึงใช้ฟันหน้า (incisor teeth) ตัดหรือกัดหญ้าให้ขาด ม้าจึงกินหญ้าได้ต่ำหรือติดดินมากกว่า ส่วนโค-กระบือจะใช้ลิ้นในการนำอาหารเข้าสู่ปาก แล้วใช้ส่วนของฟันตัดด้านล่างร่วมกับแผ่นเหงือก (dental pad) ร่วมกันในการตัดชิ้นอาหาร

ส่วนประกอบของปาก คือ ริมฝีปาก (lips) ลิ้น (tongue) ฟัน (teeth) เพดานปาก (palate) และ ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ภายในช่องปากจะมีความชุ่มชื้นตลอดเวลา เนื่องจากชั้นเยื่อเมือกภายในปากมีเซลล์เยื่อบุผิว และต่อมสร้างน้ำเมือกใสที่ผลิตของเหลว หรือน้ำเมือกตลอดเวลา ช่องว่างในปากแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่องว่างที่ติดต่อกับหลอดคอ (mouth cavity) เป็นช่องว่างที่อยู่ระหว่างฟันบดและฟันกรามด้านซ้ายและด้านขวา และช่องว่างที่อยู่ระหว่างฟันกรามและแก้ม รวมถึงช่องว่างระหว่างฟันตัดกับริมฝีปาก ช่องปากและช่องจมูกจะแยกออกจากกันด้วยเพดานแข็ง (hard palate) สำหรับเพดานอ่อน (soft palate) คือ ส่วนที่ต่อจากเพดานแข็งที่ใช้แยกช่องปากออกจากหลอดคอ (pharynx) อาหารที่อยู่ในช่องปากจะมีการเคลื่อนไหวโดยการเคี้ยว และการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลาย เพื่อเป็นการเตรียมอาหาร แล้วกลืนก้อนอาหารผ่านหลอดคอเข้าสู่หลอดอาหารต่อไป การเคี้ยวอาหารในปากจะใช้ฟันบดและฟันกรามทำงานร่วมกัน รวมทั้งใช้กล้ามเนื้อแก้มซึ่งทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ ในปากของสัตว์เลี้ยงมีการเคี้ยวอาหารแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเคี้ยวแบบขึ้นลง (vertical movement) เช่น การเคี้ยวอาหารในสุกรและม้า และการเคี้ยวอาหารแบบแนวนอน (horizontal movement or lateral movement) เช่น ในโค กระบือแพ**ะ** และ แกะ เป็นต้น

**-ริมฝีปาก**  **(lips)** เป็นส่วนที่อยู่โดยรอบช่องปาก ทำหน้าที่ช่วยในการนำอาหารเข้าปาก ในลูกสัตว์จะใช้ริมฝีปากช่วยในการดูดนม ริมปีปากของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดมีรูปร่างแตกต่างกันไป ขึ้นกับลักษณะอาหารที่กิน ในสุกรมีริมฝีปากที่แข็งมาก เรียกว่า สเน๊าต์ (scout) ใช้ในการขุดคุ้ยอาหาร ส่วนในม้าและแกะมีริมฝีกปากที่อ่อนนิ่มและมีความยืดหยุ่นดี จึงใช้ช่วยในการแทะเล็มหญ้า และใช้นำหญ้าเข้าปาก แต่ในสัตว์ปีกไม่มีริมฝีปาก ฟันและแก้ม จึงใช้จงอยปาก (beak) เป็นอวัยวะในการจับอาหารเข้าปาก ส่วนปลายของจงอยปากที่แหลมคมจะใช้ในการจิกและฉีกอาหารเป็นชิ้นเพื่อนำอาหารเข้าปาก แต่สัตว์ปีกที่หากินในน้ำเช่น เป็ดและห่าน จงอยปากจะแบนและบริเวณขอบจงอยปากจะมีลักษณะคล้ายฟันเลื่อย ใช้จับเหยื่อไม่ให้ไหลลื่นออกจากปาก

**- ต่อมน้ำลาย** **(salivary glands)** เป็นอวัยวะช่วยย่อยอาหารชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่ผลิตน้ำลายเพื่อคลุกเคล้าอาหาร ช่วยให้อาหารอ่อนนุ่มสะดวกในการกลืน น้ำลายในสัตว์เลี้ยงบางชนิด เช่น สุกร สุนัข และไก่ จะมีเอ็นไซม์ไทยาลิน (ptyalin) ทำหน้าที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลโตส (maltose) น้ำลายมีน้ำเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ โดยส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วยโปรตีนและแร่ธาตุหลายชนิด การหลั่งน้ำลายเกิดจากการมีอาหาร หรือสิ่งอื่นๆเข้าไปในปาก ทำให้ปลายประสาทรับความรู้สึก (receptor) ที่อยู่ภายในช่องปาก รับความรู้สึก แล้วส่งกระแสความรู้สึกหรือกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 (facial nerve) เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (glossopharyngeal nerve) และเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) ไปยังศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายที่สมองในส่วนเมดูล่าร์ออพลองกาต้า (medulla oblongata) ศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายจึงส่งคำสั่งมาที่ต่อมน้ำลาย ทำให้หลั่งน้ำลายออกมาคลุกเคล้าอาหารในปาก ต่อมน้ำลายมีทั้งต่อมเดี่ยวและต่อมคู่ ต่อมน้ำลายประเภทต่อมเดี่ยวที่ผลิตน้ำลาย ได้แก่ ต่อมน้ำลายข้างแก้ม (buccal glands) และต่อมน้ำลายข้างริมฝีปาก (labial glands) เป็นต้น ต่อมน้ำลายที่เป็นต่อมคู่มี 3 คู่ด้วยกัน คือ

**ก. ต่อมน้ำลายกกหู (parotid glands)** ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะกึ่งเหลว (mixed type) เกี่ยวข้องกับการคลุกเคล้าอาหาร เพื่อทำให้อาหารอ่อนนุ่ม

**ข. ต่อมน้ำลายใต้โคนลิ้น (sublingual glands)** ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีเอ็นไซม์ไทยาลินเป็นส่วนประกอบ จึงช่วยในการย่อยอาหารประเภทแป้ง

**ค. ต่อมน้ำลายที่อยู่ระหว่างขากรรไกรล่าง (submaxillary gland)** เป็นต่อมน้ำลายที่อยู่ใต้ต่อมน้ำลายกกหู ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะข้น หรือน้ำเมือก (mucous type) ประกอบด้วยสารมิวซิน (mucin) ที่เป็นโปรตีน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งกินอาหารหยาบเป็นอาหารหลัก มักจะผลิตน้ำลายได้มากกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่กินเนื้อและสัตว์ที่กินทั้งเนื้อและธัญพืช เนื่องจากน้ำลายมีคุณสมบัติพิเศษในการควบคุมค่าความเป็นกรด -ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก (rumen fluid) นอกจากนี้ยังช่วยรักษาปริมาณของของเหลวในกระเพาะหมักให้เกิดความสมดุล และช่วยป้องกันโรคท้องอืด (bloat) ได้

**หน้าที่ของน้ำลาย คือ**

* ทำให้ชั้นเยื่อเมือกและริมฝีปากด้านในมีความชุ่มชื้นตลอดเวลา
* ช่วยคลุกเคล้าอาหาร ทำให้อาหารเป็นก้อนอ่อนนุ่ม สะดวกในการเคี้ยวและกลืน
* ในสัตว์บางชนิดน้ำลายมีเอ็นไซม์ย่อยอาหารพวกแป้ง บางชนิดมีเอ็นไซม์ย่อยไขมัน
* ช่วยปรับสมดุลของค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง
* ช่วยชะล้างเศษอาหารและฆ่าเชื้อโรคในช่องปาก (antibacterial action)
* เกี่ยวข้องกับการรักษาปริมาณของของเหลวภายในกระเพาะหมัก
* เป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เช่น ยูเรีย และสารมิวซิน

**- ฟัน** **(teeth)** เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของกระดูกขากรรไกร ทำหน้าที่ในการจับชิ้นอาหาร และการเคี้ยวอาหาร ในสัตว์บางชนิดจะใช้ฟัน (canine) หรือเขี้ยว เป็นอาวุธในการต่อสู้ แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ฟันตัด (incisor) ด้านหน้าล่างในการทำนายอายุได้ สัตว์เลี้ยงทุกชนิดมีฟัน 2 ชุด คือ ฟันน้ำนม (decidous teeth) และ ฟันแท้ (permanent teeth)

**ก. ฟันน้ำนม** หมายถึง ฟันชุดที่งอกขึ้นมาตั้งแต่แรกเกิด เมื่อฟันน้ำนมหลุดออก จะมีฟันแท้งอกขึ้นมาแทนที่

**ข. ฟันแท้** หมายถึงฟันชุดที่เจริญขึ้นมาแทนที่ฟันน้ำนมเมื่อสัตว์เจริญเติบโต ฟันแท้จะมีความแข็งแรงและมีขนาดใหญ่กว่าฟันน้ำนม สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

- ฟันหน้า หรือฟันตัด (incisor teeth) เป็นฟันที่อยู่ด้านหน้าของกระดูกแมนดิเบิล (mandible) และกระดูกพรีแมกซิลลารี (premaxillary) หรืออยู่ที่ด้านหน้าของขากรรไกรบนและขากรรไกรล่าง ในโค-กระบือ จะใช้การงอกของฟันแท้ของชุดฟันตัดด้านล่างในการทำนายอายุได้

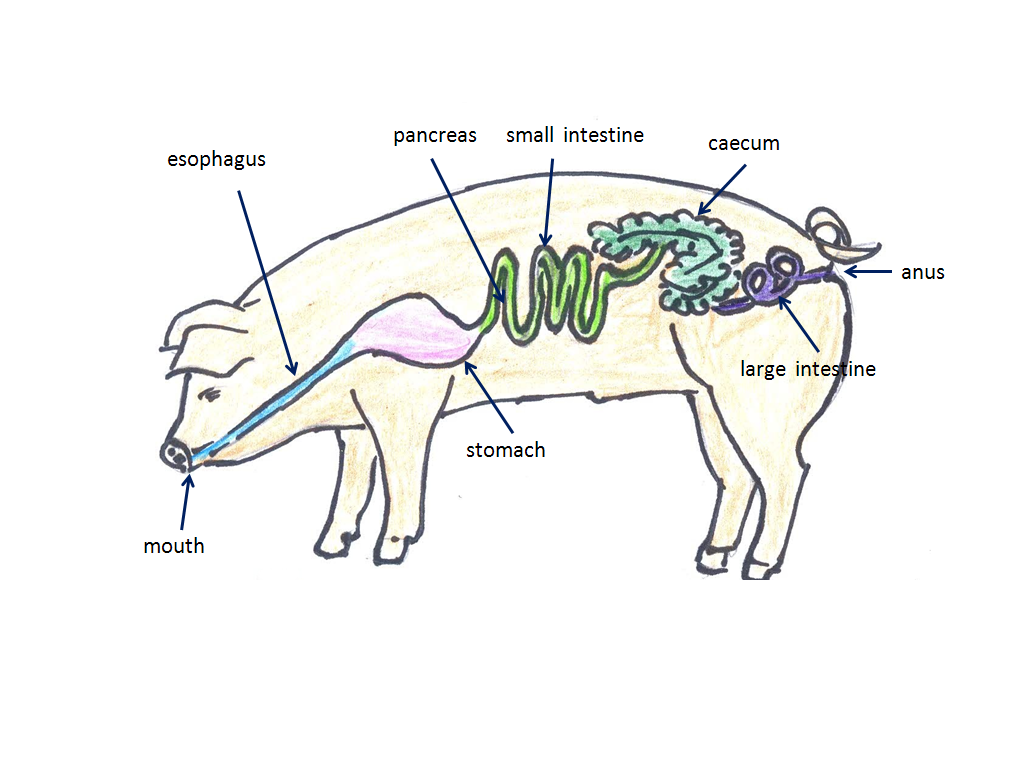
- ฟันเขี้ยว (canine) เป็นฟันที่อยู่ด้านข้างของฟันตัด โดยทั่วไปจะมีจำนวน 1 คู่ พบในแต่ละข้างของขากรรไกร ในสัตว์เคี้ยวเอื้องและแม่ม้าจะไม่มีฟันชุดนี้

- ฟันกรามหรือฟันแก้ม (check teeth) เป็นฟันที่อยู่ถัดจากฟันเขี้ยวทั้ง 2 ข้างของขากรรไกรบนและล่าง มีอยู่ 2 ชนิดคือ ฟันกรามหน้า (premolar) และฟันกรามหลัง (molar)

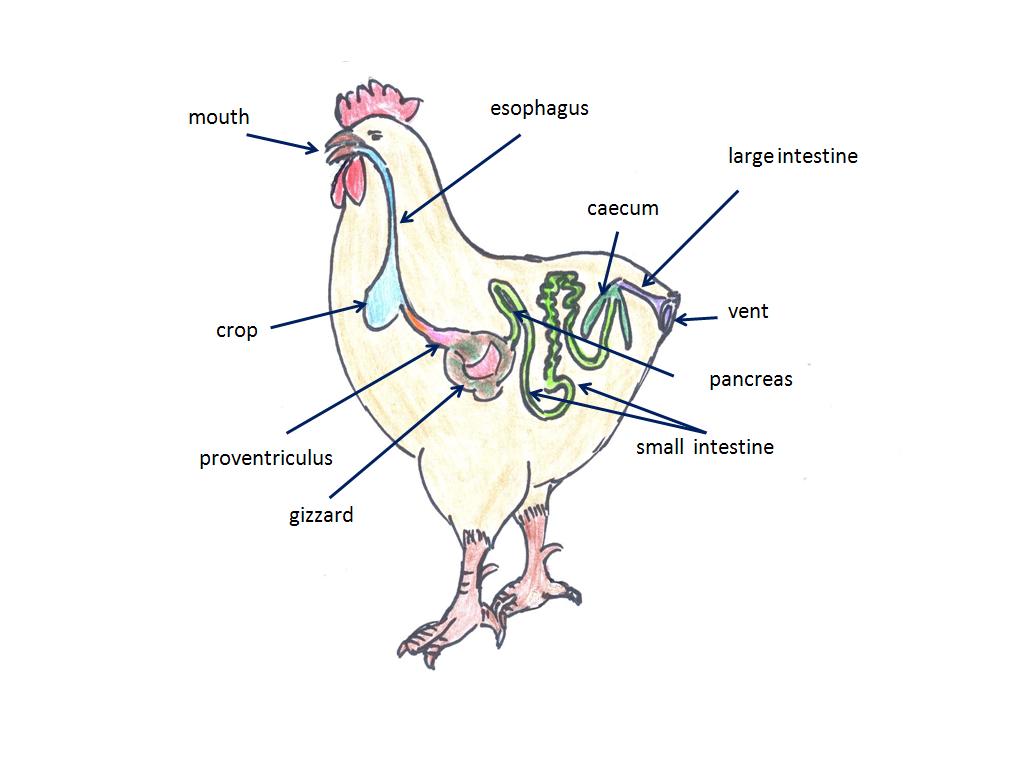
**ตารางที่** **6.2** จำนวนของฟันแท้ในสัตว์แต่ละชนิด (1 ข้าง)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ม้า** | | | | **โค** | | | | **แกะ** | | | | **สุกร** | | | |
| I | C | P | M | I | C | P | M | I | C | P | M | I | C | P | M |
| 3 | 1 | 3-4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 4 | 0 | 3 | 3 | 4 | 0 | 3 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 |
| **แสดงอายุของการงอกของฟันแท้ (การหลุดของฟันน้ำนม) ในสัตว์ฟาร์ม** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ม้า** | | | | **โค** | | | | **แกะ** | | | | **สุกร** | | | |
| **ฟันตัดคู่ที่** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | อายุ 2.5 ปี | | | อายุ 1.5 - 2 ปี | | | | อายุ 1 - 1.5 ปี | | | | อายุ 1 ปี | | | |
| 2 | อายุ 3.5 ปี | | | อายุ 2 - 2.5 ปี | | | | อายุ 1.5 - 2 ปี | | | | อายุ 16 - 20 เดือน | | | |
| 3 | อายุ 4.5 ปี | | | อายุ 3 ปี | | | | อายุ 1.5 - 3 ปี | | | | อายุ 8 - 10 เดือน | | | |
| 4 |  | | | อายุ 3.5 - 4 ปี | | | | อายุ 3.5 - 4 ปี | | | |  | | | |
| **ฟันเขี้ยว** | | | | | | | | | | | | | | | |
| อายุ 4.5 ปี | | | |  | | | | | | | | อายุ 4.5 ปี | | | |
| **ฟันกรามหน้าคู่ที่** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | อายุ 5 - 6 เดือน | | | อายุ 2 - 2.5 ปี | | | | อายุ 1.5 – 2 ปี | | | | อายุ 12 – 15 เดือน | | | |
| 2 | อายุ 2.5 ปี | | | อายุ 1.5 - 2.5 ปี | | | | อายุ 1.5 – 2 ปี | | | | อายุ 12 – 15 เดือน | | | |
| 3 | อายุ 3 ปี | | | อายุ 2.5 – 3 ปี | | | | อายุ 1.5 – 2 ปี | | | | อายุ 12 – 15 เดือน | | | |
| 4 | อายุ 4 ปี | | |  | | | |  | | | | อายุ 12 – 15 เดือน | | | |
| **ฟันกรามหลังคู่ที่** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | อายุ 9 - 12 เดือน | | | อายุ 5 - 6 เดือน | | | | อายุ 3 - 5 เดือน | | | | อายุ 4 - 6 เดือน | | | |
| 2 | อายุ 2 ปี | | | อายุ 1 - 1.5 ปี | | | | อายุ 9 - 12 เดือน | | | | อายุ 8 - 12 เดือน | | | |
| 3 | อายุ 3.5 - 4 ปี | | | อายุ 2 - 2.5 ปี | | | | อายุ 1.5 - 2 ปี | | | | อายุ 18 – 20 เดือน | | | |

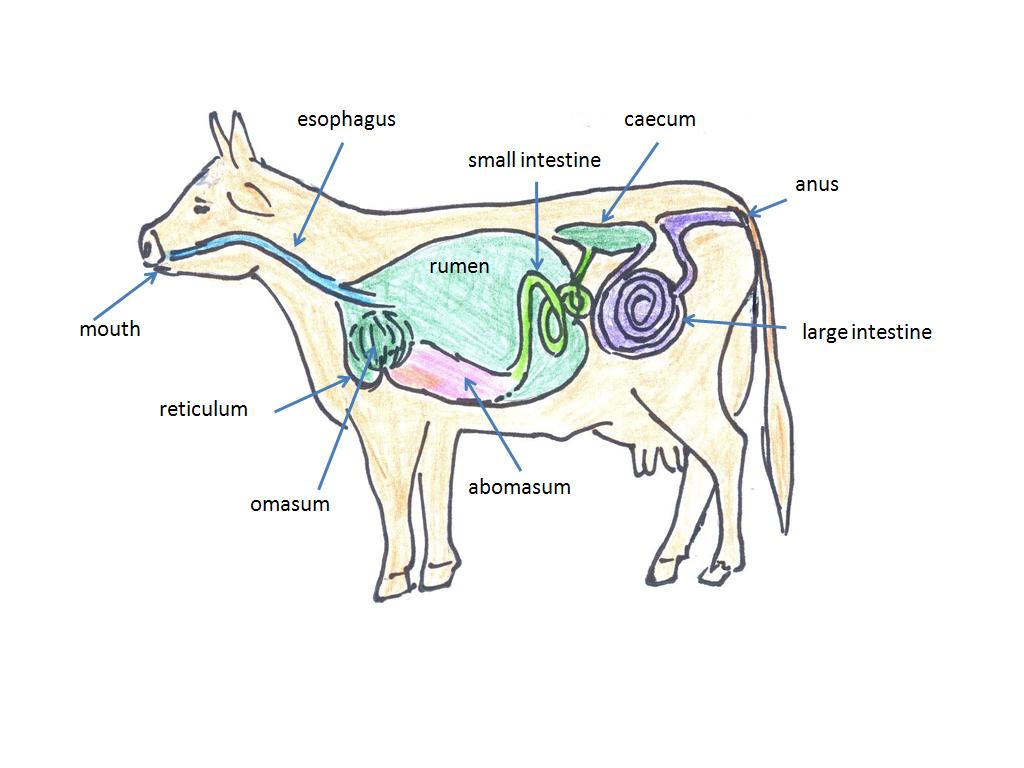
**ที่มา:** Frandson et al. (2009)



**ภาพที่ 6.2** ส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหารในสุกร

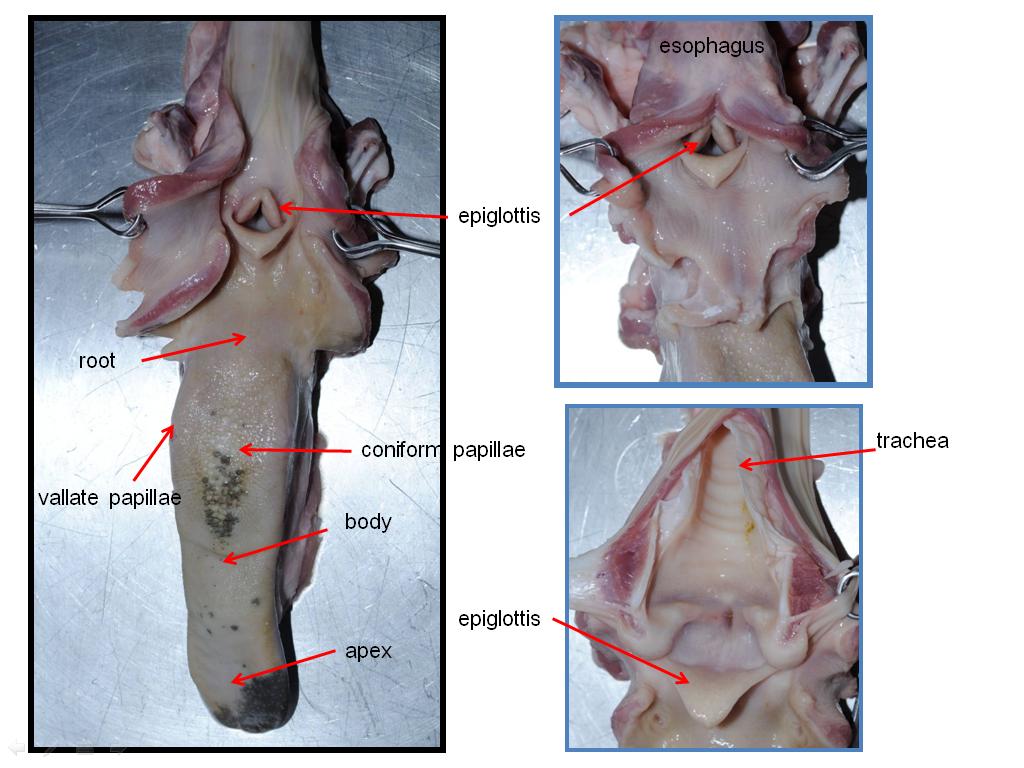
****

**ภาพที่ 6.3**  ส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหารในไก่

****

**ภาพที่ 6.4** ส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหารในโค

* **ลิ้น**  **(tongue)** เป็นอวัยวะที่อยู่ระหว่างฟันกรามทั้งซีกซ้ายและขวา โครงสร้างส่วนใหญ่ของลิ้นประกอบด้วยมัดกล้ามเนื้อที่แข็งแรง คือ กล้ามเนื้อที่ยึดระหว่างกระดูกไฮออต (hyoid) กับตัวลิ้น (extrinsic muscles) และกล้ามเนื้อลิ้น (intrinsic muscles) กล้ามเนื้อลิ้นปกคลุมด้วยชั้นเยื่อบุผิวชนิดเซลล์รูปแบนที่เรียงซ้อนกันหลายชั้น (stratified squamous epithelium) ชนิดชุ่ม (moist type) มีหนามหรือพาพิวลาร์ (papillae) กระจายอยู่ทั่วไปทางด้านบนของลิ้น พาพิวลาร์มีรูปร่างต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสัตว์ เช่น รูปร่างคล้ายขน (filiform papillae) รูปร่างคล้ายดอกเห็ด (fungiform papillae) รูปร่างคล้ายใบไม้ (foliate papillae) และรูปร่างกลมนูน (circumvallate papillae) โดยทั่วไปทางด้านบนของพาพิวลาร์จะมีต่อมรับรส (taste bud) อยู่มากมายโดยเฉพาะในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีน้อยมากในสัตว์ปีก และต่อมผลิตของเหลว (serous glands) ปนอยู่



**ภาพที่ 6.5**  กล้ามเนื้อลิ้น ฝาปิดกล่องเสียง หลอดอาหาร และท่อทางเดินหายใจของแพะ

1. **หลอดคอ (pharynx)**

หลอดคอ เป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่มีรูปร่างคล้ายปากกรวย (funnel shaped) ผนังภายในบุด้วยชั้นเยื่อเมือกและล้อมรอบด้วยกล้ามเนื้อ ส่วนต้นของหลอดคอมีขนาดใหญ่กว่าส่วนปลายที่มีท่อเปิดติดต่อกับหลอดอาหาร และหลอดลม จึงเป็นทางเปิดร่วมระหว่างท่อทางเดินอาหารและท่อทางเดินหายใจ โดยมีส่วนของฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) ที่เป็นกระดูกอ่อนทำหน้าที่ปิดช่องของหลอดลมเมื่อมีอาหารผ่านหลอดคอเข้าไปในหลอดอาหาร หรือเมื่อมีการกลืนอาหาร แต่เมื่อมีการหายใจฝาปิดกล่องเสียงจะเคลื่อนไปปิดช่องหลอดอาหารทำให้อากาศที่หายใจเข้าผ่านช่องจมูกเข้าสู่หลอดลมได้สะดวก หลอดคอจึงมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการกลืนอาหาร (deglutition) เข้าสู่หลอดอาหาร การกลืนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

**ก. ระยะที่หนึ่ง** เป็นระยะที่อาหารเข้าสู่ปาก ซึ่งสามารถควบคุมได้ เมื่ออาหารเข้าสู่ปากจะเกิดการเคี้ยวอาหาร คลุกเคล้าอาหารกับน้ำลาย และถูกทำให้เป็นก้อน จากนั้นลิ้นจะหดตัวเพื่อส่งก้อนอาหารไปที่ปลายลิ้นแล้วผลักดันก้อนอาหารลงไปสู่หลอดคอ

**ข. ระยะที่สอง** เมื่อก้อนอาหารมาที่หลอดคอ มีผลทำให้เซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่ชั้นเยื่อเมือกของหลอดคอ ส่งความรู้สึกไปยังเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (glossopharyngeal nerve) ให้ส่งกระแสความรู้สึกไปยังสมองส่วนเมดูล่าร์ออพลองกาต้า ซึ่งจะส่งคำสั่งกลับมา ทำให้ส่วนของฝาปิดกล่องเสียงไปปิดหลอดลม และเกิดขบวนการกลืนก้อนอาหารเข้าไปในหลอดอาหารขึ้น (swallowing reflex)

**ค. ระยะที่สาม** เมื่ออาหารผ่านหลอดคอเข้ามาในหลอดอาหาร ก้อนอาหารจะมีการเคลื่อนตัวโดยขบวนการเพอริสทอลซีส (peristatic movement or peritalsis) หรือการเคลื่อนไหวแบบขย่อนของท่อทางเดินอาหาร ซึ่งเกิดจากการคลายตัวและหดตัวของกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชั้น รอบๆหลอดอาหาร โดยกล้ามเนื้อจะคลายตัวและหดตัวสลับกันไปมา

1. **หลอดอาหาร (esophagus)**

หลอดอาหารเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหลอดคอกับกระเพาะอาหารส่วนต้น (cardiac) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างหลอดคอกับกระเพาะอาหารส่วนต้นมีจะกล้ามเนื้อหูรูด (cardiac sphincter) ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของอาหารสู่กระเพาะ โครงสร้างของหลอดอาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น เช่นกัน กล้ามเนื้อของผนังหลอดอาหารจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ในสุกรและม้ามีกล้ามเนื้อ 2 ชนิด ส่วนต้นของหลอดอาหารจะเป็นกล้ามเนื้อลายแต่ส่วนท้ายจะเป็นกล้ามเนื้อเรียบ แต่ในสุนัขและสัตว์เคี้ยวเอื้องผนังของหลอดอาหารทั้งหมดเป็นกล้ามเนื้อลายเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกล้ามเนื้อลายจะช่วยทำให้เกิดการขยอกอาหารกลับออกมาเคี้ยวเอื้องในปาก และในสุนัขกล้ามเนื้อลายจะช่วยในการขยอกอาหารกลับออกมาอาเจียนได้ สัตว์บางชนิดชั้นใต้เยื่อเมือกจะพบต่อมสร้างน้ำเมือกเพื่อผลิตน้ำเมือกหรือสารเมือก ช่วยในการนำอาหารผ่านเข้าไปสู่กระเพาะได้สะดวกขึ้น การเคลื่อนที่ของก้อนอาหารในหลอดอาหารนั้น เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนไหวแบบขย่อนหรือการเพอริสทอลซีส (peristalsis movement) โดยทั่วไปความยาวของหลอดอาหารจะสัมพันธ์กับความยาวของลำคอของสัตว์

ในสัตว์ปีกส่วนท้ายของหลอดอาหารจะขยายตัวโป่งออกเป็นที่พักอาหาร หรือกระเพาะพัก (crop) ชั้นเยื่อบุผิวในหลอดอาหารจะมีการหลั่งน้ำเมือกเพื่อคลุกเคล้าอาหารให้อ่อนนุ่มขึ้น ก่อนที่จะส่งอาหารเข้าไปในกระเพาะแท้ (proventiculus) ภายในกระเพาะพักจะเป็นบริเวณที่ไม่มีน้ำย่อย ส่วนการย่อยคาร์โบไฮเดรทในหลอดอาหารจะเป็นผลต่อเนื่องจากการคลุกเคล้าอาหารกับเอ็นไซม์ไทยาลินในปาก สำหรับนกพิราบจะมีการสร้างสารที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (crops milk) จากกระเพาะพัก ซึ่งมีส่วนประกอบของไขมัน และโปรตีนสูง ใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงลูกนกในช่วง 2 สัปดาห์แรก

1. **กระเพาะอาหาร (stomach)**

กระเพาะอาหารเป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่มีความจุมากกว่าส่วนอื่น ส่วนต้นของกระเพาะจะต่อจากหลอดอาหารและส่วนท้ายจะต่อกับลำไส้เล็ก กระเพาะอาหารทำหน้าที่ในการย่อยอาหาร และดูดซึมโภชนะ โดยใช้เอ็นไซม์จากกระเพาะหรือเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายใน กระเพาะอาหารของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งตามลักษณะการพัฒนาของกระเพาะ และลักษณะอาหารที่สัตว์กิน ได้เป็น 2 ประเภท คือ กระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (simple stomach) และกระเพาะของสัตว์กระเพาะรวม (compound stomach)

1. **กระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว**

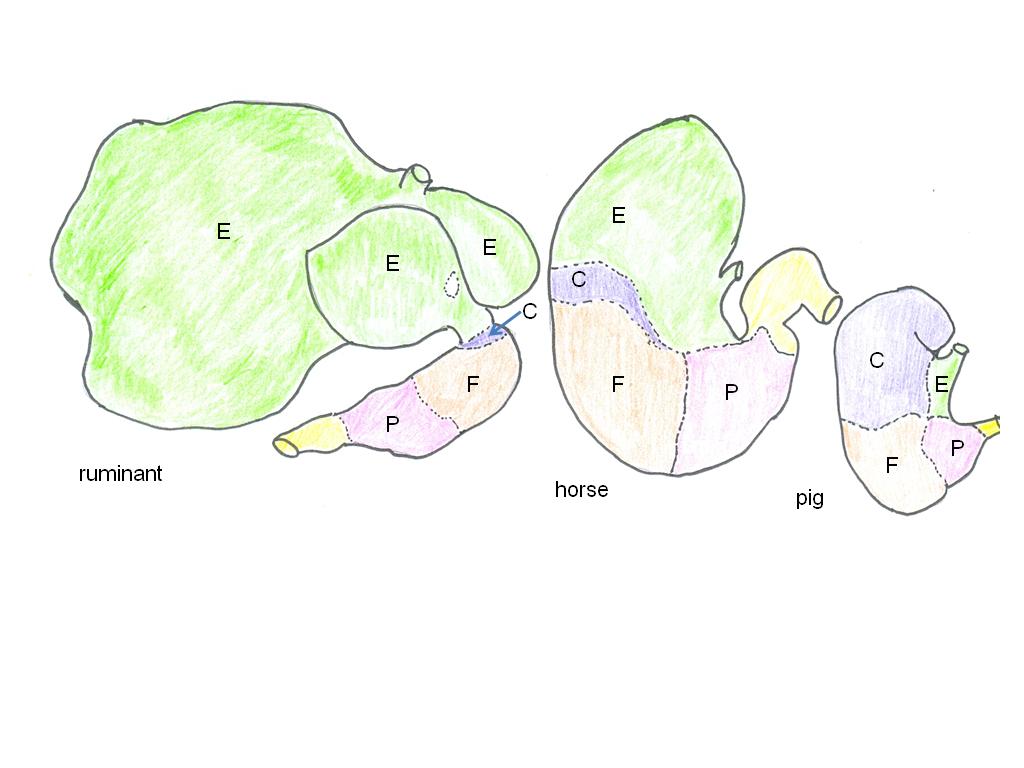
กระเพาะอาหารมีตำแหน่งอยู่ทางด้านซ้ายของกระบังลม ส่วนต้นของกระเพาะอาหารต่อกับหลอดอาหารและส่วนปลายของกระเพาะต่อกับลำไส้เล็ก สุกรจะเป็นสัตว์ที่มีความจุของกระเพาะอาหารมากที่สุด และมีกระเพาะอาหารรูปร่างคล้ายไตหรือเมล็ดถั่ว กระเพาะอาหารอาจออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้น (cardiac) ส่วนกลาง (fundus) และส่วนปลาย (pyrolus) ตรงส่วนต้นและส่วนปลายของกระเพาะจะมีกล้ามเนื้อหูรูดอยู่ กล้ามเนื้อหูรูดที่อยู่ตรงกระเพาะส่วนหน้าติดต่อกับหลอดอาหาร คือคาร์ดิแอคสฟิงเตอร์ (cardiac sphincter) และไพรอลิกสฟิงเตอร์ (pyrolic sphincter) จะอยู่ตรงส่วนท้ายของกระเพาะอาหารที่ต่อกับลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของอาหารในกระเพาะ สามารถแบ่งส่วนต่าง ๆ ของกระเพาะอาหารออกตามลักษณะของเนื้อเยื่อบุผิวภายในกระเพาะได้เป็น 4 ส่วน คือ

**- ส่วนของกระเพาะอาหารส่วนต้นที่ติดกับหลอดอาหาร (esophageal region)** สัตว์แต่ละชนิดจะมีกระเพาะส่วนนี้แตกต่างกันออกไป บริเวณนี้เซลล์เยื่อบุส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์เยื่อบุผิวชนิดเซลล์รูปร่างคล้ายเกล็ดหรือรูปสี่เหลี่ยมแบนบางที่เรียงซ้อนกันหลายชั้น (stratified squamous epothelium) และไม่มีส่วนที่เป็นต่อมอยู่เลย

**- ส่วนกระเพาะอาหารส่วนต้น (cardiac region)** เป็นบริเวณที่มีต่อมสร้างน้ำเมือก แต่ไม่มีต่อมสร้างเอ็นไซม์ มีต่อมที่สำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ต่อมมิวคัสเนคเซลล์ (mucous neck cell) ทั้งที่เป็นต่อมเดี่ยว (simple glands) หรือเป็นต่อมรวม (compound tubular gland) ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งน้ำเมือก (mucus) เพื่อเคลือบผิวของต่อมไม่ให้ถูกทำลายโดยกรดเกลือที่ผลิตจากพารีทัลเซลล์ (parietal cell)

**- ส่วนกลางของกระเพาะอาหารที่มีต่อมสร้างเอ็นไซม์ช่วยย่อยอาหาร (fundic region)** เซลล์ที่ผลิตเอ็นไซม์ได้แก่ ชีฟเซลล์ (chief cells or zymogenic cells) เป็นเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยม ทำหน้าที่ผลิต และหลั่งเอ็นไซม์เปปซิโนเจน (pepsinogen) ส่วนพารีทัลเซลล์ (parietal cells or border cells) เป็นเซลล์รูปร่างหลายเหลี่ยมค่อนข้างกลม พบมากบริเวณตัวต่อม เซลล์นี้มีขนาดใหญ่กว่า ทำหน้าที่ผลิตกรดเกลือ (HCL) และ อินทรินสิคแฟคเตอร์ (intrinsic factors)

**- ส่วนของกระเพาะอาหารส่วนปลาย (pyloric region)** ที่มีต่อมสร้างน้ำเมือกและเอ็นไซม์ปนกันอยู่ คือ มิวคัสเนคเซลล์ (mucous neck cell) และอาร์เจนทาฟฟินเซลล์ (argentaffin cells) ที่ผลิตฮอร์โมนซีครีติน (secretin)



**ภาพที่ 6.6** ส่วนต่างๆของกระเพาะอาหารในโค ม้า และสุกร : E **=** esophageal region,

C= cardiac region, F = fundic region และ P = pyloric region

**ที่มา :** Frandson et al. (2009)

ชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะอาหารประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อเรียบแบบทแยง (inner oblique muscle) ชั้นกลางเป็นกล้ามเนื้อแบบวงกลม (inner circular muscle) และชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อทางยาว (outer longitudinal muscle) ระหว่างชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะจะพบกลุ่มเซลล์ประสาทมารวมกันอยู่มากมาย (nerve plexus) ทำหน้าที่รับความรู้สึก เมื่อมีอาหารเข้ามาในกระเพาะเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะส่งกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทคู่ที่ 10 (vagus nerve) ไปยังสมอง ให้สมองสั่งการทำให้กระเพาะเกิดการหดตัว นอกจากนี้กระเพาะยังสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองโดยผ่านเส้นประสาท (splanchnic nerve) ในระบบประสาทอัตโนมัต ซึ่งจะทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับเส้นประสาทคู่ที่ 10

ในขณะที่มีการย่อยอาหาร กระเพาะอาหารมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา พร้อมกับมีการหลั่งเอ็นไซม์จากเซลล์เยื่อบุผิวในชั้นเยื่อเมือกของผนังกระเพาะ การเคลื่อนไหวของกระเพาะมี 2 แบบ คือ

**- การเคลื่อนไหวแบบขย่อนหรือการเพอรีสทอลซัส (peristaltic movement)** เกิดจากกล้ามเนื้อชั้นในที่เรียงตัวเป็นวงรอบ (inner circular muscle) และ กล้ามเนื้อชั้นนอกที่เรียงตัวเป็นทางยาว (outer longitudinal muscle) โดยรอบกระเพาะ มีการหดตัวและคลายตัวอย่างเป็นจังหวะ ทำให้อาหารเคลื่อนตัวจากส่วนต้นไปยังส่วนปลายได้

**- การเคลื่อนไหวแบบแกว่งเหมือนลูกตุ้มนาฬิกา (pendular motility)** เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อชั้นบาง ๆ ที่อยู่ระหว่างกล้ามเนื้ออินเทอร์เนิลออพลีก (internal oblique muscle) มีผลทำให้อาหารในกระเพาะคลุกเคล้ากับน้ำย่อย (เอ็นไซม์) ทำให้เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ขึ้น

ในสัตว์ปีกเช่นไก่ และเป็ด ส่วนของท่อทางเดินอาหารที่ติดต่อกับหลอดอาหารโดยตรงคือ กระเพาะแท้ (proventiculus or true stomach) มีรูปร่างเป็นกระเปาะทำหน้าที่ผลิตกรดเกลือ และผลิตน้ำย่อยสำหรับย่อยโปรตีน นอกจากนี้ยังมีกระเพาะบดหรือ กิ๋น (gizzard) เป็นกระเพาะส่วนที่ต่อจากกระเพาะแท้และมีขนาดใหญ่กว่ากระเพาะแท้มาก ประกอบด้วยกล้ามเนื้อหนาและมีความแข็งแรง ภายในมีกรวดและทรายสะสมอยู่ช่วยในการบดย่อยอาหาร กิ๋นทำหน้าที่คล้ายกับฟันของสัตว์ปีก และอาหารจะอยู่ในกิ๋นนานกว่าในกระเพาะแท้

### กระเพาะอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะขนาดใหญ่ เนื่องจากกินอาหารหยาบที่มีความฟ่ามสูง ซึ่งไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอ็นไซม์จากเซลล์เยื่อบุผิวในชั้นเยื่อเมือกของท่อทางเดินอาหารได้ ในกระเพาะจึงต้องมีจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการย่อยอาหาร กระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยกระเพาะรูเมน หรือ กระเพาะผ้าขี้ริ้ว หรือกระเพาะหมัก (rumen) กระเพาะรังผึ้งหรือกระเพาะเรคติคิวลัม (reticulum) กระเพาะสามสิบกลีบหรือกระเพาะโอมาซัม (omasum) และ กระเพาะแท้หรือกระเพาะอโบมาซัม (abomasum) กระเพาะรูเมน กระเพาะรังผึ้ง และ กระเพาะสามสิบกลีบ อาจเรียกรวมกันว่า กระเพาะอาหารส่วนหน้าหรือกระเพาะส่วนหน้า (fore stomach) เนื่องจากเนื้อเยื่อบุผิวของผนังกระเพาะทั้งสามเป็นเนื้อเยื่อบุที่ไม่มีต่อมสร้างน้ำย่อยอยู่เลย (non glandular region) ส่วนกระเพาะแท้ (abomasum) ผนังด้านในมีลักษณะเหมือนกับกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว

- **กระเพาะผ้าขี้ริ้วหรือกระเพาะรูเมน** เป็นกระเพาะส่วนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80 ของความจุของกระเพาะทั้งหมด ในกระเพาะมีขบวนการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อราชนิดต่างๆ และมีของเหลวอยู่มาก ส่วนหน้าของกระเพาะรูเมนติดกับหลอดอาหารและส่วนท้ายติดต่อกับกระเพาะรังผึ้ง กระเพาะรูเมนวางตัวอยู่ในช่องท้องค่อนไปทางด้านซ้ายของลำตัว ด้านหน้าจะติดกับกระบังลม ในลูกโคเกิดใหม่กระเพาะรูเมนจะมีขนาดเล็กกว่ากระเพาะแท้ และยังไม่ทำหน้าที่ในการย่อยอาหาร กระเพาะอาหารของลูกโคจึงทำงานเหมือนกับกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว กระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยใช้ส่วนของรอยพับหรือร่องของกล้ามเนื้อที่ผนังกระเพาะ (muscular pillars or longitudinal groove) เป็นแนวแบ่งออกเป็นถุงด้านบน (dorsal sac) และ ถุงด้านล่าง (ventral sac) ถุงด้านบนเป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่า ที่ผนังด้านในของกระเพาะรูเมนจะมีเยื่อบุลักษณะคล้ายขนหรือพาร์พิวลาร์(papillae) มากมาย มีหน้าที่ช่วยโบกพัด คลุกเคล้าอาหาร เกี่ยวข้องกับการดูดซึมโภชนะ และเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์บางชนิด

การเคลื่อนที่ของอาหารในกระเพาะรูเมนเกิดจากจังหวะในการบีบตัวของกล้ามเนื้อกระเพาะรูเมนและกระเพาะรังผึ้ง เมื่ออาหารผ่านหลอดอาหารมาถึงส่วนต้น (cardiac) ของกระเพาะรูเมน กล้ามเนื้อจะเริ่มมีการบีบตัวทั้งแบบขย่อนและแบบแกว่งเหมือนลูกตุ้มนาฬิกา จังหวะการบีบตัวของกระเพาะทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายของถุงด้านบน แล้วจะส่งไปทางด้านซ้ายของถุงด้านล่าง จากนั้นอาหารจึงเคลื่อนมาถึงด้านหน้าของถุงด้านล่าง อาหารที่แหลกหรืออุ้มน้ำมากจะจมลงไปในถุงด้านล่าง ส่วนอาหารชิ้นใหญ่จะลอยอยู่ในของเหลวของกระเพาะรูเมน เมื่อเกิดการขยอกอาหารชิ้นใหญ่ที่มีลักษณะเป็นก้อนกลับขึ้นมาทางหลอดอาหารโดยการบีบตัวของกระเพาะรังผึ้ง จึงเกิดการเคี้ยวเอื้องภายในปากอีกครั้ง ส่วนอาหารที่มีลักษณะกึ่งข้นกึ่งเหลว (semi solid) บางส่วนจะไหลผ่านช่องหรือรูเปิดระหว่างกระเพาะรูเมนและกระเพาะรังผึ้ง (rumino reticulum orifice) เข้าไปสู่กระเพาะสามสิบกลีบต่อไป

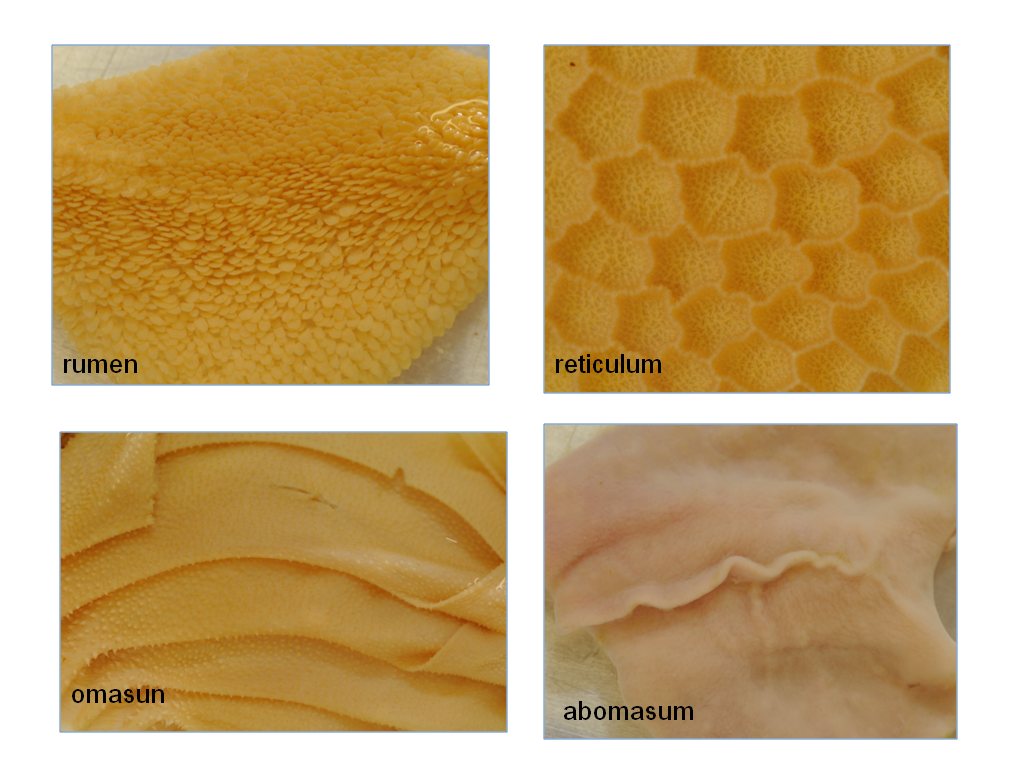
**- กระเพาะรังผึ้งหรือกระเพาะเรคติคิวลัม** มีขนาดเล็กที่สุด มีความจุประมาณ 5 % ของกระเพาะทั้งหมด รูปร่างคล้ายกับขวดรูปชมพู่ อยู่ระหว่างกระเพาะรูเมนและกระเพาะสามสิบกลีบ ผนังด้านล่างที่ต่อกับกระเพาะรูเมนจะเป็นผนังเตี้ยๆ (reticulo-rumen fold) ใช้แบ่งเฉพาะส่วนล่างของกระเพาะรังผึ้งและกระเพาะรูเมนออกจากกันเท่านั้น ดังนั้นด้านบนของกระเพาะทั้งสองจึงเปิดติดต่อถึงกันได้ตลอด ทำให้อาหารในกระเพาะทั้งสองสามารถถ่ายเทถึงกันได้ตลอดเวลา ผนังด้านในของกระเพาะรังผึ้ง มีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง (honey comb) บริเวณผนังจะมีตุ่มขนเล็กๆกระจายอยู่ทั่วไป (honey papillae) ผนังรูปหกเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมจะมีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะทางด้านล่างของกระเพาะ และมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆเมื่ออยู่ใกล้กับบริเวณขอบหรือสันของกระเพาะรังผึ้ง (esophageal groove or reticular groove)

กระเพาะรังผึ้งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการส่งอาหารชิ้นใหญ่กลับไปเคี้ยวเอื้องในปากและการส่งอาหารที่ย่อยแล้วหรืออาหารชิ้นเล็กไปยังส่วนกระเพาะสามสิบกลีบ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการดูดซึมโภชนะ เช่น กรดไขมันระเหยง่ายชนิดต่างๆ และเป็นที่เก็บกักสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับอาหารเช่น ลวด และตะปู ดังนั้นเมื่อกระเพาะรังผึ้งเกิดการหดตัว อาจทำให้ลวดหรือตะปูหรือสิ่งแหลมคมอื่นนั้นไปทิ่มแทงผนังด้านหน้าของกระเพาะรังผึ้งได้ มีผลให้เกิดภาวะฮาร์ดแวร์ดิซีส (hardwear disease) เนื่องจากระหว่างกระเพาะรังผึ้งกับหัวใจมีเพียงกระบังลมเป็นตัวกั้นอยู่ตรงกลางเท่านั้น

ท่อนำอาหารเหลว (esophageal groove or reticular groove) เป็นส่วนที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของสัน หรือขอบของกระเพาะรังผึ้งทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอาหารเหลวจากหลอดอาหารให้เข้าสู่กระเพาะแท้ได้โดยตรง ผ่านทางช่องเปิดระหว่างกระเพาะรังผึ้งและกระเพาะสามสิบกลีบ (reticulo omasal orifice) ทำให้อาหารเหลว เช่นน้ำนมที่ลูกสัตว์กินเข้าไปไหลตรงเข้าไปในกระเพาะแท้ได้ โดยไม่ผ่านเข้าไปเกิดการหมักในกระเพาะรูเมน ท่ออาหารเหลวก่อตัวขึ้นโดยการควบคุมของระบบประสาท เนื่องจากการกระตุ้นภายในช่องปากเมื่อลูกโคกินนมหรืออาหารแทนนม

**- กระเพาะสามสิบกลีบหรือกระเพาะโอมาซัม** อยู่ระหว่างกระเพาะรังผึ้งและกระเพาะแท้ มีความจุใกล้เคียงกับกระเพาะแท้ (ประมาณ 7-8 %) มีรูปร่างกลมประกอบด้วยแผ่นกล้ามเนื้อเป็นกลีบ ๆ (omasal leaves or lamina) คล้ายกลีบหัวหอม ประมาณ 89-192 กลีบจัดเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดูดซึมน้ำ และโภชนะ ชั้นเยื่อเมือกที่หุ้มแผ่นกล้ามเนื้อนี้จะมีขนสั้น ๆหรือพาพิวลาร์ (papillae) เป็นส่วนประกอบซึ่งช่วยในการบดอาหาร กระเพาะสามสิบกลีบจะเชื่อมต่อกับกระเพาะรังผึ้งผ่านทางช่องเปิดเรคติคิวโลโอมาซัลออริฟิส (reticulo-omasal orifice) อาหารที่ผ่านเข้าในกระเพาะนี้จะมีลักษณะกึ่งเหลว ซึ่งไหลมาจากส่วนล่างของกระเพาะรูเมน เมื่ออาหารลักษณะกึ่งเหลวเข้ามาในกระเพาะโอมาซัมกล้ามเนื้อของกระเพาะจะบีบตัว น้ำที่ปนมากับอาหารจะถูกบีบออกมา (ประมาณ 30-60% ของน้ำในอาหาร) อาหารส่วนที่ถูกบีบน้ำออกแล้วบางส่วนจะคงอยู่ระหว่างเยื่อบางๆของแต่ละกลีบ อาหารกึ่งเหลวบางส่วนจะถูกส่งต่อไปย่อยที่กระเพาะแท้ และลำไส้เล็ก น้ำที่ถูกบีบออกจากอาหาร และ อิออนของแร่ธาตุบางชนิด เช่น โพแตสเซียมอิออน และโซเดียมอิออน รวมทั้งกรดไขมันที่ระเหยง่ายที่ละลายมากับอาหาร จะสามารถถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะไปใช้ประโยชน์ได้ การบีบตัวของกล้ามเนื้อส่วนกระเพาะโอมาซัมนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านอาหารเข้าไปยังกระเพาะแท้ด้วย

**- กระเพาะแท้หรือกระเพาะอโบมาซัม (abomasum)** เป็นส่วนที่มีต่อมสร้างน้ำย่อยหรือเอ็นไซม์ที่ชั้นเยื่อเมือกเช่นเดียวกับกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เมื่อสัตว์เจริญเติบโตขึ้น กระเพาะแท้จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระเพาะรูเมน กระเพาะแท้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งเป็น 2 ส่วน คือกระเพาะอาหารส่วนกลาง (fundic region) และกระเพาะอาหารส่วนปลาย (pyloric region) ชั้นเยื่อเมือกในส่วนกระเพาะอาหารส่วนกลางจะมีลักษณะเป็นกลีบ (fold) ประมาณ 12 กลีบ ชั้นเยื่อเมือกในกระเพาะอาหารส่วนปลายผนังด้านในจะมีลักษณะคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว สำหรับแพะ แกะ สามารถพบกระเพาะอาหารส่วนต้น (cardiac region) ได้



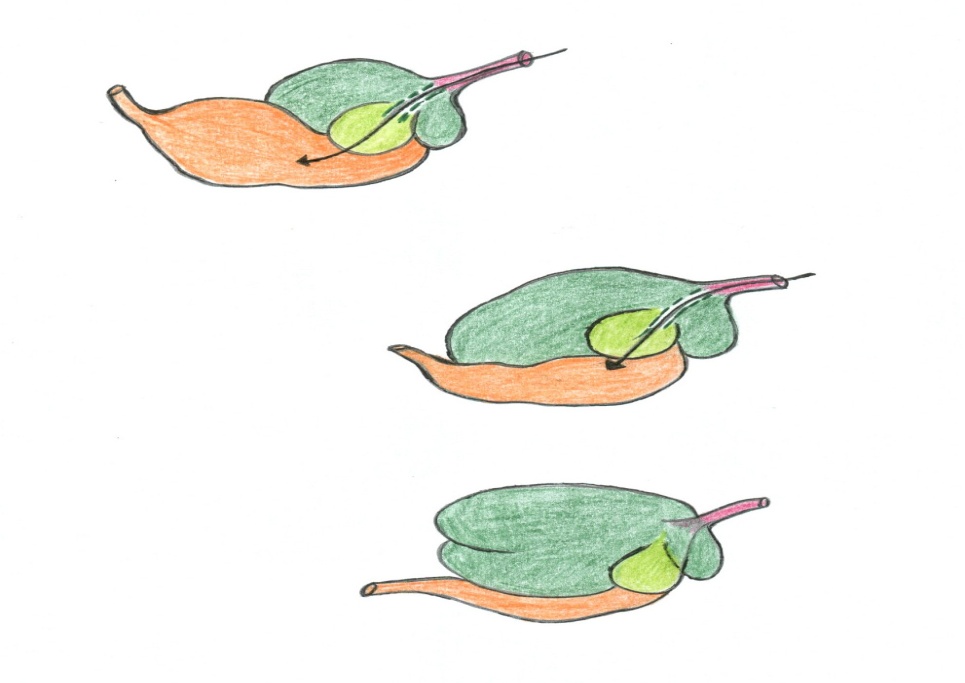
**ภาพที่ 6.7** แสดงลักษณะผนังกระเพาะส่วนต่างๆ ในแพะ

โดยทั่วไปสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องมีการพัฒนาของกระเพาะอาหาร เพื่อให้เหมาะสมกับธรรมชาติของอาหารที่กิน คือ อาหารหยาบหรืออาหารที่มีเยื่อใยสูง การเจริญพัฒนาของกระเพาะจึงแบ่งได้ 2 ระยะ คือระยะก่อนคลอด เมื่อตัวอ่อนมีอายุได้ประมาณ 4 เดือน จะมีกระเพาะรวมครบทั้ง 4 กระเพาะ คือ กระเพาะรูเมน กระเพาะรังผึ้ง กระเพาะสามสิบกลีบ และ กระเพาะแท้ โดยกระเพาะแท้จะมีสัดส่วนมากที่สุด (60 % ของกระเพาะทั้งหมด) เนื่องจากกระเพาะส่วนหน้ายังไม่พัฒนาท่อทางเดินอาหารในลูกโคจึงทำหน้าที่คล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร โดยกระเพาะแท้จะทำหน้าที่ในการย่อยอาหาร ในระยะหลังคลอดการพัฒนาของกระเพาะส่วนต่างๆจะเกิดขึ้นในอัตราที่แตกต่างกัน กระเพาะแท้จะมีอัตราในการพัฒนาต่ำที่สุด แต่กระเพาะรูเมนมีอัตราการพัฒนาสูงที่สุด โดยพัฒนาทั้งขนาด รูปร่าง และเนื้อเยื่อที่เป็นส่วนประกอบของผนังกระเพาะโดยเฉพาะส่วนของพาพิวลาร์ ลูกโคที่มีอายุได้ประมาณ 2 สัปดาห์ กระเพาะรูเมนจะเริ่มพัฒนา และเริ่มมีจุลินทรีย์เข้าไปอยู่อาศัยเพื่อช่วยย่อยอาหารแข็ง หรือ อาหารแห้ง (solid feed) ที่โคกินเข้าไป เช่น อาหารข้น และอาหารหยาบ เมื่อลูกโคอายุได้ประมาณ 8 สัปดาห์ท่อทางเดินอาหารจะพัฒนาได้เกือบสมบูรณ์ ปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องการพัฒนาของกระเพาะ คือ เยื่อใยจากอาหารที่กิน และจุลินทรีย์ในกระเพาะ หากลูกโคสามารถกินอาหารข้นหรืออาหารหยาบได้เร็ว การพัฒนาของกระเพาะย่อมเกิดขึ้นได้เร็วและสามารถหย่านมลูกโคได้เร็วเช่นกัน ดังนั้นในการเลี้ยงลูกโคนมจึงควรตั้งอาหารข้น และหญ้าแห้งหรือหญ้าสดที่มีคุณภาพดีให้ลูกโคได้หัดกิน เพื่อเร่งการพัฒนาของกระเพาะส่วนหน้า และเป็นการลดต้นทุนการผลิตในระยะเลี้ยงลูกโคได้

**ตารางที่ 6.3** การพัฒนาของส่วนต่างๆของกระเพาะในโค

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **อายุ** | **ความจุ (%)** | | | |
| **กระเพาะหมัก** | **รังผึ้ง** | **สามสิบกลีบ** | **กระเพาะแท้** |
| แรกเกิด  3-4 เดือน  โตเต็มที่ | 25  65  80 | 5  5  5 | 10  10  7-8 | 60  20  7-8 |

**ที่มา :** Heinrichs (2002).



mature

3-4 months

1 week

rumen

omasum

reticulum

abomasum

esophageal groove

**ภาพที่ 6.8** การพัฒนาของกระเพาะทั้ง 4 ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Heinrichs (2002).

1. **ลำไส้เล็ก (small intestine)**

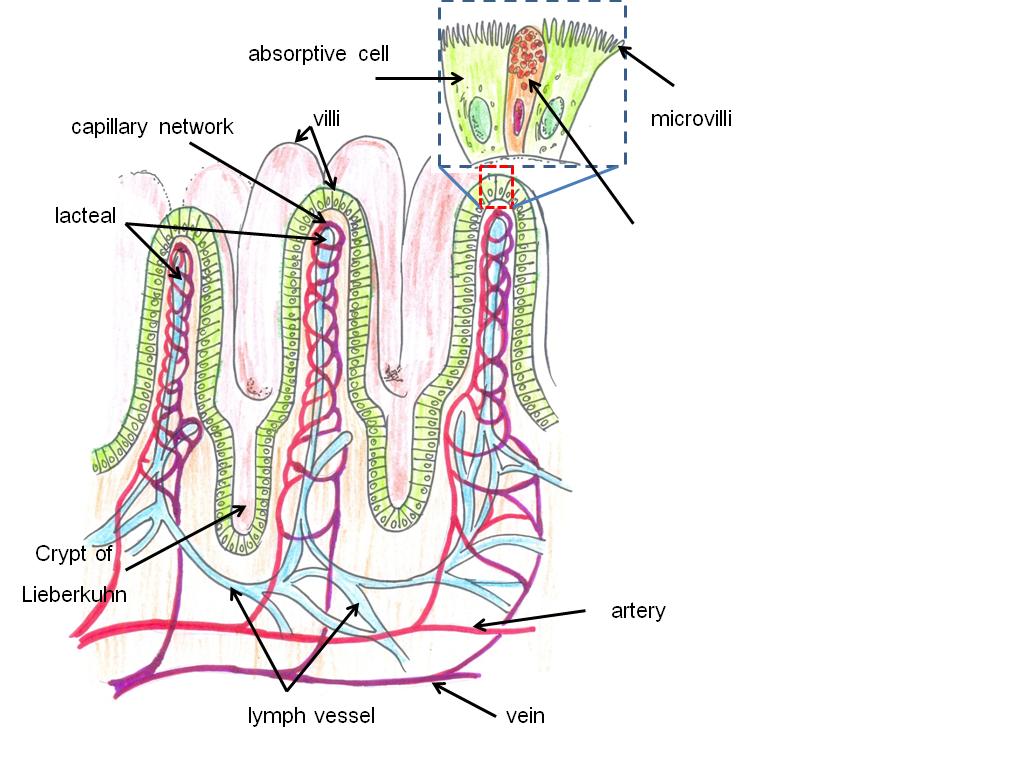
เป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่เชื่อมต่อระหว่างกระเพาะอาหารส่วนปลาย และลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ติ่งหรือไส้ตัน (caecum) ลำไส้เล็กยึดติดกับผนังช่องท้องด้วยเยื่อยึดลำไส้ (mesentary) ความยาวของลำไส้เล็กในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป สามารถแบ่งลำไส้เล็กออกเป็น 3 ส่วนคือ ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (ileum) ส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้นที่มีลักษณะคล้ายรูปตัวยู จะเป็นบริเวณที่มีตับอ่อนอยู่ บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นนี้จะมีช่องเปิดของท่อน้ำดี (common bile duct) และช่องเปิดของท่อจากตับอ่อน (pancreatic duct) เพื่อเป็นทางผ่านของน้ำดีจากตับและเอ็นไซม์จากตับอ่อน ผนังของลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งน้ำย่อย (เอ็นไซม์) หลายชนิด เช่น เอ็นไซม์แลคเตส (lactase) เอ็นไซม์มอลเตส (maltase) เอ็นไซม์ซูเครส (sucrase) เอ็นไซม์ไลเปส (lipase) เอ็นไซม์อะไมยเลส (amylase) และ เอ็นไซม์ไดเปปทิเดส (dipeptidase) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร คือ ฮอร์โมนซิครีติน (secretin) ฮอร์โมนโคเลซีสโตไคนิน (cholecystokinin, CCK) และ ฮอร์โมนโมติลิน (motilin) ที่หลั่งมาจากผนังลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการย่อยอาหาร ดูดซึมโภชนะต่าง ๆ วิตามิน และแร่ธาตุ และช่วยส่งอาหารผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่

**ก. โครงสร้างของลำไส้เล็ก** ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น เช่นเดียวกับส่วนอื่น ๆ ของท่อทางเดินอาหาร คือชั้นเยื่อเมือกอยู่ด้านในสุด ชั้นใต้เยื่อเมือก ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นเยื่อหุ้มด้านนอก ชั้นเยื่อเมือกประกอบด้วยเนื่อเยื่อ 3 ชั้นย่อย ๆ รวมกัน คือเซลล์เยื่อบุที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมสั้น ๆ บางส่วนของเซลล์เยื่อบุผิวจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมเดี่ยว (goblet cell) ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือก ตรงปลายของเซลล์เยื่อบุผิวรูปสี่เหลียมจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะขนเล็ก ๆ เรียกว่าบรัสบรอเดอร์ (brush border) ของไมโครวิลไล (microvilli) ทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวของลำไส้ซึ่งช่วยในการดูดซึมโภชนะ ถัดจากชั้นของเซลล์เยื่อบุเป็นชั้นใต้เยื่อเมือก (lamina propia) จากนั้นจะเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบบาง ๆ 2 – 3 ชั้น ตลอดชั้นเยื่อเมือกจะมีโครงสร้างที่ เรียกว่า วิลไล (villi ) มีลักษณะคล้ายขนยื่นเข้าไปในช่องว่างของลำไส้ ระหว่างวิลไลจะมีแอ่งรูปทรงกระบอกเล็ก ๆ แทรกอยู่ เรียกว่า เครบออฟลิเบอร์คูน (crypt of lieberkuhn) เซลล์เยื่อบุผิวส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกและหลั่งน้ำย่อย (เอ็นไซม์)

ชั้นใต้เยื่อเมือกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหลวม (loose connective tissue) เป็นบริเวณที่มีปมประสาทและเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่ ปมประสาทจะมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบรอบลำไส้เล็ก

ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้เล็กเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก และช่วยในการเคลื่อนที่ของอาหารและการย่อยอาหาร กล้ามเนื้อเรียบชั้นในเป็นกล้ามเนื้อวงแหวนและชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อตามทางยาว

ชั้นนอกสุดเป็นชั้นเซโรซ่า (serosa) ประกอบด้วยเยื่อบุผิวชนิดเซลล์รูปสี่เหลี่ยมแบนบางหรือรูปร่างคล้ายเกล็ดเรียงกันเป็นชั้นเดียว (simple squamous epithelium) ชั้นนี้มีลักษณะเหนียวมาก เพื่อเป็นการลดการเสียดสีของลำไส้กับอวัยวะอื่น ๆ ในช่องท้อง

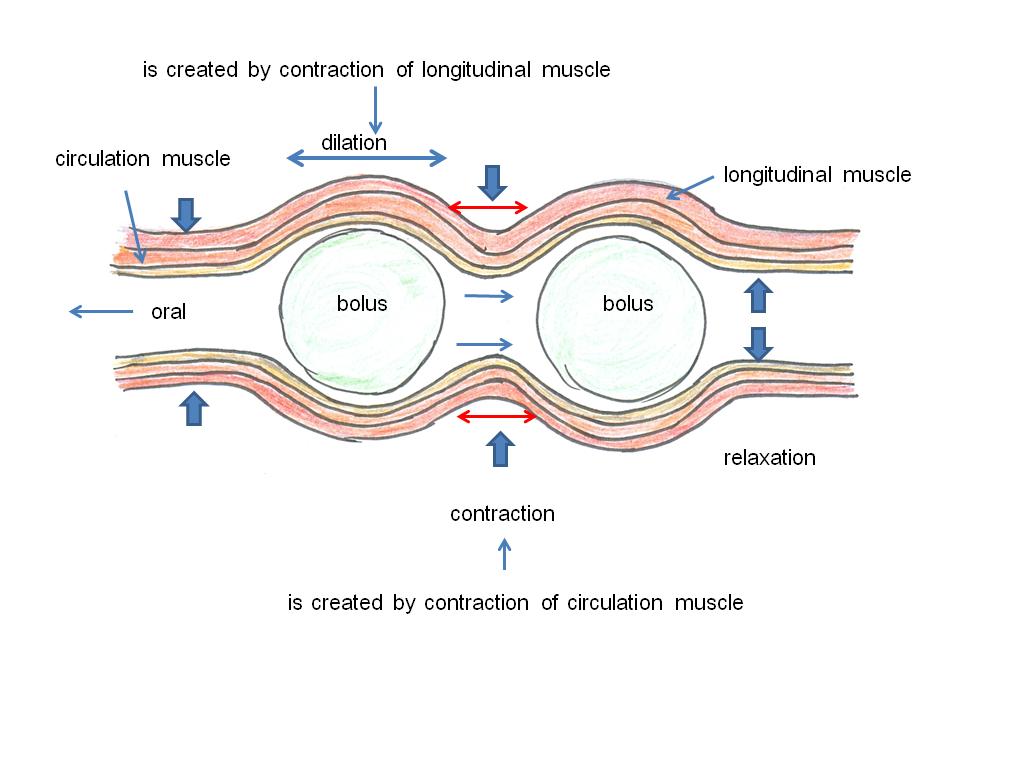


**ภาพที่ 6.9** ลักษณะของวิลไลที่เยื่อบุผิวของผนังลำไส้เล็ก

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Frandson et al. (2009).

**ข.** **การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก** เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่เป็นส่วนประกอบ เพื่อช่วยให้อาหารเคลื่อนตัวผ่านไปยังส่วนอื่นของระบบทางเดินอาหาร และ ช่วยให้อาหารคลุกเคล้ากับน้ำย่อย ลักษณะของการหดตัวมี 2 แบบ

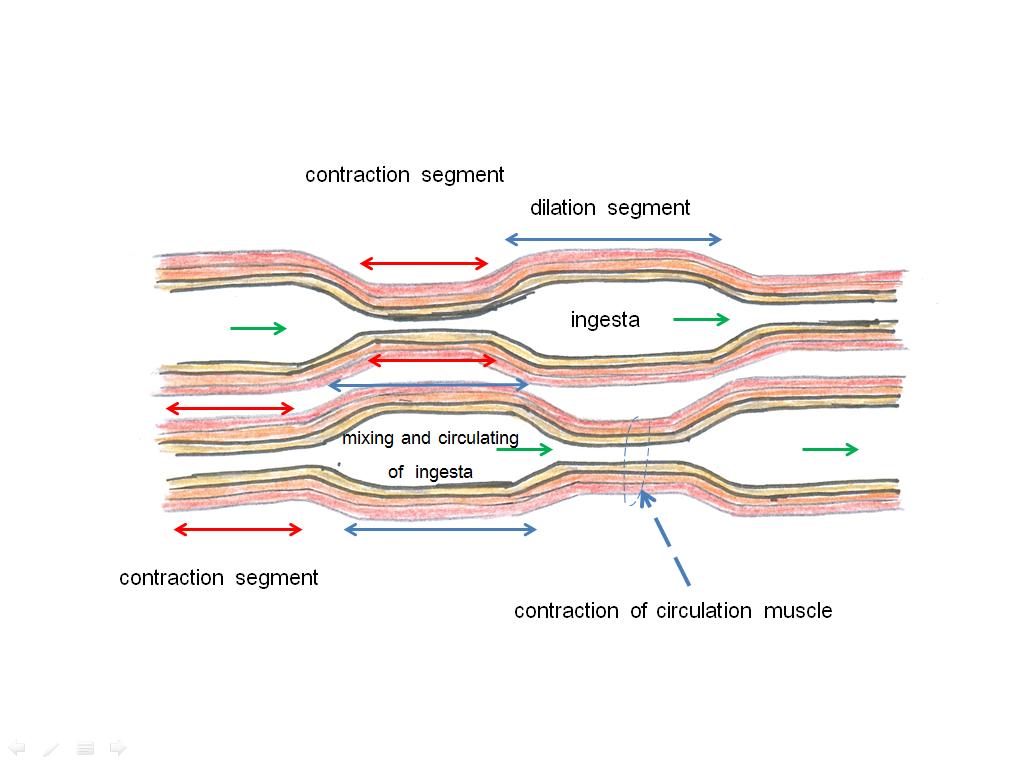
**- การเคลื่อนไหวแบบขย่อน (peristaltic movement)** เป็นการหดตัวเพื่อผลักดันอาหารให้ผ่านไปตามความยาวของลำไส้ เกิดจากกล้ามเนื้อเรียบที่อยู่ด้านหน้าและด้านท้ายของก้อนอาหารเกิดการหดตัว แต่ส่วนกล้ามเนื้อที่มีอาหารอยู่กล้ามเนื้อจะคลายตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารแบบลูกคลื่นเพื่อผลักดันอาหารไปส่วนท้ายของลำไส้ การหดตัวแบบนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับระบบประสาทอัตโนมัติและการหลั่งฮอร์โมนในท่อทางเดินอาหาร ลักษณะการเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งลำไส้



**ภาพที่ 6.10** แสดงการเคลื่อนไหวแบบขย่อน (peristaltic movement)

**ที่มา :**  ดัดแปลงจากHerdt and Sayegh (2013)

**- การหดตัวของลำไส้จะเกิดเป็นช่วง ๆหรือเป็นจังหวะ (rhythemic segmentation)** ส่วนใหญ่เป็นการหดตัวของลำไส้เพื่อคลุกอาหารกับน้ำย่อย



**ภาพที่ 6.11** แสดงการหดตัวของลำไส้แบบเกิดเป็นช่วงๆ หรือเป็นจังหวะ (rhythemic segmentation)

**ที่มา :**  ดัดแปลงจากHerdt and Sayegh (2013)

1. **ลำไส้ใหญ่ (large intestine)**

ลำไส้ใหญ่ แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนไส้ติ่งหรือไส้ตัน (caecum) เป็นท่อที่มีลักษณะปลายตันอยู่ติดกับลำไส้เล็กส่วนปลาย ความยาวและรูปร่างของไส้ติ่งในสัตว์เศรษฐกิจแต่ละชนิดจะต่างกันไป ไส้ติ่งในโค สุกร และม้า จะมีเพียง 1 อัน แต่ในไก่มี 2 อัน ในส่วนนี้จะมีการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกับการหมักอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ส่วนโคลอน (colon) เป็นส่วนของลำไส้ใหญ่ที่ต่อจากส่วนไส้ติ่ง แบ่งเป็น 3 ส่วน คือแอสเซนดิ้งโคลอน (ascending colon) ทราส์เวิอสโคลอน (transverse colon) และ แดสเซนดิ้งโคลอน (descending colon) ส่วนไส้ตรง (rectum) เป็นส่วนสุดท้ายของลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นท่อตรง มีขนาดเล็กและสั้นกว่าส่วนอื่น ในการศึกษาด้านการสืบพันธุ์และการผสมเทียมส่วนไส้ตรงคือบริเวณที่ใช้มือล้วงสอดเข้าไปเพื่อจับคอมดลูกขณะสอดปืนผสมพันธุ์ (breeding gun) เพื่อปล่อยน้ำเชื้อในมดลูก ใช้ล้วงคลำรังไข่เพื่อตรวจลักษณะของถุงไข่แก่ หรือ คอร์ปัส ลูเตียม รวมถึงใช้ล้วงคลำเพื่อการตรวจการตั้งท้องในโคได้

ลำไส้ใหญ่ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ส่วนอาหารที่ไม่ถูกย่อยจากลำไส้เล็กจะถูกกลุ่มแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ย่อยและใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งโดยใช้ขบวนการหมักอาหาร ลำไส้ใหญ่ยังเกี่ยวข้องกับการทำให้อาหารที่อยู่ภายในเคลื่อนตัวมาที่ส่วนปลายของลำไส้ใหญ่ (ไส้ตรง) เพื่อรอเวลาที่จะขับถ่ายออกจากร่างกายในรูปของอุจจาระ (feces)

การเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่เกิดขึ้นโดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเช่นกัน แบ่งการเคลื่อนไหวออกเป็น 3 ชนิด คือ

**- การเคลื่อนไหวของลำไส้แบบเป็นส่วน ๆ (segmentation movement)** เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อลำไส้ใหญ่เพื่อช่วยในการคลุกเคล้าในส่วนของโคลอน ซึ่งจะทำให้มีการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุได้เร็วขึ้น

**- การเคลื่อนไหวแบบขย่อน (peristatic movement)** เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้อาหารที่อยู่ภายในเคลื่อนตัวต่อไปยังลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ตรง เพื่อรอการขับถ่ายออกนอกร่างกาย

**- การเคลื่อนไหวแบบขย่อนเป็นก้อนๆ (mass peristalsis movement)** เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเฉพาะส่วนโคลอน ที่เกิดหดตัวขึ้นพร้อม ๆ กันเป็นบริเวณกว้าง เพื่อดันให้อาหารที่ไม่ย่อยหรือก้อนอุจจาระให้เคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วไปยังไส้ตรง การหดตัวนี้จะเกิดขึ้นตอนถ่ายอุจจาระเท่านั้น

**การถ่ายอุจจาระ (defecation)**

อุจจาระ (feces) มีส่วนประกอบคือ น้ำประมาณ 3 ส่วนและของแข็งประมาณ 1 ส่วน ส่วนของแข็งประกอบด้วยอาหารที่ไม่ย่อย เซลล์แบคทีเรียที่ตายแล้ว เซลล์ของเยื่อบุระบบทางเดินอาหาร สารอนินทรีย์ น้ำย่อย น้ำเมือกของท่อทางเดินอาหาร และน้ำดี เป็นต้น สีของอุจจาระส่วนใหญ่เป็นสีจากเม็ดสีในน้ำดี และกลิ่นเกิดจากสารต่าง ๆ ที่ได้จากการย่อยอาหารโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ การถ่ายอุจจาระเป็นหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ตรงและกล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อเรียบ (internal anal sphincter) และกล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อลาย (external anal sphincter) การถ่ายอุจจาระเป็นขบวนการที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาท เมื่อมีอุจจาระมาสะสมในส่วนของไส้ตรงมาก ๆ ผนังของไส้ตรงจะขยายตัวมากขึ้น จึงไปกระตุ้นประสาทรับความรู้สึกให้ส่งกระแสประสาทไปยังสมองโดยผ่านไขสันหลัง สมองจะสั่งการให้มีการหดตัวของกล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจออก ทำให้ความดันในช่องท้องและช่องอกสูงขึ้น มีผลให้กล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อเรียบ (internal anal sphincter) คลายตัว และเกิดการขับอุจจาระออกมาได้ การทำงานของกล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อเรียบเป็นการทำงานที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary control) ส่วนการทำงานของกล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อลาย (external anal sphincter) เป็นการทำงานแบบอยู่ในอำนาจจิตใจ (voluntary control)

1. **ช่องทวารหนัก (anus)**

เป็นส่วนปลายของท่อทางเดินอาหาร ทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายอุจจาระโดยตรง (defecation) บริเวณนี้มีกล้ามเนื้อหูรูด 2 ชนิด คือ กล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อเรียบ (internal anal sphincter) และกล้ามเนื้อหูรูดชนิดกล้ามเนื้อลาย (external anal sphincter)

ในสัตว์ปีกส่วนปลายสุดของท่อทางเดินอาหาร เรียกว่าส้วงทวาร (cloaca) เป็นท่อเปิดร่วมระหว่างท่อนำไข่และท่อทางเดินอาหารส่วนปลาย ในไก่ตัวเมียใช้เป็นบริเวณพักอุจาระและปัสสาวะรวมทั้งเป็นทางผ่านของฟองไข่ (สัตว์เพศเมีย) แต่ไก่ตัวผู้ใช้เป็นทางผ่านของน้ำเชื้อ ไก่ตัวผู้ส้วงทวารจะอยู่ตรงกลาง แต่ตัวเมียส้วงทวารจะถูกดันไปทางขวา เนื่องจากปลายของท่อนำไข่ที่อยู่ด้านซ้ายมีขนาดใหญ่กว่า ส่วนทางออกสุดท้ายที่ก้อนอุจาระและไข่หรือน้ำเชื้อจะถูกขับออก คือ รูเปิดที่ก้น (vent)

**1.2 อวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร**

1. **ตับ (liver)** เป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยต่อมมีท่อเรียงตัวกันอยู่มากมาย ตับอาจจัดว่าเป็นอวัยวะที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกาย ในสัตว์กินเนื้อเป็นอาหารจะมีตับขนาดใหญ่ ประมาณ 3-5 % ของน้ำหนักตัว สัตว์กินเนื้อและพืชเป็นอาหารจะมีตับขนาดรองลงมา คือ 2-3 % ของน้ำหนักตัว แต่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีตับขนาดเล็กที่สุดเท่ากับ 1-1.5 % ของน้ำหนักตัว สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิดในขณะที่เป็นลูกสัตว์หรือขณะที่กำลังเจริญเติบโตตับจะมีขนาดใหญ่กว่าสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว เนื่องจากเมื่อสัตว์โตเต็มที่จะมีการเสื่อมสลายของเซลล์ตับ เนื้อตับมีสีน้ำตาลแดง มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีตำแหน่งอยู่ในช่องท้องด้านหน้าเยื้องไปทางขวาติดกับเนื้อเยื่อกระบังลม ในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดเซลล์ตับ (hepatic cell) จะทำหน้าที่หลั่งน้ำดี (bile) น้ำดีที่ผลิตจะถูกรวบรวมเก็บไว้ในถุงน้ำดี (gall bladder) ส่วนท่อน้ำดีจะเป็นท่อยาวที่ต่อจากถุงน้ำดีไปเปิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น (common bile duct) แต่ม้าเป็นสัตว์ที่ไม่มีถุงน้ำดี ดังนั้นน้ำดีที่ผลิตจากเซลล์ตับจึงหลั่งออกจากเซลล์ตับส่งผ่านน้ำดีไปเปิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้นได้โดยตรง

น้ำดีเป็นของเหลวสีเหลือง ประกอบด้วย กรดน้ำดี (bile acid) และเกลือของน้ำดี (bile salt) นอกจากนี้ยังพบโปรตีนมิวซิน คลอเลสเตอรอล ฟอสฟอลิปิด และแร่ธาตุบางชนิด เช่นคลอไรด์อิออน (Cl-) แคลเซียมอิออน (Ca++) และเฟอร์รัสอิออน (Fe++)ด้วย สารสีเหลืองในน้ำดีเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการย่อยไขมัน ได้แก่ สารบิริเวอร์ดิน (biriverdin) และสารบิริรูบิน (bilirubin) ทำให้ไขมันเกิดการแตกตัว และแขวนลอยกระจายอยู่ทั่วไป เพื่อให้น้ำย่อยไขมันจากตับอ่อน (pancreatic lipase) สามารถเข้าย่อยสลายได้ง่าย สีเหลืองของน้ำดีเกิดจากฮีม (heme) ของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่หมดอายุขัยและถูกทำลายที่ม้าม เมื่อเซลล์เม็ดเลือดแดงถูกทำลายเซลล์ตับจะจับเฮโมโกลบินไว้แล้วแยกสลายโมเลกุลออกได้เป็นไพรัลริง (pyrole ring) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง ในกรณีที่เซลล์ตับเกิดอักเสบ หรือถูกทำลายความสามารถในการเปลี่ยนสีของน้ำดีจะลดลง จึงมีผลให้การควบคุมการหลั่งน้ำดีผิดปกติ น้ำดีจะไม่เข้าไปช่วยย่อยในการย่อยไขมัน แต่จะกระจายไปในกระแสเลือด และปรากฎให้เห็นตามบริเวณปาก ตา ชั้นเยื่อเมือก ทำให้เกิดสภาพด่างเหลืองหรือดีซ่าน ซึ่งเป็นผลมาจากตับอักเสบ

**หน้าที่ของตับ** มีดังนี้

* ผลิตน้ำดีเพื่อช่วยในการย่อยไขมันในส่วนลำไส้เล็ก
* เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของโปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน เช่น การสร้างยูเรียจากแอมโมเนีย การเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นไกลโคเจน การเปลี่ยนไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล (glycolysis) และยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน
* ทำหน้าที่ทำลายสารพิษจากร่างกาย (detoxification) เช่น การเปลี่ยนรูปของแอลกอฮอล์ให้เป็นน้ำ (H2O) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)
* สร้างสารโปรทรอมบิน (prothrombin) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด เซลล์ตับจะสร้างสารโปรทรอมบิน มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับไวตามินเค (K) ในร่างกาย
* เกี่ยวข้องกับการทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ และ เป็นแหล่งสะสมธาตุเหล็กไว้ใช้ในร่างกายต่อไป
* เป็นแหล่งสร้างเซลล์เม็ดเลือดในขณะที่สัตว์ยังเป็นตัวอ่อนอยู่ในท้องแม่
* ทำหน้าที่สร้างเกลือของกรดน้ำดี (bile salt)

**2) ตับอ่อน (pancreas)** เป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่เป็นทั้งต่อมมีท่อ (exocrine gland) และต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) โดยเนื้อเยื่อส่วนใหญ่เป็นเนื้อเยื่อส่วนของต่อมมีท่อ ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อย (pancreatic juice) เพื่อย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน โดยมีท่อเปิด (pancreatic duct) อยู่ที่ลำไส้เล็กส่วนต้นใกล้กับท่อเปิดของท่อน้ำดี เอ็นไซม์ที่สำคัญ ได้แก่ ไลเปส (lipase) ฟอสฟอไลเปส (phospholipase) และดีออกซิไรโบนิวคลีเอส (deoxyribonuclease) เป็นต้น เนื้อเยื่อส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อจะผลิตฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับของน้ำตาลกลูโคสในเลือด คือ ฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) และฮอร์โมนกลูคากอน (glucagon) ต่อมมีท่อในตับอ่อนจะหลั่งน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารตลอดเวลา โดยการควบคุมของฮอร์โมนซิครีติน เมื่อมีอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดจากกระเพาะอาหารส่วนปลายเข้ามาที่ลำไส้เล็ก จะทำให้เซลล์เยื่อบุในชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กหลั่งฮฮร์โมนซีครีตินออกมา จากนั้นฮฮร์โมนซีครีตินจะซึมผ่านทางกระแสเลือดไปทำให้เซลล์ของตับอ่อนผลิตและหลั่งน้ำย่อยออกมายังลำไส้เล็กด้วย

##### 2. ระบบย่อยอาหารของสัตว์ปีก

ระบบย่อยอาหารของสัตว์ปีก ประกอบด้วยท่อทางเดินอาหารและอวัยวะที่ช่วยย่อยอาหาร เช่นต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน ระบบย่อยอาหารของสัตว์ปีก ทำหน้าที่นำอาหารเข้าปาก ย่อยอาหาร ดูดซึมโภชนะไปใช้ประโยชน์ ในการดำรงชีพและเจริญเติบโตให้ผลผลิต รวมทั้งขับถ่ายของเสีย เช่นเดียวกับในสุกร โคและกระบือ แต่ส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหารจะแตกต่างกันไปบ้างตามลักษณะของอาหารที่กินดังนี้

**2.1 จงอยปาก (beak)** เป็นโครงสร้างของผิวหนังที่มีลักษณะแข็งแรง (keratinized epidermis) ปกคลุมส่วนหน้าของขากรรไกรบนและ ทำหน้าที่แทนริมฝีปากและฟันของสัตว์ปีก จึงใช้ในการฉีกและจับชิ้นอาหารเข้าปาก เนื่องจากส่วนขอบปากจะแหลมคมและใช้ในการจิกเพื่อต่อสู้ป้องกันตนเองได้ ในการเลี้ยงไก่เนื้อเพื่อการค้า จึงจำเป็นต้องมีการตัดปากไก่ หรือตัดจงอยปากด้านบนให้สั้นกว่าด้านล่าง เพื่อป้องกันการจิกตีกัน (cannibalism) และการคุ้ยเขี่ยอาหาร เพดานปากของสัตว์ปีกจะเป็นเพดานแข็งเท่านั้นและมีร่องติดต่อกับช่องจมูก จึงทำให้ไม่มีแรงดูดน้ำเข้าปาก ในเวลากินน้ำจึงต้องใช้จงอยปากกวักน้ำเข้าปากแล้วแหงนคอขึ้น เพื่อให้น้ำที่ไหลกินเข้าในหลอกคอ สัตว์ปีกเป็นสัตว์ที่มีต่อมน้ำลายเจริญดีมากเนื่องจากอาหารที่กินค่อนข้างแข็งและแห้ง น้ำลายที่ผลิตออกมาส่วนใหญ่จึงเป็นน้ำลายชนิดข้น (mucus) จึงช่วยหล่อลื่นเวลากลืนอาหาร

**2.2 หลอดอาหาร (esophagus)** มีผนังค่อนข้างบางและสามารถขยายขนาดได้มากกว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ใช้เป็นท่อลำเลียงอาหารจากปากเข้าสู่กระเพาะอาหาร ด้านท้ายของหลอดคอจะขยายตัวออกพองเป็นกระเปาะ เพื่อพักอาหาร เรียกว่ากระเพาะพัก (crop) ภายในมีเซลล์เยื่อบุผิวทำหน้าที่หลั่งน้ำเมือกเพื่อช่วยทำให้อาหารอ่อนนุ่ม ก่อนที่จะอาหารส่งต่อไปที่กระเพาะแท้ แต่ไม่มีการหลั่งน้ำย่อยหรือเอ็นไซม์ที่ใช้ย่อยอาหาร

**2.3 กระเพาะแท้ (proventriculus)** เป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่มีการผลิตน้ำย่อยสำหรับย่อยโปรตีน นอกจากนี้ยังมีการผลิตกรดเกลือเพื่อช่วยปรับสภาพภายในกระเพาะให้เหมาะกับการย่อยอาหาร

**2.4 กึ๋น หรือกระเพาะบด (gizzard)**  เป็นส่วนที่ต่อมากจากกระเพาะแท้ มีลักษณะเป็นกระเปาะเช่นเดียวกับกระเพาะแท้แต่มีขนาดใหญ่กว่า ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่หนาและแข็งแรง ภายในมีเม็ดกรวดและเม็ดทรายสะสมอยู่มากมาย จึงทำหน้าที่คล้ายกับฟันที่ช่วยบดย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง อาหารจะอยู่ในกิ๋นนานกว่าอยู่ในกระเพาะแท้

**2.5 ลำไส้เล็ก (small intestine)** แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนต้น (duodenum) ส่วนกลาง (julunum) และส่วนปลาย (ileum) ลำไส้เล็กส่วนต้นจะมีลักษณะคล้ายห่วงหรือรูปตัวยู (duodenal loop) เป็นบริเวณที่มีตับอ่อน (pancreas) ติดอยู่ ลำไส้เล็กส่วนต้นเป็นบริเวณที่มีท่อเปิดของน้ำย่อยจากตับอ่อนและท่อเปิดของท่อน้ำดี จึงเป็นส่วนที่มีการย่อยอาหารและการดูดซึมโภชนะเกิดขึ้นทั้งการย่อยคาร์โบไฮเดรท โปรตีน ไขมัน ไวตามินและแร่ธาตุต่างๆ บริเวณที่มีการดูดซึมโภชนะมักเป็นส่วนกลางและส่วนปลายของลำไส้เล็ก

**2.6 ลำไส้ใหญ่ (large intestine)** ส่วนของลำไส้ใหญ่ที่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์คือส่วนไส้ติ่งหรือไส้ตัน (caecum) ในไก่มีไส้ติ่งของ 2 อัน

**2.7 ส้วงทวาร (cloaca)** เป็นส่วนปลายของลำไส้ใหญ่ที่เป็นท่อเปิดร่วมระหว่างระบบย่อยอาหารและระบบสืบพันธุ์ ทำหน้าที่เป็นบริเวณพักอุจจาระและปัสสาวะ ในไก่เพศผู้ส้วงทวารจะอยู่ตรงกลางส่วนไก่เพศเมียส้วงทวารจะอยู่เยื้องไปทางขวา เนื่องจากปลายของท่อนำไข่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนรูเปิดที่ก้น (vent) คือ ช่องเปิดที่เป็นทางออกของมูลหรือไข่หรือน้ำเชื้อ อยู่ตรงปลายสุดของท่อทางเดินอาหารส่วนลำไส้ใหญ่ ในไก่มีความยาวประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร

##### 3. ฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร

ฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหารเป็นฮอร์โมนประเภทโปรตีน ทำหน้าที่กระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และตับอ่อน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำดีจากถุงน้ำดี และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของท่อทางเดินอาหาร ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารผลิตจากเซลล์เยื่อบุผิวในชั้นเยื่อเมือกของส่วนต่าง ๆ ของท่อทางเดินอาหาร ฮอร์โมนที่สำคัญได้แก่ แก๊สติน (gastrin) โคลีซีสโคไคนิน (cholecystokinin) และ ซีครีติน (secretin)

**- ฮอร์โมนแก๊สติน** เป็นฮอร์โมนที่ผลิตจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งกรดเกลือจากเซลล์เยื่อบุผิวของผนังกระเพาะ ทำให้เอ็นไซม์เปปซิโนเจน (pepsinogen) ที่ยังไม่สามารถทำงานได้เปลี่ยนไปเป็นเปปซิน (pepsin) และมีส่วนกระตุ้นให้ชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารเจริญเติบโต กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) และกลูคากอน (glucagon) จากตับอ่อน มีส่วนกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหูรูดในส่วนต่อระหว่างหลอดอาหารและกระเพาะหดตัว (cardiac sphincter) เพื่อป้องกันการย้อนกลับของอาหารเข้าสู่หลอดอาหาร การหลั่งฮอร์โมนแก๊สตินจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร เกิดจากการมีอาหารประเภทโปรตีน เช่น เปปไทด์และกรดอะมิโน ไหลเข้ามาในกระเพาะอาหาร การกระตุ้นจากระบบประสาทรับความรู้สึกของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) และการขยายตัวของผนังกระเพาะอาหารส่วนต้นเมื่ออาหารเคลื่อนเข้ามาสู่กระเพาะ

- **ฮอร์โมนโคลีซีสโคไคนิน** (cholecystokinin or pancreozymin) เป็นโปรตีนฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่หลั่งออกมาจากชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กตอนต้น ทำหน้าที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อเรียบของถุงน้ำดีหดตัวและน้ำดีหลั่งออกจากถุงน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็กตอนต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน และช่วยเพิ่มฤทธิ์ของฮอร์โมนซีครีติน การหลั่งฮอร์โมนโคลีซีสโคไคนิน เป็นผลจากการมีอาหารพวกไขมัน และกรดอะมิโนเข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้น

- **ฮอร์โมนซีคริติน** เป็นฮอร์โมนโปรตีนที่หลั่งจากชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กตอนต้น ทำหน้าที่กระตุ้นให้ท่อน้ำดี และต่อมมีท่อของตับอ่อนหลั่งสารที่มีฤทธิ์เป็นด่างออกมา เพื่อทำลายฤทธิ์ของกรดเกลือที่ปนมากับอาหารที่ไหลมาจากกระเพาะอาหาร ทำให้สภาพของอาหารที่เข้ามาในลำไส้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเคลื่อนไหวของกระเพาะ และช่วยยับยั้งการหลั่งกรดเกลือจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนซีครีตินเกิดจากค่าความเป็นกรดของอาหารที่มาจากกระเพาะ และผลผลิตจากการย่อยอาหารโปรตีนในกระเพาะอาหาร การหลั่งฮอร์โมนซีครีตินจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดของอาหารที่เข้ามาสู่ลำไส้เล็กลดลงหรือค่า pH ของอาหารสูงขึ้น

**4. สรีรวิทยาการย่อยอาหาร (physiology of digestion)**

สรีรวิทยาของการย่อยอาหารเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบย่อยอาหาร ในการทำหน้าที่ย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไปผ่านท่อทางเดินอาหารส่วนต่างๆ โดยมีเอ็นไซม์จากท่อทางเดินอาหาร หรือเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ในท่อทางเดินอาหาร และอวัยวะที่ช่วยย่อยอาหาร เช่นต่อมน้ำลาย ตับอ่อน และตับ ช่วยทำให้เกิดขบวนการต่าง ๆ เพื่อให้อาหารเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือทำให้ขนาดโมเลกุลของอาหารเล็กลง จนกระทั่งมีขนาดเหมาะสมที่จะสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในเซลล์ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้

**4.1 การย่อยอาหาร (digestion)**

**ขบวนการย่อยอาหาร** แบ่งได้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

**1) การย่อยโดยวิธีกล (mechanical digestion)** เป็นขบวนการทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กลง เพื่อให้อาหารมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเข้าย่อยโดยเอ็นไซม์ หรือ น้ำย่อยต่อไป การย่อยโดยวิธีกล ได้แก่ การเคี้ยวอาหารในปาก การบดอาหารในส่วนของกระเพาะบด (gizzard) ของสัตว์ปีก การบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่อยู่ล้อมรอบหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ด้วยการเคลื่อนไหวแบบขย่อน (peristatic movement) สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะรวมถึงการเคี้ยวเอื้อง (rumination) ด้วย

**2) การย่อยโดยวิธีเคมี (chemical digestion)** เป็นการย่อยอาหารโดยใช้เอ็นไซม์จากส่วนต่าง ๆ ของท่อทางเดินอาหาร และ อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร ได้แก่ เอ็นไซม์อะไมเลส (amylase) ในน้ำลาย เอ็นไซม์จากเซลล์เยื่อบุผิวของกระเพาะอาหาร (gastric juice) เอ็นไซม์จากตับอ่อน (pancreatic juice) และเอ็นไซม์จากลำไส้เล็ก (intestinal juice) เป็นต้น การย่อยอาหารโดยวิธีเคมีจะมีความสำคัญมากสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยเฉพาะการย่อยอาหารในส่วนของลำไส้เล็ก

**3) การย่อยโดยจุลินทรีย์ (microbial digestion)** เป็นการย่อยอาหารโดยใช้เอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย และโปรโตซัวที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน และ ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ติ่ง การย่อยอาหารแบบนี้อาจเรียกว่า การหมักอาหาร (fermentation) โดยจุลินทรีย์จะหลั่งน้ำย่อยหรือเอ็นไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรทเชิงซ้อน พวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ให้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids) ที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานได้ การย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะมีความสำคัญมากสำหรับสัตว์กระเพาะรวม

นอกจากนี้อาจแบ่งขบวนการย่อยอาหารออกตามลักษณะของท่อทางเดินอาหาร ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

**1) ขบวนการย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยว** ทั้งกลุ่มของสัตว์ที่กินเนื้อเป็นอาหารและสัตว์ที่กินทั้งเนื้อ และธัญพืชเป็นอาหาร เช่น สุนัข แมว สุกร ม้า กระต่าย และ สัตว์ปีก เป็นต้น

**2) ขบวนการย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะรวม** ได้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้องที่กินพืชอาหารสัตว์หรืออาหารหยาบเป็นอาหารหลัก เช่น โค กระบือ แพะ และ แกะ เป็นต้น

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปในร่างกายมีสารอาหาร หรือ โภชนะ (nutrient) ที่สำคัญ 6 กลุ่มด้วยกัน คือ น้ำ (water) โปรตีน (protein) คาร์โบไฮเดรท (carbohydrate) ไขมัน (lipid) ไวตามิน (vitamin) และ แร่ธาตุ (mineral) โดยกลุ่มโภชนะที่ให้พลังงาน (energy) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท ไขมัน และ โปรตีน สำหรับน้ำ ไวตามิน และแร่ธาตุจะเป็นกลุ่มโภชนะที่ไม่ได้ให้พลังงานแต่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีในร่างกาย (chemical reaction) หรือขบวนการเมตาโบลิซึมในร่างกาย

* + 1. **การย่อยอาหาร ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว**

1. **การย่อยอาหารในปาก** มีทั้งการย่อยโดยวิธีกล และวิธีทางเคมี เมื่ออาหารถูกนำเข้าปากอาหารจะถูกเคี้ยวทำให้มีขนาดเล็กลง มีการคลุกเคล้าอาหารผสมกับน้ำลาย เพื่อให้ชิ้นอาหารอ่อนนุ่ม และสะดวกในการกลืน ในสัตว์บางชนิด เช่น สุกร สุนัข และ ม้า ในน้ำลายจะมีเอ็นไซม์อะไมเลส หรือไทอาลิน ทำหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรทในอาหารได้บางส่วน
2. **การย่อยอาหารในกระเพาะ** สัตว์กระเพาะเดี่ยวจะมีลักษณะการย่อยอาหารในกระเพาะเช่นเดี่ยวกับการย่อยที่เกิดขึ้นในกระเพาะแท้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะส่วนนี้จะมีต่อมมีท่อ ทำหน้าที่ผลิตเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร (gastric juice) โดยเฉพาะเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น เปปซิน (pepsin) และ เรนนิน (rennin) เอ็นไซม์ที่ย่อยไขมัน เช่น ไลเปส (lipase) ที่มีมากในสัตว์กินเนื้อแต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีน้อย เนื่องจากกระเพาะมีสภาพความเป็นกรด จึงมีการย่อยไขมันน้อยมากและไม่มีเอ็นไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรท สภาพที่เป็นกรดในกระเพาะเกิดขึ้น เนื่องจากมีการหลั่งกรดเกลือจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร กรดเกลือจะเป็นตัวกระตุ้นให้เอ็นไซม์เปปซิน และเรนนินทำงานได้ เนื่องจากเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีนที่หลั่งออกมาจากต่อมมีท่อในกระเพาะอาหาร มักจะอยู่ในสภาพที่ยังทำงานไม่ได้ (inactive enzyme) คือ เอ็นไซม์เปปซิโนเจน (pepsinogen) และเอ็นไซม์โปรเรนนิน (prorennin) ในกระเพาะอาหารเอ็นไซม์เปปซินจะย่อยโปรตีนได้เป็นโปรทีโอส (proteose) เปปโตน (peptone) เปปไทด์ (peptide) และกรดอะมิโน (amino acids) ส่วนเอ็นไซม์เรนนินเป็นเอ็นไซม์ที่มีมากในกระเพาะของลูกสัตว์ขณะที่กินนมเป็นอาหาร เอ็นไซม์นี้จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนในนม คือเคซีน (casein) โดยการกระตุ้นของแคลเซียมอิออนได้เป็นแคลเซียมพาราเคซีน (calcium paracasein) ที่มีลักษณะเป็นก้อน ทำให้น้ำนมที่มีลักษณะเป็นของเหลวเกิดการตกตะกอนและเคลื่อนตัวช้าลงเอ็นไซม์เรนนิน จึงเข้าย่อยโปรตีนในน้ำนมเพื่อใช้ประโยชน์ได้

casein + rennin paracasein (ละลายน้ำได้)

paracasein + Ca++ calcium paracasein(ละลายน้ำไม่ได้)

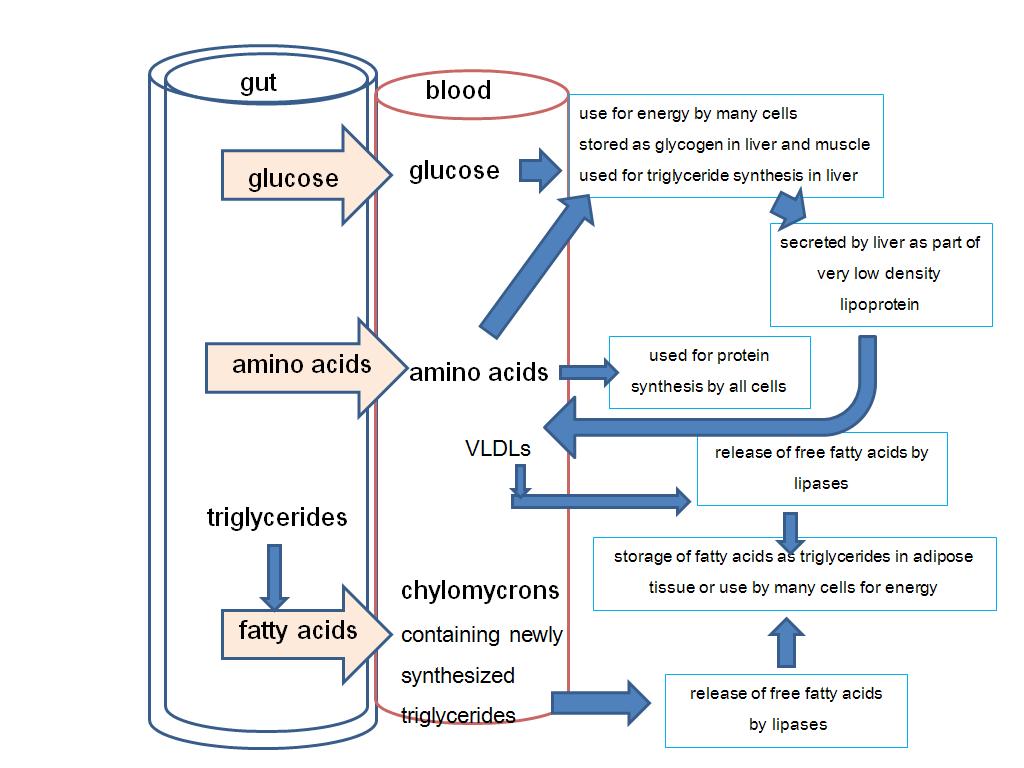
1. **การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก** ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์กระเพาะรวมมีความคล้ายคลึงกันมาก การย่อยอาหารโดยวิธีกลในลำไส้เล็กเป็นการย่อยโดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของลำไส้เล็ก ส่วนการย่อยโดยวิธีเคมีเกิดจากเอ็นไซม์ที่ผลิตจากเซลล์เยื่อบุในชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กและเอ็นไซม์จากตับอ่อน โภชนะที่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรท ไขมัน ไวตามิน และแร่ธาตุ ส่วนน้ำย่อยหรือเอ็นไซม์ที่สำคัญ ได้แก่เอ็นไซม์มอสเตส (maltase) ย่อยน้ำตาลมอลโตส (maltose) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล เอ็นไซม์ไลเปส (lipase) ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระและโมโนกลีเซอไรด์ เอ็นไซม์ทริปซิน (trypsin) ย่อยโปรตีนให้เป็นเปปโตน โปรตีโอส โพลีเปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นต้น

**4) การย่อยอาหารในลำไส้ใหญ่** สัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์กระเพาะเคี้ยวเอื้องผนังของลำไส้ใหญ่จะไม่มีการสร้างน้ำย่อยเพื่อย่อยอาหารแต่อย่างใด หน้าที่โดยตรงของลำไส้ใหญ่คือการขับถ่ายอุจาระ และการดูดซึมน้ำกลับเข้าสู่ร่างกาย ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์กระเพาะรวมและสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่สามารถกินได้ทั้งเนื้อและธัญพืช มีการพัฒนาของส่วนลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (ส่วนไส้ติ่ง)ให้เป็นบริเวณที่เกิดการหมักอาหารจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่มากมาย ส่วนใหญ่จุลินทรีย์จะผลิตเอ็นไซม์เพื่อย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรท แต่ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าการย่อยในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์ไวตามินบีรวม และไวตามินเคจากจุลินทรีย์ด้วย การย่อยอาหารในลำไส้ใหญ่จึงเป็นการย่อยโดยวิธีกลและการย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์

**4.1.2 การย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะรวม**

1. **ในปากของสัตว์กระเพาะรวม** น้ำลายจะไม่มีเอ็นไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรท แต่ในลูกสัตว์จะมีเอ็นไซม์ที่ใช้ย่อยไขมัน คือ เอ็นไซม์พรีแก๊สติกไลเปส (pregastric lipase) ทำหน้าที่ย่อยไขมันในกลุ่มบิวทีริก แต่เอ็นไซม์นี้จะหมดไปเมื่อหย่านมลูกสัตว์ การเคี้ยวอาหารในปากของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะแตกต่างกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากเป็นการบดเคี้ยวอาหารตามแนวนอน และมีการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลาย เพื่อให้อาหารเป็นก้อนและกลืนได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีขบวนการเคี้ยวเอื้องเกิดขึ้นในปากด้วย
2. **การย่อยอาหารในกระเพาะรวม**  แยกออกเป็น 2 ส่วนคือ การย่อยอาหารในกระเพาะอาหารส่วนหน้าซึ่งประกอบด้วย กระเพาะรูเมน กระเพาะรังผึ้ง และกระเพาะสามสิบกลีบ และการย่อยอาหารในกระเพาะแท้

* **การย่อยอาหารในกระเพาะอาหารส่วนหน้า** เนื่องจากที่ผนังของกระเพาะส่วนหน้าจะเป็นบริเวณที่มีเยื่อบุผิวที่ไม่มีต่อมมีท่อปรากฏอยู่ จึงไม่มีเอ็นไซม์ที่ผลิตจากท่อทางเดินอาหารสำหรับใช้ย่อยอาหารเลย จึงแตกต่างจากการย่อยอาหารในกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยวการย่อยอาหารในส่วนกระเพาะส่วนหน้าจึงเป็นการย่อยอาหารโดยใช้เอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ดังนั้นการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนจึงเกิดจากการย่อยโดยวิธีกล วิธีเคมีและการย่อยโดยจุลินทรีย์ การย่อยโดยวิธีกลเป็นการย่อยที่เกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อกระเพาะรูเมนที่ทำให้กระเพาะเกิดการเคลื่อนไหว การบีบตัวและการเคลื่อนไหวของกระเพาะมีส่วนช่วยทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้การบีบตัวของกระเพาะเรคติคิวลัมยังมีส่วนช่วยในการขยอกอาหารชิ้นใหญ่กลับไปในปากเพื่อเคี้ยวเอื้องด้วย สำหรับการย่อยโดยใช้จุลินทรีย์เกิดจากเอ็นไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัว ซึ่งจะย่อยอาหารทั้งกลุ่มของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรท ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโปรปิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าไปในระบบไหลเวียนของเลือดไปยังตับ จากนั้นจึงถูกนำไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อถูกใช้เป็นพลังงานต่อไป กรดโปรปิโอนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคส ซึ่งอาจถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลในนมหรือนำไปสร้างเป็นไขมันในร่างกาย แต่ส่วนใหญ่กรดอะซิติกและกรดบิวทิริกจะถูกนำไปสร้างเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย โดยกรดอะซิติกบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็นไขมันในน้ำนม นอกจากกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็นกรดไขมันระเหยได้แล้ว ยังถูกนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ด้วย เมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวผ่านเข้าไปในกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก จะถูกย่อยได้เป็นกรดอะมิโน และถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ได้อีก แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการย่อยโปรตีน และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนนอกจากจะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์แล้ว บางส่วนยังถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปที่ตับและถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียได้ ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ บางส่วนจะหมุนเวียนกลับไปใช้ประโยชน์ในกระเพาะรูเมน โดยผ่านทางน้ำลายและการดูดซึมผ่านที่ผนังกระเพาะรูเมน บางส่วนของกรดอะมิโนที่เป็นผลผลิตจากการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถสร้างไวตามินบีรวมและไวตามินเคได้ด้วย
* **การย่อยอาหารในกระเพาะแท้** เป็นการย่อยโดยวิธีกล และวิธีเคมี ซึ่งใช้เอ็นไซม์ที่ผลิตจากเซลล์เยื่อบุผิวของชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารเช่นเดียวกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว



**ภาพที่ 6.12**  ผลผลิตจากการย่อยอาหาร และการดูดซึมโภชนะ

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Frandson et al. (2009)

##### 4.2 การดูดซึมโภชนะ (diffusion)

เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นที่เซลล์เยื่อบุผิวของชั้นเยื่อเมือกในท่อทางเดินอาหาร หลังจากที่อาหารถูกย่อยให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง จนกระทั่งสามารถที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุผิวของท่อทางเดินอาหารได้ โดยทั่วไปโภชนะของอาหารที่จะถูกดูดซึมได้ต้องละลายอยู่ในของเหลวที่อยู่ระหว่างเซลล์ (interstitial fluid) เสียก่อน กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมอาหารมีหลายกลไก ทั้งกลไกที่ไม่ใช้พลังงาน (passive transport) และกลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active transport) กลไกที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายสารหรือโภชนะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือผนังของเซลล์เมมเบรน ได้แก่

**ก. กลไกที่ไม่ใช้พลังงานหรือขบวนการที่ไม่ใช้พลังงาน (passive transport)** ได้แก่

**- ขบวนการขนส่งสารที่มีโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ (pinocytosis or phagocytosis or endocytosis)** โดยโมเลกุลของสารนั้นจะเบียดดันเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป หรือโมเลกุลนั้นถูกเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และไซโตพลาสซึมของเซลล์เข้าโอบล้อม จนกระทั่งโมเลกุลของสารนั้นหลุดเข้าไปในเซลล์ได้ในลักษณะถุงเล็ก ๆ (vesicle) การดูดซึมแบบนี้ไม่ต้องการพลังงานจาก ATP โภชนะที่มีการดูดซึมลักษณะนี้ ได้แก่ นมน้ำเหลือง

**- ขบวนการออสโมซีส (osmosis)** เป็นการดูดซึมโภชนะโดยโภชนะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับโมเลกุลของน้ำที่ละลายตัวอยู่ จากนั้นโมเลกุลของสารหรือโภชนะที่ละลายอยู่จะเคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุผิวของท่อทางเดินอาหาร ผ่านทางรูของเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุท่อทางเดินอาหาร (membrane pore) เป็นการดูดซึมโดยไม่ใช้พลังงานในรูป ATP ในการขนส่งเช่นกัน

**- ขบวนการดิฟิวชั่น (diffusion)** หรือ ขบวนการแพร่ เป็นขบวนการดูดซึมสารโดยมีการเคลื่อนตัวของโมเลกุลของโภชนะตามความเข้มข้นของสาร โมเลกุลของสารจะเคลื่อนตัวจากที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ขบวนการนี้ไม่ต้องการพลังงานในการขนส่งสารและไม่ต้องการตัวพา (carrier) เช่น การดูดซึมกรดไขมัน และคลอเรสเตอรอล ผ่านส่วนไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็ก

**- ขบวนการขนส่งโภชนะโดยอาศัยตัวพา** หรือตัวช่วยขนส่งสารที่เป็นสารประกอบทางเคมี เช่น โคเอนไซม์ (coenzyme) ชนิดต่าง ๆ (facilitated diffusion) ตัวนำหรือตัวช่วยขนส่งสารจะมีความจำเพาะต่อโมเลกุลหรือสาร ที่จะนำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน (specificity) หรือตัวนำจะมีจุดที่เกาะ (binding site) กับสารหรือโมเลกุลที่จะนำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้ตัวพาหรือตัวช่วยขนส่ง อาจจะมีขีดจำกัดในการเกาะกับโมเลกุลที่จะส่งผ่าน หรือมีการแก่งแย่งกัน(competition) ระหว่างตัวนำสารแต่ละชนิดก็ได้

**ข. กลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active transport)** เป็นขบวนการขนส่งโภชนะที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยใช้พลังงานในรูป ATP และตัวพา นอกจากนี้จะต้องใช้เอ็นไซม์ (ATPase) ด้วย ซึ่งสามารถขนส่งสารจากที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังที่มีความเข้มข้นสูงกว่าได้ เช่น การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสที่ผนังของเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็ก การดูดซึมกรดอะมิโน และการขนส่งโซเดียมอิออน (Na+ ) ออกจากเซลล์

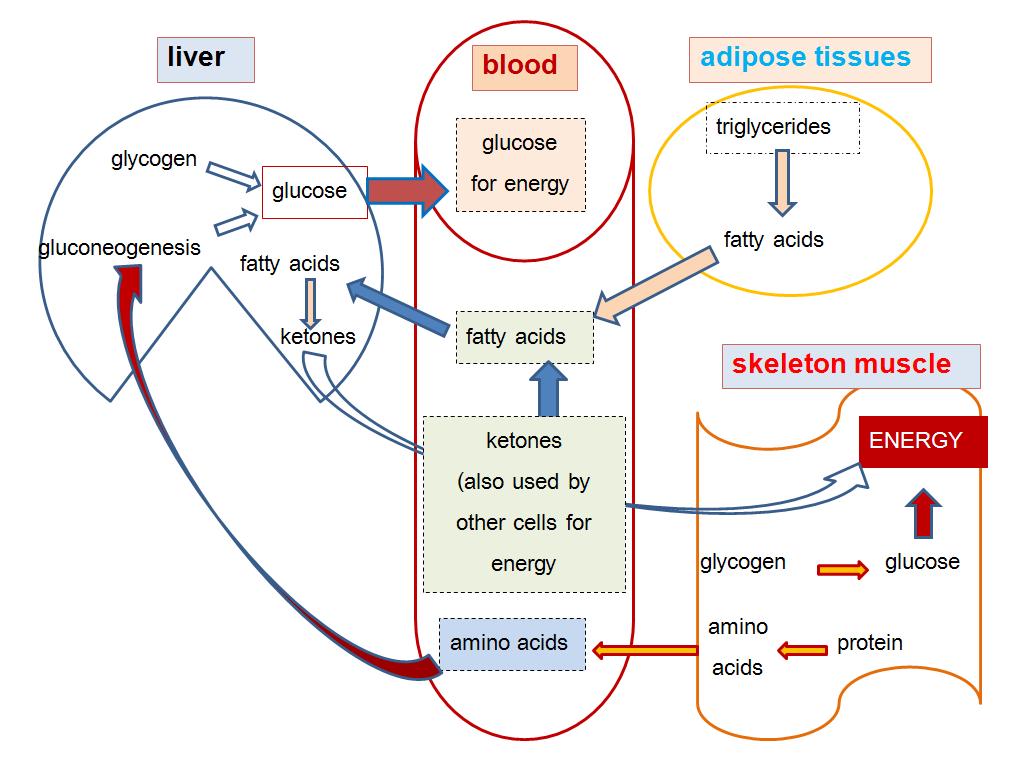
หลังจากที่โภชนะในอาหาร เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ถูกดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุในชั้นเยื่อเมือกของท่อทางเดินอาหาร เช่น ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวโภชนะที่ดูดซึมกระเพาะอาหารคือกรดอะมิโน หรือ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน จะถูกดูดซึมที่วิลไลของลำไส้เล็ก จากนั้นโภชนะดังกล่าวจะผ่านเข้าระบบไหลเวียนของเลือดผ่านตับและหัวใจ เพื่อส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายต่อไป กรณีการดูดซึมโภชนะที่กระเพาะส่วนหน้า (กระเพาะรูเมน กระเพาะเรคติคิวลัม และกระเพาะโอมาซัม) มีการดูดซึมผลผลิตที่เกิดจากการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก กรดบิวทีริก กรดวาลิวริก (valeric acid) ผลผลิตดังกล่าวจะถูกดูดซึมที่ผนังเซลล์เยื่อบุของกระเพาะรูเมน ผ่านเข้าระบบไหลเวียนของเลือดเพื่อไปที่ตับ (portal system) เช่นกัน

สำหรับการดูดซึมโภชนะที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กจะมี 2 ทาง คือดูดซึมเข้าเส้นเลือดดำฝอย และเส้นน้ำเหลืองฝอยที่อยู่ ที่แกนกลางของวิลไลที่ลำไส้ โภชนะที่ดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อบุของลำไส้เข้าระบบไหลเวียนของเลือดโดยผ่านเส้นเลือดดำที่ไปตับ (hepatic portal vein) ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน เกลือแร่ และไวตามินที่ละลายน้ำ จากนั้นโภชนะที่ถูกดูดซึมไปจะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ตับส่วนแอ่งเลือดในเนื้อตับ (liver sinusoids) แล้วจะเข้าสู่เส้นเลือดดำจากตับไปหัวใจ (hepatic vein) ซึ่งส่งเลือดดำเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา สำหรับโภชนะที่ดูดซึมผ่านทางเส้นน้ำเหลือง ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล และไวตามินชนิดที่ละลายในไขมัน กรดไขมันที่มีสายสั้น ๆ จะไปรวมตัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ในเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กจะผ่านเข้าสู่เส้นเลือดดำที่ไปตับ (hepatic portal vein) ไปรวมตัวกับกลีเซอรอลเข้าสู่ขบวนการไกลโคไลซีส และวัฏจักรเครบส์ต่อไป ส่วนกรดไขมันสายยาว ๆ ที่จะต้องรวมตัวกันเป็นไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ใหม่ (reesterification) ที่ผนังเซลล์เยื่อบุของลำไส้ จากนั้นจะผ่านเข้าเส้นน้ำเหลืองฝอยที่แกนกลางของวิลไลในรูปของสารไคลโรไมครอน (chylomicron) แล้วเข้าสู่ท่อน้ำเหลืองที่ช่องอก (thoracic duct) และเข้าระบบเส้นเลือดดำเข้าสู่หัวใจทางด้านบนขวาต่อไป

##### 5. การเมตาโบลิซึมของโภชนะ (nutrient metabolism)

หลังจากที่โภชนะถูกนำเข้าสู่เซลล์ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โภชนะจะมีเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหลาย ๆ อย่าง ทั้งขบวนการสร้าง (anabolism) และขบวนการทำลาย (catabolism) โดยทั้งสองขบวนการมีผลต่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตของร่างกาย โภชนะในอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน เป็นโภชนะที่สามารถให้พลังงานแก่ร่างกายได้ คาร์โบไฮเดรทเป็นโภชนะที่ให้พลังงานที่มีราคาถูกกว่าไขมัน และโปรตีน คาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อยแล้วส่วนใหญ่ดูดซึมผ่านผนังลำไส้ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานโดยผ่านขบวนการไกลโคไลซีส (glycilysis) และวัฏจักรเครบส์ (Kreb’s cycle) น้ำตาลกลูโคสที่มีมากเกินความต้องการใช้พลังงานของร่างกาย จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจน (glycogen) เก็บสะสมไว้ที่เซลล์ตับ และกล้ามเนื้อ หรือถูกเปลี่ยนเป็นไขมันในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เก็บสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่นไขมันในช่องท้อง และไขมันใต้ผิวหนัง ในสัตว์กระเพาะรวมการย่อยคาร์โบไฮเดรททในกระเพาะรูเมนจะให้ผลผลิตคือกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าไปสู่กระแสเลือด แล้วนำไปสร้างเป็นแหล่งพลังงานสำหรับร่างกายได้ โดยผ่านทางวัฎจักรเครบส์ บางส่วนถูกสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลในนม ไขมันในร่างกาย และไขมันในน้ำนม เป็นต้น

ไขมันส่วนใหญ่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก ไขมันที่เกินความต้องการจะถูกเก็บสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อไขมันตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและที่เซลล์ตับ สำหรับกรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลที่เล็กที่สุดของโปรตีน หลังจากที่ดูดซึมเข้าระบบไหลเวียนของเลือดแล้ว จะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายนอกจากนั้นจะถูกสร้างเป็นเอ็นไซม์ และฮอร์โมนต่าง ๆ ด้วย



**ภาพที่ 6.13** แสดงการเมตาโบลิซึมของโภชนะหลังจากการดูดซึม

**ที่มา:** ดัดแปลงจากFrandson et al. (2009)