

บทที่ 6

ระบบย่อยและดูดซึมอาหารของสัตว์

อาหารที่ให้สัตว์กินจะประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ซึ่งมีอนุภาคใหญ่อยู่ในรูปที่ร่างกายไม่สามารถดูดซึมเข้าสู่เส้นเลือดและเส้นน้ำเหลือง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงต้องมีการแปรสภาพให้โมเลกุลเล็กลงอยู่ในรูปที่ดูดซึมได้ เช่น โปรตีนมีอนุภาคเล็กที่สุด ได้แก่ กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรตมีอนุภาคเล็กที่สุด ได้แก่ โมโนแซคคาไรด์ เช่น กากูโคส ฟรุกโตส กาแลคโตส และแมนโนส ไขมันมีอนุภาคเล็กที่สุด ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ เช่น กรดไขมันและกลีเซอรอล การเปลี่ยนแปลงอาหารในทางเดินอาหาร เรียกว่า การย่อยอาหาร เมื่ออาหารถูกย่อยจนมีอนุภาคเล็กลงอยู่ในรูปสารละลาย จะถูกดูดซึมผ่านเยื่อชุ่มเข้าสู่เส้นเลือดหรือเส้นน้ำเหลือง เพื่อนำไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เรียก การดูดซึมอาหาร

6.1 การย่อยอาหาร (digestion)

การย่อยอาหาร หมายถึง ขบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารในทางเดินอาหาร โดยการทำให้อาหารแตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ มีส่วนประกอบง่าย ๆ จนสามารถดูดซึม (absorb) ผ่านผนังทางเดินอาหารเข้าสู่เส้นเลือดหรือเส้นน้ำเหลือง เพื่อให้ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ขบวนการย่อยอาหาร แบ่งเป็น 3 วิธีคือ

1. การย่อยโดยวิธีกล (mechanical digestion) เป็นการบดเคี้ยวอาหาร (chewing หรือ mastication) ในปากหรือการบดอาหารในก้นของไก่ ทำให้อาหารมีขนาดเล็กกลง

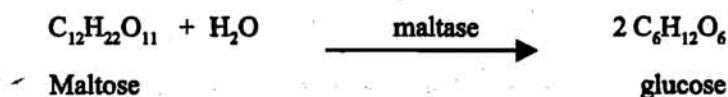
2. การย่อยโดยวิธีเคมี (chemical digestion) เป็นการย่อยอาหารโดยอาศัยการทำงานของน้ำย่อยและสารประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ผลิตขึ้นจากอวัยวะต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ลำไส้เล็ก (non enzymatic substance) ได้แก่ น้ำดี กรดเกลือ อาหารส่วนใหญ่จะถูกแปรสภาพโดยวิธีนี้

3. การย่อยโดยจุลินทรีย์ (microbial digestion) เป็นการย่อยอาหารโดยอาศัยจุลินทรีย์ และ โปรโตซัว ซึ่งการย่อยนี้จะพบมากในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ ของสัตว์กระเพาะเคี้ยว เช่น ม้า เป็ด ไก่ และสุกร ที่กินอาหารหยาบมีเยื่อใยสูง โดยเยื่อใยจะถูกย่อย เป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) เป็นต้น ซึ่งร่างกายสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ได้ต่อไป

6.2 น้ำย่อยและสารประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ช่วยในการย่อยอาหาร

6.2.1 น้ำย่อย (enzyme)

น้ำย่อยเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกโปรตีนที่สร้างขึ้นจากต่อมต่าง ๆ ที่อยู่ตาม ผังทางเดินอาหารหรืออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร เช่น ตับ ตับอ่อน น้ำย่อยมีหน้าที่ช่วยเร่ง ปฏิกริยาทางเคมีของอาหารในการสลายตัวให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ก่อนดูดซึมเข้าสู่เส้นเลือดหรือ เส้นน้ำเหลือง โดยตัวน้ำย่อยจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ขบวนการย่อยอาหารโดยใช้น้ำย่อยจะมีน้ำ เกี่ยวข้องอยู่ด้วย จึงเรียกขบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เช่น การย่อยน้ำตาลมอลโตสให้เป็นกลูโคส โดยน้ำย่อยมอลเตส



ก. น้ำย่อยแบ่งเป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. คาร์โบไฮเดรต (carbohydrase) เป็นน้ำย่อยที่ช่วยย่อยอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ไทยาลิน (ptyalin) อะมิเลส (amylase) ซูเครส (sucrase) แลกเตส (lactase) และมอลเตส (maltase)

2. โปรตีนเอส (proteinase) เป็นน้ำย่อยที่ช่วยย่อยอาหารพวกโปรตีน แบ่งเป็น 2 พวกคือ

2.1. น้ำย่อยที่ย่อยส่วนกลางโมเลกุลของโปรตีน เรียกว่า เอ็นโดเปปติเดส (endopeptidase) เช่น เปปซิน (pepsin) ทริปซิน (trypsin) และไคโมทริปซิน (chymotrypsin)

2.2. น้ำย่อยที่ย่อยส่วนปลายโมเลกุลของโปรตีน เรียกว่า เอ็กโซเปปติเดส (exopeptidase) เช่น คาร์บอกซีเปปติเดส (carboxypeptidase) ย่อยเฉพาะส่วนปลายโมเลกุลโปรตีน ที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ (free carboxyl group) อะมิโนเปปติเดส (aminopeptidase) ย่อยเฉพาะ ส่วนปลายของโมเลกุลโปรตีนที่มีกลุ่มอะมิโนอิสระ (free amino group) ไดเปปติเดส (dipeptidase) ย่อยไดเปปไทด์ (dipeptide) ได้ กรดอะมิโน 2 โมเลกุล

3. ไคเอสเทอเรสหรือเอสเทอเรส (diesterase หรือ esterase) เป็นน้ำย่อยที่ช่วย ย่อยอาหารพวกไขมัน ได้แก่ ไลเปส (lipase)

ข. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการย่อยของน้ำย่อย

1. ระดับความเป็นกรดค้างในทางเดินอาหาร (pH) น้ำย่อยแต่ละชนิดจะทำงาน ได้ดีที่ระดับความเป็นกรดค้างต่างกัน เช่น น้ำย่อยของกระเพาะจะทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็น กรด น้ำย่อยของลำไส้เล็กจะทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็นด่าง

2. อุณหภูมิ น้ำย่อยจะย่อยได้ดีที่อุณหภูมิปกติ ถ้าสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ การทำงานของน้ำย่อยช้าลง

3. โลหะหนัก เช่น ทองแดง ตะกั่ว จะทำให้น้ำย่อยหยุดทำงาน เนื่องจากโลหะ เหล่านี้ทำให้โปรตีนของน้ำย่อยจับตัวตกตะกอน คุณสมบัติในการย่อยของน้ำย่อยจึงหมดไป

6.2.2 ส่วนประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ช่วยย่อยอาหาร

ก. กรดเกลือ (HCl) ผลิตจากผนังของกระเพาะในส่วน fundrus region ทำหน้าที่

1. กระตุ้นการเปลี่ยนน้ำย่อยเปปซินโนเจน (pepsinogen) ซึ่งผลิตจากผนังของ กระเพาะอาหาร ให้เป็นเปปซิน

2. ช่วยให้กระเพาะมีสภาพเป็นกรด เหมาะสำหรับน้ำย่อยเปปซินในการย่อย โปรตีน

3. ช่วยฆ่าจุลินทรีย์ในกระเพาะที่ติดไปกับอาหาร (antiseptic)

ข. น้ำดี (bile) ผลิตจากตับแล้วส่งไปเก็บในถุงน้ำดี (gall bladder) ก่อนปล่อยเข้าสู่ ลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) โดยผ่านทางท่อน้ำดี น้ำดีมีลักษณะใส สีเหลืองปนน้ำตาล มีรสขม pH ประมาณ 7-8 ประกอบด้วย เกลือโซเดียมและโปแตสเซียมของกรดน้ำดี ซึ่งส่วนใหญ่คือ กรด

ไกลโคคอลลิกและกรดทอโรคอลลิก (glycocholic acid และ taurocholic acid) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย bile pigment คือ biliverdin และ bilirubin ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายฮีโม (heme) ในเม็ดเลือดแดง ที่เหลือเป็นคลอเรสเตอรอล กรดไขมัน และ สารเมือก (mucin) เป็นต้น น้ำดีทำหน้าที่ช่วยปรับสภาพของอาหารให้เป็นด่างและช่วยทำให้ไขมันแตกตัวในรูปสารแขวงลอย (emulsion) เพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อน้ำย่อยไลเปสทำงานได้สะดวกขึ้น และกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยไลเปส การหดตัวของถุงน้ำดีควบคุมโดยฮอร์โมนคอลลิสติกโตโคติน (cholecystokinin) หลังจากลำไส้เล็กส่วนต้น

6.3 อวัยวะประกอบของระบบย่อยอาหาร

6.3.1 ตับ (liver) เป็นที่สร้างน้ำดี ซึ่งมีลักษณะสีเขียวมีความเป็นด่าง และน้ำดีจะถูกเก็บในถุงน้ำดี ซึ่งจะถูกส่งไปยังลำไส้เล็ก ตับเป็นที่กักเก็บอาหารที่ย่อยแล้ว ก่อนส่งไปสู่เส้นเลือดเป็นที่เก็บไกลโคเจน (glycogen) หรือแป้งสัตว์ และเป็นที่เปลี่ยนกากของโปรตีนเป็นกรดยูริก เพื่อสะดวกแก่การขับถ่ายของไต

6.3.2 ตับอ่อน (pancreas) ตับอ่อนเป็นต่อมขนาดใหญ่อยู่ระหว่างลำไส้เล็กตอนบน ตับอ่อนเป็นทั้งต่อมมีท่อ (exocrine gland) และต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) ทำหน้าที่ผลิตทั้งน้ำย่อยและฮอร์โมน น้ำย่อยจากตับอ่อนเรียก แพนครีติคจื๊ว (pancreatic juice) ส่งไปยังลำไส้เล็กตอนต้นโดยทาง pancreatic duct เพื่อย่อยแป้ง โปรตีน และไขมัน น้ำย่อยจากตับอ่อนมีลักษณะเป็นด่างใส เนื่องจากมีไบคาร์บอเนต เพื่อปรับสภาพกรดของอาหารจากกระเพาะ น้ำย่อยโปรตีนจากตับอ่อนมี 3 ชนิดคือ ทริปซิน ไคโมทริปซิน และคาร์บอกซีเปปติเดส โดยทริปซินจะอยู่ในรูปทริปซิโนเจน ไคโมทริปซินจะอยู่ในรูปไคโมทริปซิโนเจน และคาร์บอกซีเปปติเดสจะอยู่ในรูปโปรคาร์บอกซีเปปติเดส ซึ่งจะมีฮอร์โมนจากลำไส้เล็กคือ เอ็นเทอโร ไคเนสและน้ำย่อยทริปซินเองมากระตุ้นให้อยู่ในรูปทำงานได้ (active) น้ำย่อยไขมันจากตับอ่อนคือ ไลเปส และน้ำย่อยคาร์โบไฮเดรตจากตับอ่อนคือ อะมิเลส

การหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน เกิดขึ้นโดย

1. การกระตุ้นทางประสาท (neural stimulation) เช่น การเคี้ยวของอาหารในปาก การเห็น หรือ ได้กลิ่นอาหาร ควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ

2. การกระตุ้นโดยฮอร์โมน (hormone stimulation) ฮอร์โมนที่สร้างขึ้นจาก ส่วนของลำไส้เล็กตอนต้น คือ ฮอร์โมนซีครีติน (secretin) ทำหน้าที่กระตุ้นให้ตับอ่อนขับของ เหลวใส ๆ ที่มีความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตสูง แต่มีน้ำย่อยน้อยออกมา และคอลลีคิสโตไคนิน (cholecystokinin, CCK) หรือ แพนครีโอไซมิน (pancreozymin, PZ) ทำหน้าที่ กระตุ้นตับอ่อนให้ ขับโปรเอนไซม์ (proenzym) และน้ำย่อยอื่น ๆ เข้าไปใน pancreatic juice และกระตุ้นให้ถุงน้ำดีหด ตัวปล่อยน้ำดีออกมาด้วย

นอกจากนี้ตับอ่อนยังสร้างฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) จากกลุ่มเซลล์ไอลิตสออฟ- แลงเกอร์ฮานส์ (Islets of Langerhans) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยรักษาระดับของการใช้ประโยชน์จาก น้ำตาล (sugar metabolism) ในกระแสเลือด

6.3.3 ม้าม (spleen) เป็นที่แยกเม็ดเลือดแดงที่เสียแล้วและเป็นที่ยกษัตริ์

6.4 ทางเดินอาหาร (digestive tract หรือ gastrointestinal tract หรือ GI tract)

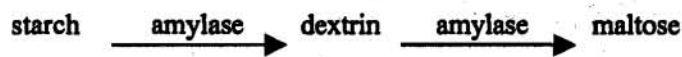
ทางเดินอาหารเป็นส่วนของร่างกายที่อาหารผ่าน เริ่มตั้งแต่ปากจนถึงทวารหนัก มีลักษณะ เป็นท่อยาวผนังด้านในบุด้วยเยื่อชุ่ม (mucous membrane) ซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกและยืดหยุ่นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ทางเดินอาหารถูกย่อยด้วยน้ำย่อยของตนเอง ในทางเดินอาหารบางตอนจะมีช่อง เปิดของน้ำย่อยที่ส่งมาจากอวัยวะส่วนอื่น ๆ เช่น จากตับอ่อน นอกจากนี้อวัยวะทางเดินอาหารบาง ส่วนยังมีต่อมน้ำย่อยฝังอยู่ เพื่อผลิตน้ำย่อยออกมาย่อยอาหารและช่วยในการหล่อลื่น ทำให้อาหาร เคลื่อนได้สะดวก และบางส่วนของทางเดินอาหารจะมีลักษณะพิเศษ เพื่อช่วยดูดซึมอาหารที่ถูก ย่อยแล้ว

ทางเดินอาหารแบ่งตามลักษณะทางกายภาพและการทำงานได้ 2 ชนิดคือ

1. ทางเดินอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว (monogastric digestive system) สัตว์ที่มีระบบ ทางเดินอาหารแบบนี้ ได้แก่ สุนัข ม้า สัตว์ปีก สุนัข แมว เป็นต้น
2. ทางเดินอาหารสัตว์กระเพาะรวม (ruminant digestive system) สัตว์ที่มีระบบทาง เดินอาหารแบบนี้ ได้แก่ โค กระบือ แพะ แกะ เป็นต้น

ทางเดินอาหารของสัตว์ ทางเดินอาหารของสัตว์มีความแตกต่างกันตามประเภทของ สัตว์ดังนี้

1. ปาก (mouth) ปากเป็นส่วนที่รับอาหาร ในปากของสุกร มีต่อมน้ำลาย และสัตว์กระเพาะรวมมีฟันช่วยบดเคี้ยวอาหาร ทำให้อาหารแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในปากมีต่อมน้ำลาย (salivary gland) ซึ่งส่งน้ำลายออกมาช่วยในการบดและการย่อยอาหาร ในปากไก่ไม่มีฟัน ไม่มีแก้ม แต่มีงอยปาก (beak) สำหรับจิกอาหารเข้าปาก มีลิ้นช่วยคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลายเพื่อสะดวกต่อการกลืน ในน้ำลายของสัตว์กระเพาะเคี้ยวพวกในสัตว์บางชนิด เช่น ม้า แมว สุนัข และกระต่าย จะมีน้ำย่อยไพลาลิน (ptyalin หรือ salivary α -amylase) ซึ่งหลั่งมาจากต่อมพาโรติค (parotid gland) มีฤทธิ์เป็นกลางหรือค่าง่อน ช่วยย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลเดกซ์ตรินและมอลโตส ส่วนในสัตว์กระเพาะรวม น้ำลายไม่มีน้ำย่อย α -amylase แต่มีไลเปสช่วยย่อยไขมันสายสั้น ๆ ได้บ้าง



สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีการขบออกอาหาร (regurgitation) ออกมาเคี้ยวในยามว่าง เช่น ตอนพลบค่ำ แคร่ร่อนยามเที่ยงหรือบ่ายจัด ๆ และตอนกลางคืน เรียก เคี้ยวเอื้อง (rumination หรือ cudging) การขบออกอาหารออกมาเคี้ยวเป็นผลจากแรงกระตุ้นของอาหารหยาบที่ผ่นังรูเมน ดังนั้นถ้าอาหารมีชิ้นส่วนของอาหารหยาบน้อย จะไม่มีแรงกระตุ้นพอที่จะทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องได้ การเคี้ยวเอื้องจะผันแปรไปตามชนิดสัตว์และชนิดของอาหาร ถ้าอาหารมีขนาดชิ้นใหญ่และมีเยื่อใยมากจะยิ่งเคี้ยวเอื้องนาน การเคี้ยวเอื้องอาหารของสัตว์กระเพาะรวมจะคลุกเคล้ากับน้ำลายทำให้อาหารชุ่มชื้น กลืนได้ง่าย และช่วยป้องกันการเกิดฟอง (antifoaming) ซึ่งเป็นผลทำให้สัตว์เกิดอาการท้องอืด (bloat หรือ tempany) ได้

2. หลอดอาหาร (esophagus) เป็นท่อยาวเชื่อมระหว่างปากกับกระเพาะ มีกล้ามเนื้ออยู่รอบ ๆ อาหารจะผ่านหลอดอาหารลงสู่กระเพาะ โดยการบีบรัดตัวของกล้ามเนื้อเป็นทอด ๆ คล้ายลูกคลื่น สำหรับน้ำจะไหลลงสู่กระเพาะโดยตรง ในไก่หลอดอาหารส่วนปลายจะขยายตัวออกเป็นรูปกระเปาะ เรียก กระเพาะพัก (crop) เป็นที่พักอาหารชั่วคราว เพื่อให้อาหารอ่อนตัวด้วยน้ำลายที่คลุกเคล้ามาตั้งแต่ปาก และยังมีน้ำย่อยจากปากที่ติดมากับอาหารมาช่วยย่อยอีก ระยะเวลาที่อาหารจะอยู่ในกระเพาะพัก ขึ้นอยู่กับขนาดของอาหาร ปริมาณอาหารที่กิน และปริมาณอาหารที่อยู่ในกิน

3. กระเพาะอาหาร (stomach) กระเพาะอาหารของสัตว์จะมีหน้าที่ย่อยและเก็บอาหาร กระเพาะอาหารของสัตว์แต่ละชนิดมีรูปร่างและขนาดความจุแตกต่างกัน การหลั่งน้ำย่อยในกระเพาะเป็นผลจากการกระตุ้นทางประสาทจากการมองเห็น การได้กลิ่น การเคี้ยว การกลืน และ

การขยายตัวของกระเพาะ ปริมาณน้ำย่อยและส่วนประกอบของน้ำย่อยที่หลั่งออกมาขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร การเปลี่ยนอาหารจึงทำให้ต้องมีขีปนน้ำย่อยในกระเพาะต้องปรับตัวตามไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนอาหารจึงไม่ควรเปลี่ยนอย่างกะทันหัน เพราะจะทำให้กระเพาะปรับตัวไม่ทัน มีผลกระทบต่อการย่อย ปริมาณน้ำย่อยที่หลั่งออกมาในโคประมาณ 10-30 ลิตร สุกรประมาณ 7-15 ลิตร ม้าประมาณ 10-20 ลิตร คนประมาณ 2-3 ลิตร เป็นต้น

3.1 กระเพาะอาหารของสุกร โดเต็มที่มีความจุประมาณ 8 ลิตร มีลักษณะเป็นถุงเดี่ยว มีหน้าที่ย่อยอาหารและเป็นที่พักอาหารที่กินเข้าไป มีต่อมผลิตน้ำย่อยเปปซิน (pepsin) และกรดเกลือ กระเพาะอาหารของสุกร มี 4 ส่วนคือ

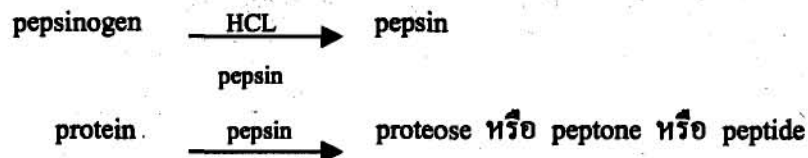
1) esophageal region เป็นส่วนที่ต่อกับหลอดอาหาร มีขนาดเล็ก ไม่มีต่อมผลิตน้ำย่อย

2) cardiac gland region เป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่ ไม่มีต่อมผลิตน้ำย่อย แต่มีต่อมขับน้ำเมือก (viscous mucous) ซึ่งมีสภาพเป็นคาง เพื่อช่วยเคลือบกระเพาะ ทำให้ความเป็นกรดลดลง น้ำย่อยเปปซิน (pepsin) จึงไม่สามารถทำลายโปรตีนของทางเดินอาหาร เนื่องจากน้ำย่อยเปปซินจะทำงานได้ดีเมื่อ pH ประมาณ 2

3) fundus gland region เป็นส่วนที่มีต่อมผลิตกรดเกลือ ซึ่งจะช่วยให้เปลี่ยนน้ำย่อยเปปซินในรูปของเปปซิโนเจน (pepsinogen) ให้เป็นเปปซินในรูปที่สามารถย่อยโปรตีนได้

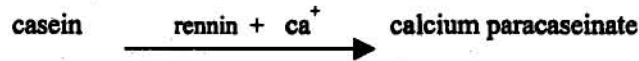
4) pyloric gland region เป็นส่วนที่มีต่อมผลิตน้ำย่อย น้ำย่อยที่ผลิตขึ้น เรียกแกสตริกจ๊ว (gastric juice) มีลักษณะใสเป็นเมือก สีเหลืองอ่อน pH ประมาณ 1-2 ประกอบด้วยเปปซิน เรนนิน (rennin) (มีเฉพาะในสัตว์กินนม) และไลเปส

เปปซิน ถูกสร้างขึ้นมาในรูปเปปซิโนเจน เป็น zymogen ในรูปไม่ทำงาน (inactive form) จะถูกกระตุ้นโดยกรดเกลือหรือตัวมันเองให้เป็นเปปซิน (autocatalysis) ในรูปทำงานได้ (active form) เปปซินทำหน้าที่ ช่วยย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงเป็นโปรติโอส (proteose) หรือเปปโตน (peptone) หรือเปปไทด์ (peptide) ทำการย่อยได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรด pH 2

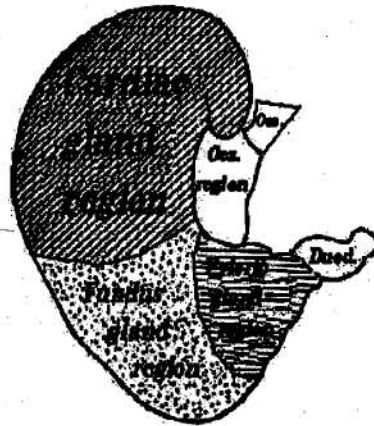


ไลเปส ผลิตจากกระเพาะ แต่เนื่องจากกระเพาะมีสภาพเป็นกรด ทำให้ไลเปสทำการย่อยไขมันได้เล็กน้อย เนื่องจากทำการย่อยได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็นด่าง

เรนิน เป็นน้ำย่อยที่พบมากในลูกสัตว์ที่ยังอุคนม ช่วยทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอนเป็นก้อน (curd หรือ clot) โดยการจับตัวกับแคลเซียม ทำให้เคลื่อนที่ผ่านกระเพาะช้าลง ช่วยให้เปปซินสามารถย่อยโปรตีนได้มากขึ้น ทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรด pH 4-5



อาหารที่ผ่านการย่อยในกระเพาะก่อนถูกส่งไปยังลำไส้เล็กจะอยู่ในสภาพเป็นของเหลวข้นสีครีม มีฤทธิ์เป็นกรด เรียกว่า ไคม (chyme)



รูปที่ 6.1 กระเพาะอาหารของตุกร

3.2 กระเพาะอาหารของไก่ มี 2 ส่วนคือ

- 1) กระเพาะแท้ (proventriculus) ทำหน้าที่เหมือนกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยวทั่วไป
- 2) กิ่น (gizzard) อยู่ถัดจากกระเพาะจริง กิ่นเป็นกล้ามเนื้อหนาเหนียว ช่วยให้มีกำลังบดย่อยอาหารให้ละเอียดลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารทำให้น้ำย่อยจากกระเพาะจริงสามารถย่อยอาหารได้ดีขึ้น การเสริมก้อนกรวดลงในอาหารจะทำให้การบดและการย่อยอาหารมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น การมีกรวดในกิ่นแม้ว่าจะไม่จำเป็นนัก แต่พบว่าช่วยในการย่อยอาหารเมล็ด

ร้อยละ 10 เปอร์เซ็นต์ การบดของกินทำให้บางส่วนของอาหาร โปรตีนและแร่ธาตุเริ่มละลายที่นี้

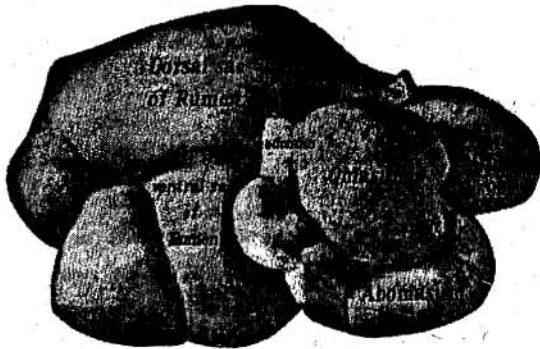
3.3 กระเพาะของสัตว์กระเพาะรวม มีขนาดใหญ่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของช่องท้อง โดยอยู่ชิดผนังลำตัวด้านซ้าย อาจเริ่มจากซี่โครงที่ 78 จนถึงกระดูกเชิงกราน (pelvic) แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) กระเพาะรูเมนหรือผ้าขี้ริ้ว (rumen หรือ pouch) เป็นกระเพาะส่วนที่ 1 มีความจุมากกว่ากระเพาะส่วนอื่น ๆ ในโคมีความจุประมาณ 150 ลิตร มีลักษณะภายในเหมือนผ้าขี้ริ้ว เป็นตุ่มยื่น (papillae) ออกมา ทำหน้าที่คลุกเคล้าและดูดซึมสารอาหาร ในกระเพาะรูเมนมีสภาพเอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการช่วยย่อยอาหารในสภาพไร้อากาศออกซิเจน ทำให้เกิดการหมักย่อย (fermentation) จุลินทรีย์จะทำการย่อยสารเยื่อใย เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ กระเพาะนี้ไม่มีการผลิตน้ำย่อย

2) กระเพาะรังผึ้ง (reticulum หรือ honey comb หรือ blind pouch) เป็นกระเพาะส่วนที่ 2 มีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง อยู่ด้านหน้ากระเพาะรูเมน กระเพาะรูเมนและกระเพาะรังผึ้งไม่ได้แยกกันอย่างสมบูรณ์ เพียงแต่ทำงานต่างกันเท่านั้น มีผนังเคี้ยว ๆ กัน เรียก reticulo rumen fold ทำให้สิ่งที่อยู่ภายในกระเพาะทั้งสองส่วนนี้ถ่วงถึงกันได้โดยอิสระ จึงอาจเรียกกระเพาะรูเมนและกระเพาะรังผึ้งรวมกันว่า ruminoreticulum หรือ reticulorumen ทำหน้าที่ช่วยในการบดก้อนหญ้าเพื่อขบออกออกมาเคี้ยวเอื้อง ช่วยดันอาหารที่ขบแล้วแต่มีขนาดใหญ่ส่งกลับไปกระเพาะรูเมน และปล่อยอาหารที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ต่อไปยังกระเพาะที่ 3 กระเพาะนี้ไม่มีการผลิตน้ำย่อย แต่มีการทำงานของจุลินทรีย์ ลักษณะภายในของกระเพาะนี้จึงมี 2 ส่วนคือ ส่วนล่างเป็นของเหลว (liquid phase) และมีอาหารละเอียดแขวนลอยอยู่ ส่วนบนมีอาหารชิ้นหยาบลอยอยู่เต็ม เหนือขึ้นไปเป็นที่ว่างสำหรับบรรจุก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยอาหาร ปกติก๊าซจะต้องถูกระบายออกโดยการเรอ (eructation หรือ belching) ไม่เช่นนั้นจะทำให้สัตว์เกิดอาการท้องอืดและตายได้

3) กระเพาะสามสิบกลีบ (omasum หรือ manyplies) เป็นกระเพาะส่วนที่ 3 มีลักษณะเป็นกลีบ ๆ ประมาณ 90-190 กลีบ ขนาดกลีบจะไม่เท่ากัน เรียงซ้อนกันอย่างหนาแน่น ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ทำหน้าที่บดขยี้อาหารที่เป็นก้อนให้หลวมตัว เพื่อส่งไปยังกระเพาะส่วนที่ 4 กระเพาะนี้ไม่มีการผลิตน้ำย่อย อาจมีการทำงานของจุลินทรีย์บ้างเล็กน้อย

4) กระเพาะแท้ (abomasum หรือ true stomach) เป็นกระเพาะส่วนที่ 4 เป็นกระเพาะจริง มีลักษณะเหมือนกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว มีน้ำย่อยที่สร้างขึ้นจากผนังของกระเพาะเอง มีสภาพเป็นกรด จุลินทรีย์ที่มาจากกระเพาะสองส่วนแรกที่ดีมากกับอาหาร เมื่อมาถึงกระเพาะแท้จะถูกย่อยโดยน้ำย่อยเช่นเดียวกับอาหารอื่น ทำให้ได้สารอาหารที่ร่างกายสัตว์สามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้



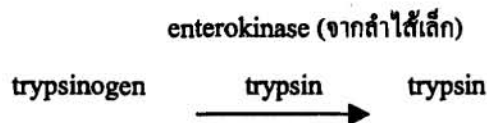
รูปที่ 6.2 กระเพาะอาหารโค

4. ลำไส้เล็ก (small intestine) เป็นท่อยาวมาก ในสุกรยาวประมาณ 16 เมตร ไก่ยาวประมาณ 62 นิ้ว ลำไส้เล็กแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ดูโอดินัม (duodenum) เจจูนัม (jejunum) และ ไอเลียม (ileum) ในไก่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมจะขดเป็นรูปห่วง (duodenal loop) ขัดกับอวัยวะตรงกลางห่วง บริเวณใกล้กับกระเพาะจะมีช่องเปิดของน้ำย่อยที่ส่งมาจากตับอ่อนและน้ำดีจากถุงน้ำดี เรียกช่องนี้ว่า ไคเวอร์ติคูลัม ดูโอดิโน (diverticulum duodeni) ลำไส้เล็กทำหน้าที่สำคัญในการย่อยอาหารและดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเข้าไปในร่างกาย เนื่องจากผนังลำไส้เล็กมีวิลโล (villi) ขึ้นออกมามากมาย เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมได้มากขึ้นประมาณ 600 เท่า ภายใต้ออบ ๗ วิลโลจะประกอบด้วยเส้นเลือดฝอยและเส้นน้ำเหลืองมากมาย ภายใต้ออบมีน้ำย่อยหลายชนิดทั้งจากต่อมของลำไส้เล็กเอง น้ำย่อยจากตับอ่อน และน้ำดีจากตับ ในลำไส้เล็กผนังวิลโลประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดคือ อับซอร์บทิฟเซลล์ (absorptive cells) และก๊อบเล็ตเซลล์ (goblet cells) อับซอร์บทิฟเซลล์จะอยู่ระหว่างวิลโล ทำหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยและการดูดซึม ภายใต้ออบมีต่อมคริปทอไฟไลเบอร์คูน (crypt of Lieberkuhn) ซึ่งผลิตน้ำย่อยซัคคัสเอ็นเทอริคัส (succus entericus) ประกอบด้วยน้ำย่อยต่าง ๆ ช่วยย่อยอาหารโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ได้แก่ เอ็นเทอโรไคเนส (enterokinase) ไคเปปติเดส อะมิโนเปปติเดส ซูเครส มอลเตส แลคเตส (ในไก่ไม่มี) และไลเปส

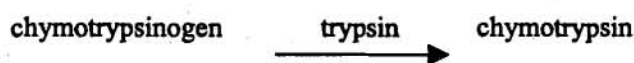
ส่วนก๊อบลิทเซลล์จะแทรกอยู่ในระหว่างอับซอพทิฟว์เซลล์ ภายในมีต่อมบรุนเนอร์ส (brunner's gland) ทำหน้าที่ผลิตน้ำเมือก (mucous) ช่วยในการหล่อลื่นและป้องกันไม่ให้ลำไส้เล็กเป็นอันตรายจากกรดเกลือ ต่อมนี้นี้ไม่ผลิตน้ำย่อย เซลล์ที่อยู่พื้นฐานของวิลโลจะทำหน้าที่สร้างเซลล์ทั้ง 2 ชนิด (อับซอพทิฟว์เซลล์และก๊อบลิทเซลล์) เพื่อแทนที่เซลล์เก่าที่ตายและหลุดออกมา ในแต่ละวัน จะมีผนังเซลล์ส่วนเอพิททีเลียมเซลล์ (epithelium cell) หลุดออกมาด้วยและจะถูกขับถ่ายออกมา กับอุจจาระและปัสสาวะ ในส่วนอับซอพทิฟว์เซลล์จะมีไมโทคอนเดรีย (mitochondria) มาก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานและมีเอนโดพลาสมิก เรคติคูลัม (endoplasmic reticulum) มาก ซึ่งเป็นที่ สำหรับการสังเคราะห์โปรตีน การหลั่งน้ำย่อยในลำไส้เล็กเกิดขึ้นต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นหลังจาก กินอาหาร น้ำย่อยจะมีปริมาณมากที่สุดในช่วง 1-2 ชั่วโมงหลังจากกินอาหารและหลังจากกิน อาหาร 8 ชั่วโมง

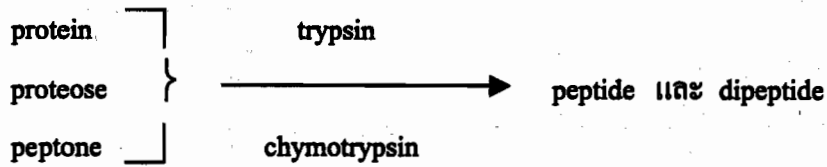
ส่วนน้ำย่อยจากตับอ่อน เรียก แพนครีติคจู๊ซ (pancreatic juices) ได้แก่ ทริพซิน ไคโมทริพซิน คาร์บอกซิเปปติเคส ไลเปส และอะมิเลส เพื่อย่อยอาหารโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน นอกจากนี้ยังมีน้ำดี ซึ่งผลิตจากตับแล้วส่งไปเก็บไว้ในถุงน้ำดีก่อนส่งไปยังลำไส้เล็ก เพื่อช่วยปรับสภาพอาหารให้เป็นค่างและช่วยทำให้ไขมันในอาหารแตกตัวเป็นสารแขวนลอย (emulsion) เพื่อให้ไขมันย่อยได้สะดวกขึ้น

ทริพซิน เป็นน้ำย่อยผลิตจากตับอ่อน ชนิดเอ็นโดเปปติเคส (endopeptidase) จะย่อย พันธะเปปไทด์ที่อยู่ด้านในโมเลกุล ถูกหลั่งออกมาในรูปทริพซินโนเจน เป็น proenzyme ในรูปไม่ ทำงาน และถูกกระตุ้นโดยฮอโรโมนจากลำไส้เล็กคือ เอ็นเทอโรไคเนสและน้ำย่อยทริพซินเอง ให้อยู่ในรูปทำงานได้ (active) น้ำย่อยทริพซินจะย่อยพันธะเปปไทด์ตรงกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) ของกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนอาร์จินีน

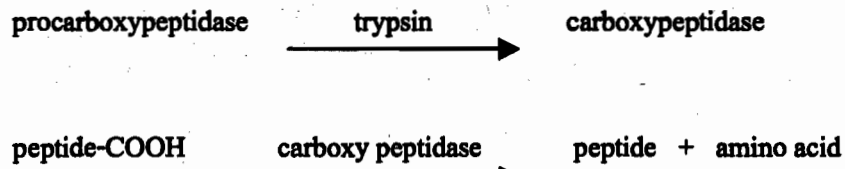


ไคโมทริพซิน เป็นน้ำย่อยผลิตจากตับอ่อน ชนิดเอ็นโดเปปติเคส จะย่อยพันธะเปปไทด์ ตรงกลุ่มคาร์บอกซิลของอะโรมาติกอะมิโนแอซิด (aromatic amino acid) ได้แก่ เฟนิลอะลานีน และไทโรซีน ถูกหลั่งออกมาในรูปไคโมทริพซินโนเจน ซึ่งถูกกระตุ้นโดยน้ำย่อยทริพซิน





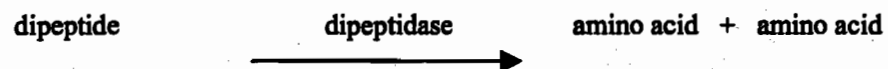
คาร์บอกซีเปปติเดส เป็นน้ำย่อยผลิตจากตับอ่อน ชนิดเอ็กโซเปปติเดส (exopeptidase) จะย่อยเฉพาะส่วนปลายโมเลกุลโปรตีนที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ (free carboxyl group) จะถูกหลั่งออกมาในรูปโปรคาร์บอกซีเปปติเดส ซึ่งจะถูกระตุ้น โดยน้ำย่อยทริพซิน



อะมิโนเปปติเดส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็ก จะย่อยเฉพาะส่วนปลายของโมเลกุลโปรตีนที่มีกลุ่มอะมิโนอิสระ (free amino group)



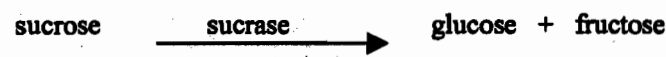
ไดเปปติเดส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็ก จะย่อยไดเปปไทด์ได้กรดอะมิโน 2 โมเลกุล



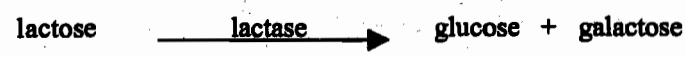
อะมิเลส เป็นน้ำย่อยผลิตจากตับอ่อน จะย่อยแป้งได้น้ำตาลเด็คซ์ทรินและมอลโตส



ซูเครส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็ก จะย่อยน้ำตาลซูโครสได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส

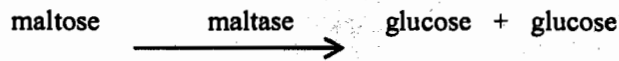


แลคเตส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็ก จะย่อยน้ำตาลแลคโตส ได้น้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตส

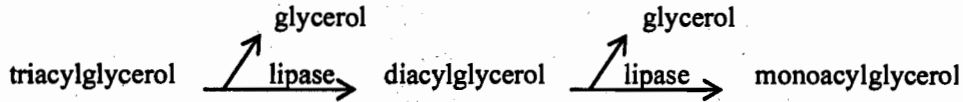


มอลเตส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็ก จะย่อยน้ำตาลมอลโตสได้น้ำตาลกลูโคส 2

โมเลกุล



ไลเปส เป็นน้ำย่อยผลิตจากลำไส้เล็กและตับอ่อน จะย่อยไขมันได้กลีเซอรอล มิกซ์กลีเซอไรด์ และกรดไขมัน



5. ลำไส้ใหญ่ (large intestine) ลำไส้ใหญ่มีขนาดใหญ่แต่สั้น สำหรับพักกากอาหารที่ไม่สามารถย่อยและดูดซึม ก่อนที่จะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางทวารหนัก ต่อมของลำไส้ใหญ่ส่วนใหญ่เป็น mucous gland ซึ่งผลิตน้ำเมือกที่เป็นค่าและมียูเอเล็คโตรไลต์ เช่น Na^+ K^+ Cl^- และ HCO_3^- แต่ไม่ผลิตน้ำย่อย ลำไส้ใหญ่มี 3 ส่วนคือ ซีกัม (cecum) โคลอน (colon) และเรคตัมหรือไส้ตรง (rectum) มีหน้าที่ในการดูดซึมน้ำกลับสู่ร่างกาย ในสัตว์จำพวกสุกรและม้า ลำไส้ใหญ่ยังทำหน้าที่เป็นที่หมักย่อยของจุลินทรีย์ในการย่อยเยื่อใยด้วย กากอาหารที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ประกอบด้วยอาหารที่ร่างกายย่อยไม่ได้ เช่น เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และอาหารที่ร่างกายย่อยไม่หมด เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ภายในเซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยลิกนิน ในขณะที่อาหารอยู่ในลำไส้ใหญ่ก็ยังมีกรย่อยและการดูดซึมของอาหารบ้างเล็กน้อยโดยน้ำย่อยจากลำไส้เล็กที่ติดมากับอาหารหรือการทำงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่จะย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ในกระเพาะและลำไส้เล็กให้เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในมูล คือ indole, skatole, phenol, hydrogen sulfide, amines และ ammonia นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรดไขมันระเหย ซึ่งกรดไขมันระเหยนี้อาจถูกดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้บ้าง แต่การย่อยนี้ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับสัตว์กระเพาะรวม ผลพลอยได้จากการทำงานของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่คือ การสร้างวิตามินเคและวิตามินบีบางชนิด เช่น ไบโอดีน ซึ่งสัตว์อาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้บ้าง แต่เนื่องจากลำไส้ใหญ่มีการดูดซึมน้อย ฉะนั้นสัตว์จึงไม่สามารถได้รับวิตามินที่สังเคราะห์นี้ได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จึงควรเสริมในสูตรอาหาร กากอาหารที่ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึม

เพื่อนำไปใช้ประโยชน์จะถูกขับถ่ายออกทางทวารหนัก ถ้าไส้ใหญ่ของสุกรยาว 4-5 เมตร ในไก่ยาว 4-5 นิ้ว

6. ไส้ติ่ง (cecum) เป็นถุงแยกออกตรงรอยต่อระหว่างลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร ม้า กระต่าย หนูตะเภา (guinea) หนูพุก (hamster) ไส้ติ่งมีขนาดใหญ่ใช้เป็นที่หมักบูดของจุลินทรีย์ในการย่อยเยื่อใยและอาหารที่ยังย่อยไม่หมด และสร้างวิตามินได้ เช่นเดียวกับในสัตว์กระเพาะรวม แต่มีประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบได้น้อยกว่า ส่วนในไก่ ไส้ติ่งย่อยเยื่อใยได้ไม่มากนัก

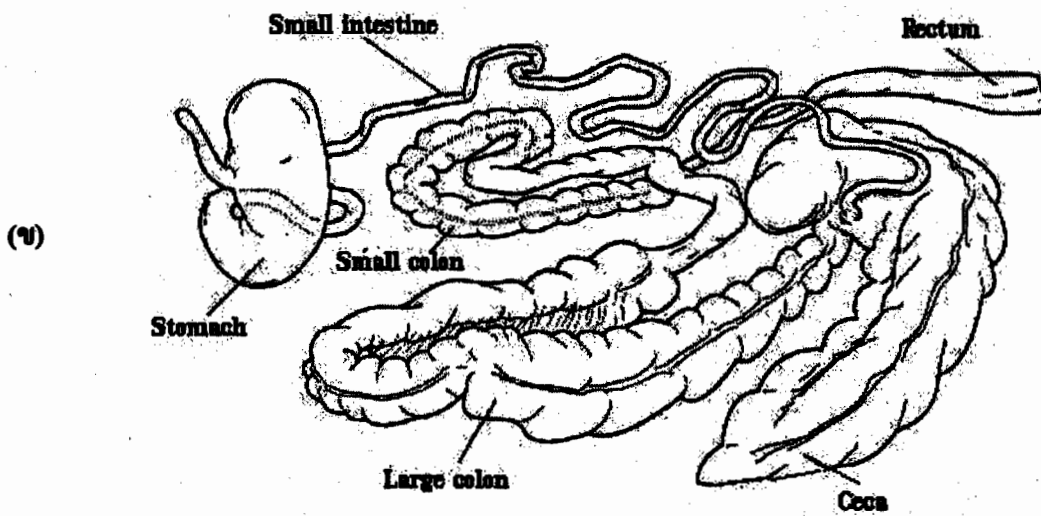
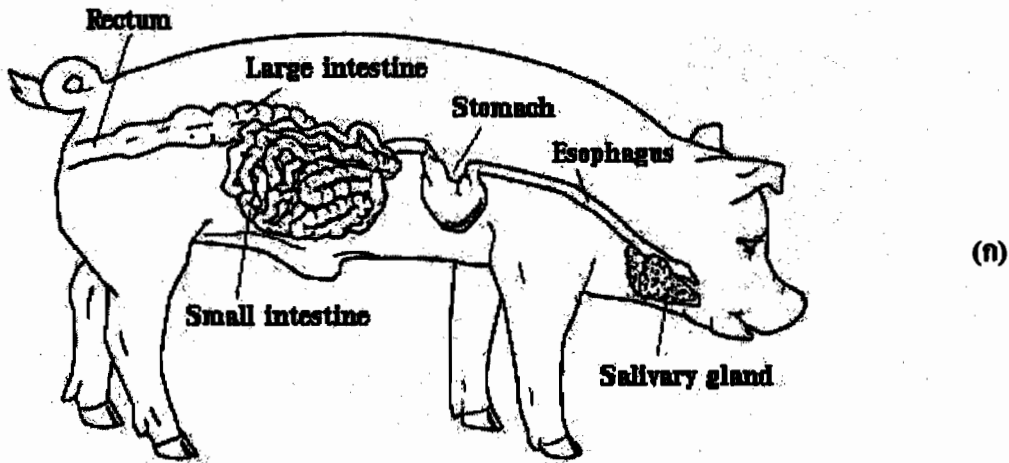
7. ทวารหนัก (anus) เป็นส่วนปลายสุดของทางเดินอาหาร มีกล้ามเนื้อสำหรับเปิดปิดเพื่อส่งกากอาหารที่ไม่ย่อยออกนอกร่างกาย ของเสียที่ถูกขับถ่ายออกนอกร่างกายหรืออุจจาระประกอบด้วย น้ำ กากอาหารที่ย่อยไม่ได้ น้ำย่อย เยื่อเมือกของทางเดินอาหาร จุลินทรีย์ inorganic salt, skatole และ สารอื่น ๆ ที่เกิดจากการสลายตัวของแบคทีเรีย

ในสัตว์ปีกก่อนที่จะถึงส่วนของทวารหนักจะมีส่วนที่เรียกว่า ส้วทวารหนัก (cloaca) ซึ่งมีลักษณะต่างจากสัตว์อื่นคือ เป็นทางร่วมของระบบขับถ่าย (ปัสสาวะและอุจจาระ) และระบบสืบพันธุ์ (ไข่และน้ำเชื้ออสุจิ)

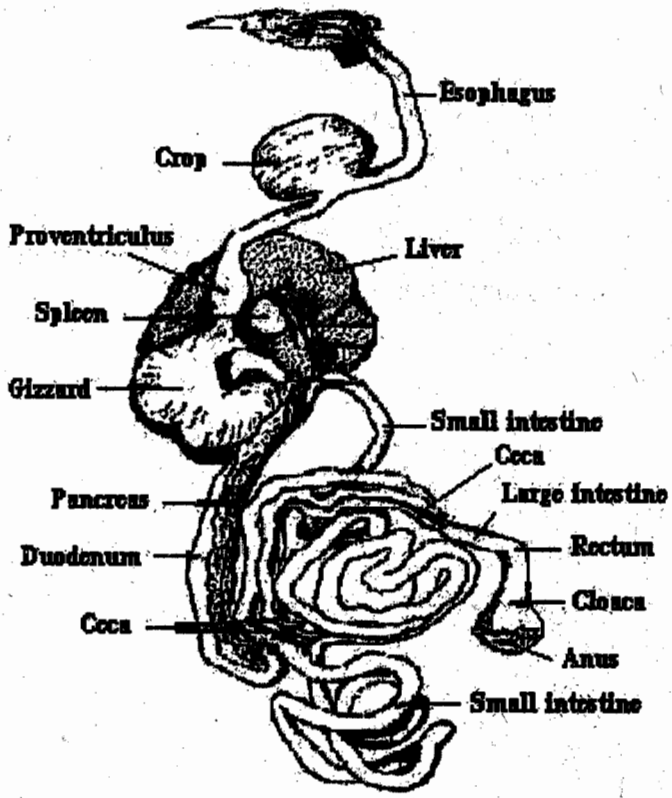
ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เมื่ออาหารเข้าไปในปาก มีการย่อยโดยวิธีกลด้วยการบดเคี้ยวอาหารในปาก โดยใช้ฟัน (ยกเว้นในไก่) และการคลุกเคล้ากับน้ำลาย ในน้ำลายมีน้ำย่อยไทลาลิน ช่วยย่อยแป้ง ให้เป็นน้ำตาลเดกซ์ตรินและน้ำตาลมอลโตส ต่อจากนั้นก็มีการย่อยในกระเพาะและลำไส้เล็กตามลำดับโดยน้ำย่อยต่าง ๆ ที่สร้างจากกระเพาะ ลำไส้เล็ก และตับอ่อน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังอาจมีการย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่งซึ่งเป็นการย่อยหญ้าหรือสารเยื่อใย การย่อยโดยจุลินทรีย์นี้มีมากในม้า กระต่าย ในสุกรและไก่มีเล็กน้อย

ในสัตว์กระเพาะรวม เมื่ออาหารเข้าไปในปาก มีการย่อยโดยวิธีกลด้วยการบดเคี้ยวอาหารในปาก โดยใช้ฟัน เหงือก กล้ามเนื้อ และน้ำลายช่วย ในสัตว์กระเพาะรวมมีการเคี้ยวเอื้อง การเคี้ยวเอื้อง หมายถึง การขย่อนหรือถ่ารอกเอาอาหารที่ได้เคี้ยวหรือย่อยแต่เพียงบางส่วนจากกระเพาะในส่วนรูเมนและกระเพาะรังผึ้งมาบดเคี้ยวอีกครั้งหนึ่ง ในตอนแรกสัตว์เคี้ยวเอื้องจะรีบกินหญ้าอย่างรวดเร็วเพื่อบรรจุให้เต็มกระเพาะ จากนั้นจะหาที่ร่มเพื่อเคี้ยวเอื้อง โดยการบิบตัวของกระเพาะรูเมน กระเพาะรังผึ้ง และหลอดลม ทำให้ก้อนอาหารไหลมาสู่ปากอีกครั้ง สัตว์จะเคี้ยวอาหารเป็นก้อน ๆ

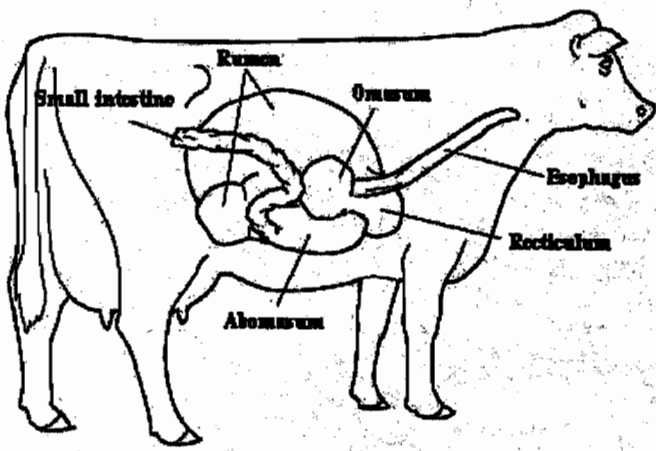
ก่อนหนึ่ง ๆ จะถูกเคี้ยว 40-50 ครั้งในเวลาประมาณ 50 วินาที เมื่อเคี้ยวเหล็กดีแล้วจะกลืนกลับลงไปในกระเพาะรูเมนตามเดิม จากนั้นจะมีการหมักบดอาหารในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะช่วยสร้างและเปลี่ยนแปลงให้ได้สารอาหารที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยยากให้เป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ช่วยสร้างโปรตีนและกรดอะมิโน ช่วยย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล และช่วยสร้างวิตามินบีและวิตามินเค เป็นต้น จากนั้นอาหารจะถูกย่อยต่อไปในกระเพาะและลำไส้เล็กตามลำดับ โดยน้ำย่อยต่าง ๆ ที่สร้างจากกระเพาะ ลำไส้เล็ก และตับอ่อน



รูปที่ 6.3 ระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเคี้ยว (ก) สุกร (ข) ม้า (Herren, 1994)



รูปที่ 6.4 ระบบทางเดินอาหารของไก่
(Herren, 1994)



รูปที่ 6.5 ระบบทางเดินอาหารของโค
(Herren, 1994)

ตารางที่ 6.1 อวัยวะและน้ำย่อยที่สำคัญในทางเดินอาหาร

| อวัยวะ | แหล่งที่สร้าง | น้ำย่อย | หน้าที่ | ผลผลิต |
|--|--|--|--|---|
| ปาก | น้ำลายจาก ต่อมน้ำลาย | amylase (ptyalin) | ย่อยแป้ง | dextrin และ maltose |
| กระเพาะพัก (crop) | เมือก (mucous) | - | หล่อลื่นและทำให้ อาหารอ่อนนุ่ม | - |
| รูเมน (rumen) | เซลล์จุลินทรีย์ | น้ำย่อยจากจุลินทรีย์ | ย่อยคาร์โบไฮเดรต (แป้ง น้ำตาล เยื่อใย) ไขมัน โปรตีน | กรดไขมันระเหยได้ โปรตีนของจุลินทรีย์ วิตามินบีและวิตามินเค |
| กระเพาะแท้ ของสัตว์ทั่วไป abomasum proventriculus | น้ำย่อยจาก กระเพาะ, HCl และ mucous | pepsin | protein | protease, peptone peptine |
| ลูกสัตว์ตุคนม กิ้ง (gizzard) | กระเพาะ | rennin | ทำให้นมจับตัวเป็น ก้อน | โปรตีนในนมตก ตะกอน |
| ลำไส้เล็ก | น้ำย่อยจากตับ อ่อน (pancreatic juice) น้ำดี จากตับ | * trypsin * chymotrypsin * carboxypeptidase * amylase * lipase | * ย่อยโปรตีน * ย่อยโปรตีน * ย่อยโปรตีน * ย่อยแป้ง * ย่อยไขมัน | * protease + peptone * protease + peptone * peptide + amino acid * dextrin + maltose * glycerol + mixed glyceride |
| | น้ำย่อยจาก ลำไส้เล็ก (intestinal juice) | * aminopeptidase * dipeptidase * maltase * sucrase * lactase * lipase | ทำให้ไขมันแตกตัว เป็นอนุภาคเล็ก ๆ * ย่อยโปรตีน * ย่อยโปรตีน * ย่อยมอลโตส * ย่อยซูโครส * ย่อยแลคโตส * ย่อยไขมัน* | * peptide + amino acid * amino acid + amino acid * glucose + glucose * glucose + fructose * glucose + lactose * glycerol + mixed glyceride |
| ลำไส้เล็ก | เซลล์จุลินทรีย์ | น้ำย่อยจากจุลินทรีย์ | ย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน | กรดไขมันระเหย โปรตีนของจุลินทรีย์ วิตามินบีและวิตามินเค |

6.5 การพัฒนาระบบย่อยอาหารของลูกสัตว์

6.5.1 การพัฒนาระบบย่อยอาหารของลูกสุกร

ลูกสุกรในช่วงแรกเกิดจนถึงอายุ 5 สัปดาห์ จะมีน้ำย่อยต่างจากสุกรที่โตเต็มที่แล้ว เนื่องจากในระยะดุนนมแม่ 1-2 วันแรก ถ้าใส่เล็ก็จะยอมให้มีการดูดซึมโปรตีนได้ ซึ่งเป็นขบวนการตามธรรมชาติที่ทำให้ลูกสุกรได้รับภูมิคุ้มกันจากแม่ในรูปของ immunoglobulin ซึ่งมีอยู่ในนม น้ำเหลือง (colostrum) ความสามารถในการดูดซึมโปรตีนจะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากเกิด 24 ชั่วโมง

ระบบย่อยอาหารของลูกสุกรยังไม่สมบูรณ์ การพัฒนาการทำงานของน้ำย่อยมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำนมที่แม่สุกรผลิตได้ ในระยะแรกจึงไม่สามารถใช้โปรตีนจากพืชและสัตว์ได้เต็มที่ เนื่องจากกระเพาะมีการสร้างกรดเกลือและน้ำย่อยเปปซินน้อย เนื่องจากสภาพความเป็นกรดต่ำในกระเพาะยังไม่เหมาะสม แต่จะสร้างน้ำย่อยเรนนิ (rennin) ออกมามากเพื่อทำให้เคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนในนมตกตะกอนเป็นก้อนไหลผ่านทางเดินอาหารช้าลง เพื่อให้ น้ำย่อยเปปซินย่อยได้ดีขึ้น เมื่อสุกรโตขึ้นจะหลั่งกรดเกลือและน้ำย่อยเปปซินได้มากขึ้น ส่วนน้ำย่อยทริพซินจากตับอ่อนที่ส่งเข้าไปยังลำไส้เล็กจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อลูกสุกรอายุได้ 4 สัปดาห์จนกระทั่งอายุได้ 6 สัปดาห์จะเริ่มคงที่ ในลำไส้เล็กลูกสุกรจะผลิตน้ำย่อยแลคเตสได้มากตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุประมาณ 3 สัปดาห์ จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ลูกสุกรอายุตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 3 สัปดาห์สามารถย่อยน้ำนมได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำย่อยมอลเตส น้ำย่อยแอลฟาอะมิเลส (α -amylase) และไลเปส จะมีอยู่น้อยในช่วงที่ยังเล็ก แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น

ดังนั้นอาหารสำหรับลูกสุกรเล็กจึงควรมีนมผสมอยู่ด้วย และควรใช้ธัญพืชที่ผ่านความร้อนเพื่อให้แป้งสุก เพราะลูกสุกรเล็กยังย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ไม่เต็มที่ ทำให้เหลือไปถึงลำไส้ใหญ่ ซึ่งจะถูกลดโดยจุลินทรีย์เป็นเหตุให้ท้องเสียได้

6.5.2 การพัฒนาระบบย่อยอาหารของลูกสัตว์กระเพาะรวม

ลูกสัตว์กระเพาะรวมที่เกิดใหม่ ๆ กระเพาะรูเมนและกระเพาะรังผึ้ง (reticulorumen) ยังไม่พัฒนา มีขนาดเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด ในขณะที่กระเพาะแท้มีขนาดใหญ่ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด น้ำนมที่ลูกสัตว์กินเข้าไปจะเข้าสู่กระเพาะแท้โดยทางท่อที่เรียกว่า esophageal groove หรือ reticular groove โดยไม่ผ่านกระเพาะ

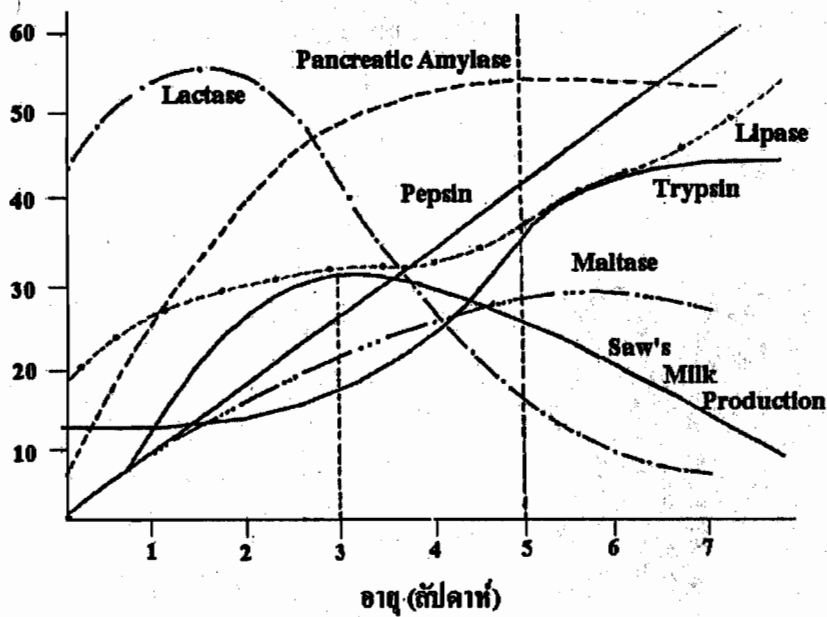
รูเมนและเรติคูลัม ในกระเพาะเท่านั้นจะถูกลบด้วยน้ำย่อยจากตัวสัตว์เอง เช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว เมื่อสัตว์โตเต็มที่ esophageal groove จะหายไป ในสัตว์กระเพาะรวมที่ยังเล็กไม่มีน้ำย่อยซูเครสและยังมีน้ำย่อยอะมิเลสน้อย จึงย่อยแป้งและน้ำตาลไม่ได้ ดังนั้นการให้นมเทียม (milk replacer) แก่ลูกโค จึงควรใช้น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแลคโตสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต

เมื่อลูกสัตว์โตขึ้นเริ่มกินอาหารแห้งได้แล้ว จะได้รับแบคทีเรียเข้าไปกับอาหารและโดยการสัมผัสกับน้ำลายของสัตว์ใหญ่ ทำให้กระเพาะรูเมนพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ ตัวที่กระตุ้นการพัฒนาของตุ่ม papillae ที่อยู่บนผนังด้านในของรูเมนคือ กรดไขมันระเหย โดยกรดบิวทิริกจะมีผลมากกว่ากรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติก ตามลำดับ

6.5.3 การพัฒนาระบบย่อยอาหารของลูกสัตว์ปีก

สัตว์ปีกการพัฒนาระบบย่อยอาหารต่างกับสัตว์กระเพาะชนิดอื่น โดยไม่มีการผลิตน้ำย่อยแลคเตส เพราะสัตว์ปีกไม่ใช่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นอกจากนี้ในลำไส้เล็กจะผลิตน้ำย่อยอะมิเลส มอลเตส และซูเครสได้ตั้งแต่ยังเล็ก ๆ เพราะลูกสัตว์ปีกต้องกินอาหารธัญพืชตั้งแต่เกิด

ปริมาณน้ำย่อยต่อกก.น้ำหนักตัว



รูปที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำย่อยในลูกสุกรอายุตั้งแต่แรกเกิดถึง 7 สัปดาห์

6.6 การดูดซึมอาหาร (absorption)

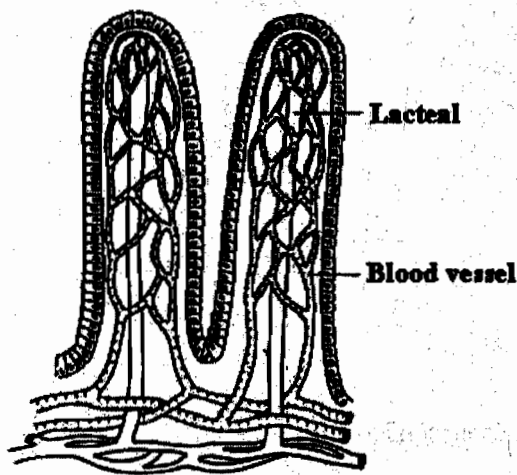
การดูดซึมอาหาร หมายถึง ขบวนการนำอาหารที่ผ่านการย่อยจนมีอนุภาคเล็กลงแล้ว ผ่านเยื่อหุ้มของผนังทางเดินอาหารเข้าสู่เส้นเลือดและเส้นน้ำเหลือง เพื่อนำไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ในปาก ไม่มีการดูดซึมสารอาหารเลย นอกจากน้ำที่ซึมผ่านเนื้อเยื่อในปากได้ และอาจมีวิตามินบางตัวที่ละลายน้ำได้ละลายไปกับน้ำ

ในกระเพาะ สัตว์กระเพาะเดี่ยว กระเพาะมีการดูดซึมน้อยมากเพราะมีสภาพไม่เหมาะสม อาจดูดซึมน้ำ กลูโคส แอลกอฮอล์ (ethanol) วิตามิน แร่ธาตุบางส่วน และกรดไขมันสายสั้น ๆ และสายกลาง เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวิก และกรดบิวทิริก ส่วนในสัตว์กระเพาะรวมจะมีการดูดซึมสารอาหารที่ผนังกระเพาะรูเมน

ในลำไส้เล็ก อาหารที่ถูกย่อยแล้วส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จะถูกดูดซึมที่บริเวณผนังลำไส้เล็ก โดยเฉพาะที่ส่วนดูโอดินัมและเจจูนัม ผนังลำไส้เล็กมีวิลไล ซึ่งเป็นปุ่มที่ยื่นออกมาจากผนังเยื่อเมือก ภายในมีหลอดเลือดฝอย (capillary) มากมายติดต่อกันเป็นตาข่ายและในส่วนแกนกลางเป็นหลอดน้ำเหลือง (lymphatic) โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจะถูกย่อยก่อนจึงจะถูกดูดซึมไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายต่อไป ในขณะที่แร่ธาตุอิสระ วิตามิน และน้ำ จะถูกร่างกายดูดซึมไปใช้โดยไม่ถูกแปรรูปโดยน้ำย่อย

ในลำไส้ใหญ่ มีการดูดซึมน้ำ



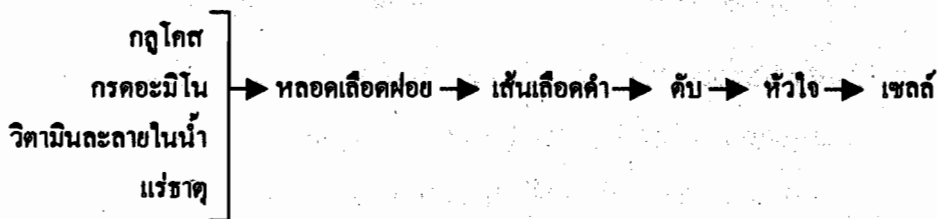
รูปที่ 6.7 ผนังภายในลำไส้เล็กและวิลไล
มีเส้นเลือดและเส้นน้ำเหลือง
ในการดูดซึมสารอาหาร
(Watson, 1995)

ตารางที่ 6.2 รูปที่พร้อมจะดูดซึมของสารอาหารต่าง ๆ ในอาหารสัตว์

| สารอาหารในอาหารสัตว์ | รูปที่พร้อมจะดูดซึม |
|----------------------|---------------------------------------|
| น้ำ | น้ำ |
| คาร์โบไฮเดรต | น้ำตาลชนิดต่าง ๆ (ส่วนใหญ่เป็นกลูโคส) |
| ไขมัน | กรดไขมันชนิดต่าง ๆ |
| โปรตีน | กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ |
| แร่ธาตุ | แร่ธาตุอิสระชนิดต่าง ๆ |
| วิตามิน | วิตามินอิสระชนิดต่าง ๆ |

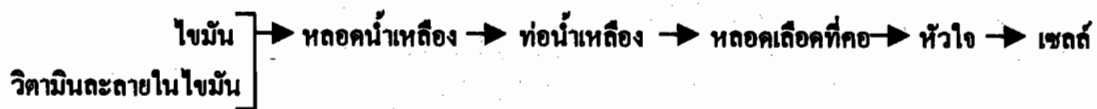
6.6.1 ระบบการดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้ว มี 3 ทางคือ

1. การดูดซึมทางสายเลือด (hepatic portal system) สารอาหารที่ถูกย่อยแล้ว จะถูกดูดซึมผ่านผนังทางเดินอาหารเข้าสู่หลอดเลือดฝอย (capillary) ของวิลโลก่อน จึงเข้าสู่เส้นเลือดดำที่ผ่านตับ (portal vein) ไปยังตับ เมื่อออกจากตับไปเข้าสู่หัวใจทางห้องบนขวาและล่างขวาตามลำดับ จากนั้นส่งไปที่ปอดเพื่อรับออกซิเจนแล้วเวียนกลับเข้าสู่หัวใจทางห้องบนซ้าย แล้วเลือดที่มีสารอาหารที่ถูกขับออกมาพร้อมกับสารอาหารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ตับจะถูกสูบฉีดพร้อมกับออกซิเจนไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกายทางห้องล่างซ้ายของหัวใจ สารอาหารที่ถูกดูดซึมผ่านทางสายเลือดมี น้ำ วิตามินที่ละลายในน้ำ แร่ธาตุ กรดอะมิโน กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 12 ตัว และโมโนแซคคาไรด์



2. การดูดซึมทางท่อน้ำเหลือง (lymphatic system) ส่วนใหญ่เป็นการดูดซึมไขมันที่มีโมเลกุลใหญ่และไม่ละลายน้ำ สารอาหารที่ถูกย่อยแล้วจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่หลอดน้ำเหลือง (lacteal) ของวิลโลก่อน จึงเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง (lymphatic duct) แล้วส่งต่อเข้าสู่หลอดเลือดที่คอ (thoracic duct) เข้าสู่หัวใจ เพื่อสูบฉีดพร้อมออกซิเจนและเลือดไปยังเซลล์ต่าง ๆ

ทั่วร่างกาย โดยจะไม่เข้าสู่เส้นเลือดดำที่ผ่านตับ เพราะโมเลกุลใหญ่เกินกว่าที่จะเข้าได้ สารอาหารที่ถูกดูดซึมผ่านทางท่อน้ำเหลืองมี กรดไขมันสายยาว กลีเซอรอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ โคลเลสเตอรอล ฟอสโฟลิปิด และวิตามินที่ละลายในไขมัน และโปรตีนโดยเฉพาะพวกแอนติบอดี (antibody) ที่ถูกสัตว์ได้รับจากน้ำนมเหลืองของแม่



3. การดูดซึมทางผนังกระเพาะรูเมน มีเฉพาะในสัตว์กระเพาะรวมเท่านั้น เป็นการดูดซึมกรดไขมันที่สร้างขึ้นในกระเพาะรูเมน เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก เป็นต้น

6.6.2 แบบของการดูดซึมอาหารผ่านทางเดินอาหาร มี 3 แบบคือ

1. ใช้พลังงาน (active transport) เป็นการดูดซึมสารอาหารด้านกระแสวนความเข้มข้น (against concentration gradient) ที่ต้องใช้พลังงานจากขบวนการเมตาบอลิซึมช่วยและต้องมีตัวพา (carrier) เช่น การดูดซึมกลูโคส กาแลกโตส กรดอะมิโน และกรดไขมัน

2. ไม่ใช้พลังงาน (passive transport) เป็นการดูดซึมสารอาหารไม่ใช้พลังงาน แต่ใช้ขบวนการแพร่ (diffusion) คือ การเคลื่อนที่จากที่มีความเข้มข้นสูงไปที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น การดูดซึมน้ำ วิตามิน แร่ธาตุ แมนโนส (mannose) และไซโลส (xylose) มี 2 แบบคือ

2.1 แบบไม่ต้องอาศัยตัวพา เรียกว่า simple diffusion

2.2 แบบต้องอาศัยตัวพา เรียกว่า passive transport หรือ facilitated diffusion

3. ใช้ผนังเซลล์ล้อมกลืนสาร (pinocytosis หรือ phagocytosis) มี 2 แบบคือ

3.1 แบบล้อมกลืนแล้วนำเข้ามาในเซลล์ (endocytosis)

3.2 แบบล้อมกลืนแล้วพาออกไปนอกเซลล์ (exocytosis)

6.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้

อาหารแต่ละชนิดที่สัตว์กินเข้าไปนั้นจะย่อยได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. องค์ประกอบของอาหารที่สำคัญ คือ ปริมาณเยื่อใยและสารพิษ สำหรับสัตว์กระเพาะเคี้ยวเทบจะไม่สามารถย่อยสารอาหารประเภทเยื่อใยในอาหารได้ ดังนั้นอาหารที่มีเยื่อใยสูงก็จะมี การย่อยได้ต่ำ ทำให้คุณค่าทางอาหารรวมทั้งค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ลดลง วัตถุประสงค์อาหารสัตว์ บางชนิดก็มีสารพิษเป็นองค์ประกอบโดยธรรมชาติ เช่น เมล็ดถั่วเหลืองหรือกากถั่วเหลืองที่สุกไม่พอจะมีสารยับยั้งทริปซินในระดับสูง เมื่อสัตว์กินเข้าไปจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลง

2. อัตราการไหลผ่านระบบทางเดินอาหาร อาหารเคลื่อนที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารเร็วเท่าใด การย่อยได้ของอาหารนั้นก็ยิ่งลดลง เนื่องจากโอกาสที่จะถูกย่อยโดยน้ำย่อยหรือ จุลินทรีย์มีน้อยลง

3. ปริมาณอาหารที่กิน การให้สัตว์กินอาหารเต็มที่สัตว์จะได้รับอาหารต่อวันในปริมาณ มาก ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ลดลง การจำกัดอาหารให้สัตว์กินในแต่ละวันจะช่วยให้อาหาร นั้นถูกย่อยได้ดีกว่า แต่การให้สัตว์กินอาหารอย่างจำกัดนั้น ถ้าไม่ระมัดระวังสัตว์อาจได้รับสาร อาหารไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นผลเสียได้

4. การเตรียมอาหาร การเตรียมอาหารสัตว์ เช่น การบด การใช้ความร้อนในการคั่ว ต้ม นึ่ง การอัดเม็ดอาหาร ช่วยทำให้การย่อยได้ของพวกแป้งและ โปรตีนดีขึ้น

5. อายุของสัตว์ สัตว์อายุน้อยยังมีความสามารถในการย่อยได้ไม่ดีเท่าสัตว์ที่โตแล้ว เพราะ การผลิตน้ำย่อยน้อยกว่า

6. ชนิดของสัตว์ สัตว์กระเพาะรวมจะย่อยอาหารได้ดีกว่าสัตว์กระเพาะเคี้ยว เนื่องจากมี จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนช่วยเปลี่ยนสารอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ให้สามารถย่อยและเป็น ประโยชน์ต่อสัตว์ได้

คำถามท้ายบท

ตอบคำถามต่อไปนี้

1. บอกชื่อและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว
2. บอกชื่อและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะรวม
3. บอกชนิดของสัตว์ที่มีระบบทางเดินอาหารแบบกระเพาะเดี่ยว
4. บอกชนิดของสัตว์ที่มีระบบทางเดินอาหารแบบกระเพาะรวม
5. อธิบายถึงขั้นตอนในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในทางเดินอาหาร (ให้ระบุถึงอวัยวะที่มีการย่อยและชนิดของน้ำย่อย)
6. อธิบายถึงขั้นตอนในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารประเภทโปรตีนในทางเดินอาหาร (ให้ระบุถึงอวัยวะที่มีการย่อยและชนิดของน้ำย่อย)
7. อธิบายถึงขั้นตอนในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารประเภทไขมันในทางเดินอาหาร (ให้ระบุถึงอวัยวะที่มีการย่อยและชนิดของน้ำย่อย)
8. อธิบายเหตุผลที่นิยมผสมนมผงและวิตามินบีที่ผ่านความร้อนในอาหารลูกสุกรระยะก่อนหย่านม
9. สัตว์กระเพาะรวมสามารถใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูง เช่น หญ้า ได้เพราะเหตุใด
10. อธิบายคำต่อไปนี้
 - ก. cloaca
 - ข. Gizzard
 - ค. Ceca
 - ง. Rumen
 - จ. Crop
 - ฉ. Pancreatic juice

บรรณานุกรม

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุวรรณ พรหมทอง. 2536. เอกสารประกอบการสอนวิชาอาหารและการให้อาหารสัตว์. คณะเกษตรศาสตร์บางพระ (พระนครศรีอยุธยา) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, พระนครศรีอยุธยา.

Herren R.V. 1994. The Science of Animal Agriculture. Delmar Publishers Inc., New York.

Watson, R. 1995. Anatomy and Physiology for Nurses. 10th Ed. Bailliere Tindall, London.