บทที่ 6
การย่อยและการดูดซึมอาหารสัตว์

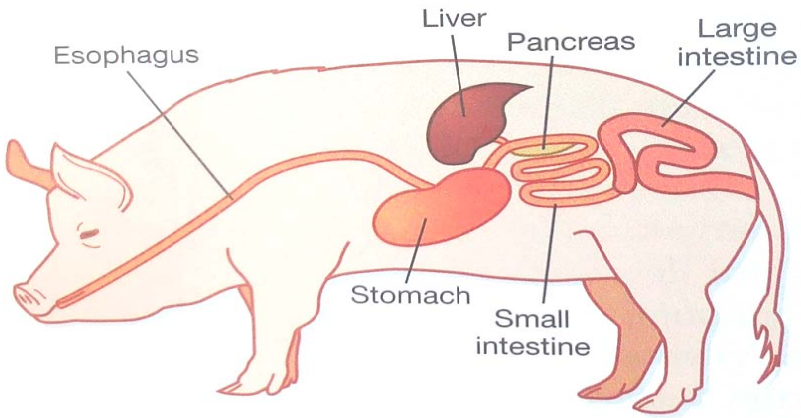
สัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดมีระบบกายวิภาคและสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบย่อยอาหารที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้ธรรมชาติการกินของอาหารมีผลต่อระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารที่แตกต่างกันออกไป สัตว์บางชนิดกินพืช (herbivores) บางชนิดกินเนื้อ (carnivores) และบางชนิดกินทั้งพืชและเนื้อ (omnivores) ตามการวิวัฒนาการและการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดและการทำหน้าที่ในการใช้ประโยชน์จากอาหารในแต่ละสภาพแวดล้อม และความจำเป็นในการใช้ประโยชน์เพื่อการทำหน้าที่ในกระบวนการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงโภชนะของอวัยวะแต่ละส่วนในระบบทางเดินอาหารที่แตกต่างกันไปของสัตว์แต่ละชนิด

ระบบการย่อยอาหารสัตว์

ระบบย่อยอาหาร หรือระบบทางเดินอาหาร (digestive tract หรือ gastro intestinal tract: GI tract) ของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิด หากพิจารณากายวิภาคระบบย่อยอาหารสามารถจำแนกสัตว์เลี้ยงในฟาร์มออกได้เป็น 2 ประเภท คือ สัตว์กระเพาะเดี่ยว และสัตว์กระเพาะรวม

1. สัตว์กระเพาะเดี่ยว (simple monogastric system)

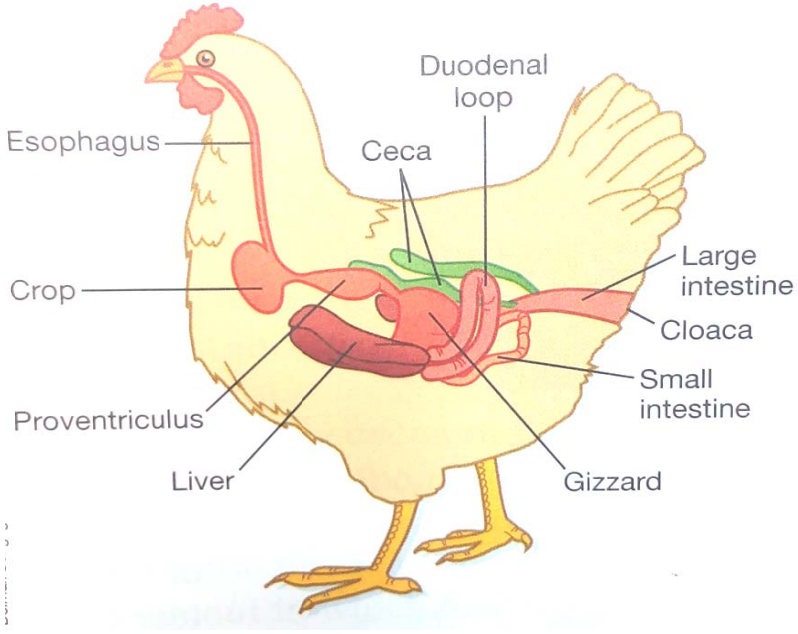
สัตว์กระเพาะเดี่ยวเป็นสัตว์เลี้ยงที่มีกระเพาะอาหารเพียง 1 กระเพาะ และไม่เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ สัตว์เลี้ยงจำพวกสุนัข และสุกร (ภาพที่ 6.1) สัตว์ปีก เช่น ไก่ (ภาพที่ 6.2) ม้า (ภาพที่ 6.3) และกระต่าย



ภาพที่ 6.1 ทางเดินอาหารของสุกร
ที่มา : (Mikesell and Baker, 2011, p. 60)

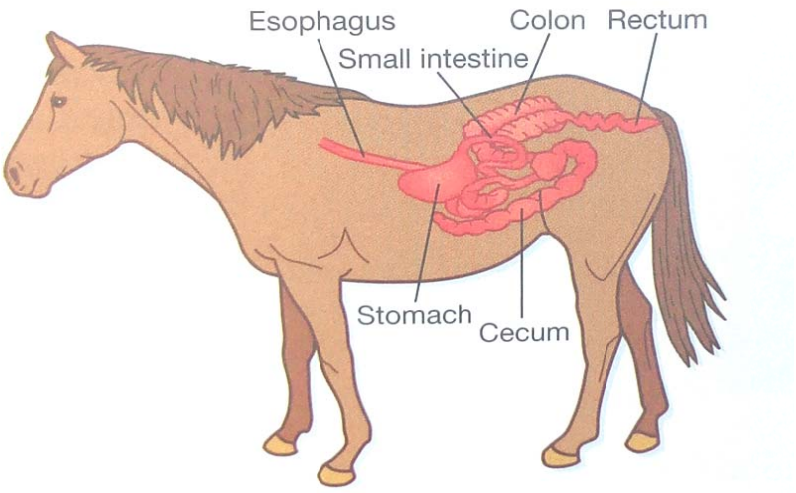
กรณีสัตว์ปีก ซึ่งมีระบบทางเดินอาหารที่จัดเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยวเช่น เดียวกับสุกร และสุนัข แต่เนื่องจากสัตว์ชนิดนี้มีความสามารถในการขบเคี้ยวอาหารได้ต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาทางเดินอาหารส่วนหน้าเป็นถุงพักอาหาร (crops) เพื่อเป็นที่พักอาหารที่กินเข้าไปใหม่ ๆ ทำให้อาหารมีความอ่อนตัวลง และถูกย่อยยังกระเพาะแท้ (proventriculus) (Mikesell and Baker, 2011, p. 60) แต่เนื่องจากทางเดินอาหารส่วนนี้ค่อนข้างเล็ก และมีความยาวน้อย ดังนั้นอาหารบางส่วนที่ย่อยยากจะถูกย่อยได้อีกครั้งในกระเพาะบด (gizzard หรือ ventriculus) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงและมีเม็ดทรายหรือก้อนกรวดเล็ก ๆ ทำให้อาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น

กรณีของม้า (ภาพที่ 6.3) และกระต่ายเป็นสัตว์เลี้ยงที่กระเพาะมีเพียง 1 กระเพาะเหมือนสัตว์กระเพาะเดี่ยวอื่น ๆ แต่สัตว์เลี้ยงประเภทนี้มีไส้ติ่ง (cecum) ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งทำหน้าที่ในการช่วยย่อยอาหาร (monogastric functional cecum system) ที่มีเยื่อใยสูงโดยจุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ ดังนั้นม้า และกระต่ายสามารถได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ ส่วนสุกรและสัตว์ปีกต้องได้รับอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ



ภาพที่ 6.2 ทางเดินอาหารของไก่

ที่มา : (Mikesell and Baker, 2011, p. 61)

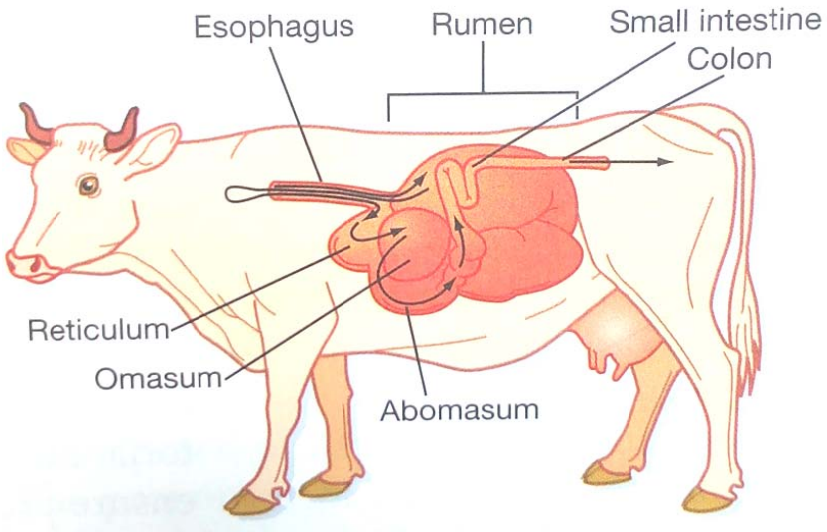


ภาพที่ 6.3 ทางเดินอาหารของม้า

ที่มา : (Mikesell and Baker, 2011, p. 62)

3. สัตว์กระเพาะรวม (polygastric system)

สัตว์กระเพาะรวมเป็นสัตว์เลี้ยงที่กระเพาะอาหารได้มีการพัฒนาและแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ส่วนเพื่อร่วมกันทำหน้าที่ที่ต่างกันในกระบวนการย่อยอาหาร ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวโดยทั่วไป ได้แก่ โค (ภาพที่ 6.4) กระบือ แพะ และแกะ ซึ่งมีทางเดินอาหารที่คล้ายกัน



ภาพที่ 6.4 ทางเดินอาหารของโค

ที่มา : (Mikesell and Baker, 2011, p. 61)

ทางเดินอาหาร การย่อยและการดูดซึมอาหารสัตว์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

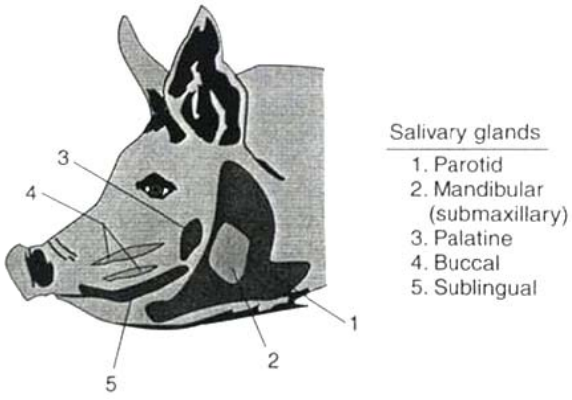
1. ทางเดินอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

เริ่มตั้งแต่ปากจนถึงทวารหนัก มีส่วนประกอบดังนี้

1.1. ปาก (mouth)

ปากเป็นอวัยวะรับอาหารเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร และส่งอาหารที่รับเข้ามาเพื่อส่งต่อไปยังหลอดอาหาร ภายในช่องปากของสุกร มีฟัน สำหรับการเคี้ยวอาหารและมีลิ้นสำหรับการคลุกเคล้าอาหาร มีต่อมน้ำลาย (salivary gland) โดยมีต่อมคู่จำนวน 3 คู่ ได้แก่ parotid glands ซึ่งอยู่บริเวณกกหู submaxillary glands อยู่บริเวณขากรรไกรล่าง และ sublingual glands อยู่บริเวณโคนลิ้น (ภาพที่ 6.5) และมีต่อมเดี่ยว 3 ต่อม ได้แก่ ต่อมใต้เพดาน (palatine) บริเวณคอหอย (pharynx) และบริเวณมุมปาก (labial)

ไก่ไม่มีริมฝีปาก ไม่มีแก้ม ไม่มีฟัน ไก่จะใช้จะงอยปากในการจิกและฉีกอาหารเข้าปาก แล้วใช้ลิ้นช่วยตวัดอาหารลงสู่หลอดอาหาร ลิ้นไก่มีลักษณะแข็งไม่สามารถยื่นออกไปนอกปากได้ ด้านหลังของลิ้นจะมีตุ่มยื่นออกมาเพื่อช่วยในการกลืนอาหาร และปากหลอดลมเป็นช่องที่เปิดให้อากาศเข้าและสามารถปิดเวลากลืนอาหารเพื่อไม่ให้เข้าสู่หลอดลม ขณะที่ลิ้นเป็ดจะมีลักษณะที่อ่อนนุ่ม ด้านข้างมีขนแข็งยื่นออกมาทำหน้าที่ช่วยในการกรองอาหารร่วมกับขอบหยักที่ข้างปากเมื่อปิดปากขอบหยักจะเรียงซ้อนกันสนิทพอดีเพื่อให้การกรองอาหารในน้ำมีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนปากหลอดลมเป็นช่องที่เปิดให้อากาศเข้าและสามารถปิดเวลากลืนอาหารเพื่อไม่ให้เข้าสู่หลอดลม ภายในปากมีต่อมสำหรับผลิตน้ำย่อย amylase ออกมาช่วยย่อยอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต แค่มีบทบาทน้อยมาก และมีต่อมน้ำลาย (salivary gland) ทำหน้าที่ผลิตน้ำลายออกมาช่วยคลุกเคล้าอาหารให้สะดวกต่อการกลืน



ภาพที่ 6.5 ตำแหน่งที่ตั้งของต่อมน้ำลายของสุกร
ที่มา : (Damron, 2006, p. 100)

1.2 หลอดอาหาร (esophagus)

หลอดอาหารเป็นท่อกลวงยาวมีคุณสมบัติในการทำงานแบบรัดรูด (peristalsis) ได้ดี ทั้งรัดรูดไล่อาหารลงสู่ส่วนต้นของกระเพาะอาหาร หรือบีบอาหารจากทางเดินอาหารส่วนล่างออกมาทางปาก (anti-peristaltic movement) โดยปกติเมื่อไม่มีอาหารจะหดตัวเล็กลง

ในสัตว์ปีกมีบางส่วนของหลอดอาหารที่มีการพัฒนาโดยการพองตัวออกเป็นส่วนของกระเพาะพัก (crop) ซึ่งเป็นที่พักของอาหารระยะหนึ่งทำให้อาหารมีความอ่อนตัวลง ช่วยให้การย่อยอาหาร ในทางเดินส่วนถัดไปมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.3 กระเพาะอาหาร (stomach)

กระเพาะอาหารทำหน้าที่ในการหลั่งน้ำย่อยเพื่อกระตุ้นการย่อยอาหาร และน้ำย่อยสารอาหารบางอย่าง กระเพาะอาหารแบ่งออกเป็น ส่วนต้น (cardiac region) ส่วนกลาง (fundus region) และส่วนปลาย (pyloric region) แต่ละส่วนนี้ทำหน้าที่ย่อยอาหารที่ต่างกัน คือส่วนต้น (cardiac region) เป็นบริเวณแคบ ๆ มีต่อมที่ทำหน้าที่กลั่นสร้างน้ำเมือก (mucus) แต่ไม่มีต่อมสร้างเอนไซม์สำหรับการย่อย กระเพาะส่วนกลาง (fundus or peptic gland region) เป็นบริเวณส่วนใหญ่ของกระเพาะ บริเวณนี้จะหนา ทำหน้าที่การผลิตทั้งเอนไซม์สำหรับย่อยอาหาร และน้ำเมือก ผลิต pepsin เพื่อย่อยโปรตีน และผลิตกรดเกลือ (HCl) ในขณะที่กระเพาะส่วนปลาย (pyloric region) ผลิตเยื่อเมือกสร้างเอนไซม์ที่ใช้ย่อยโปรตีนจำนวนเล็กน้อยแต่ไม่มีการสร้างกรดเกลือ (ภรณี ต่างวิวัฒน์, 2556, หน้า 2-8)

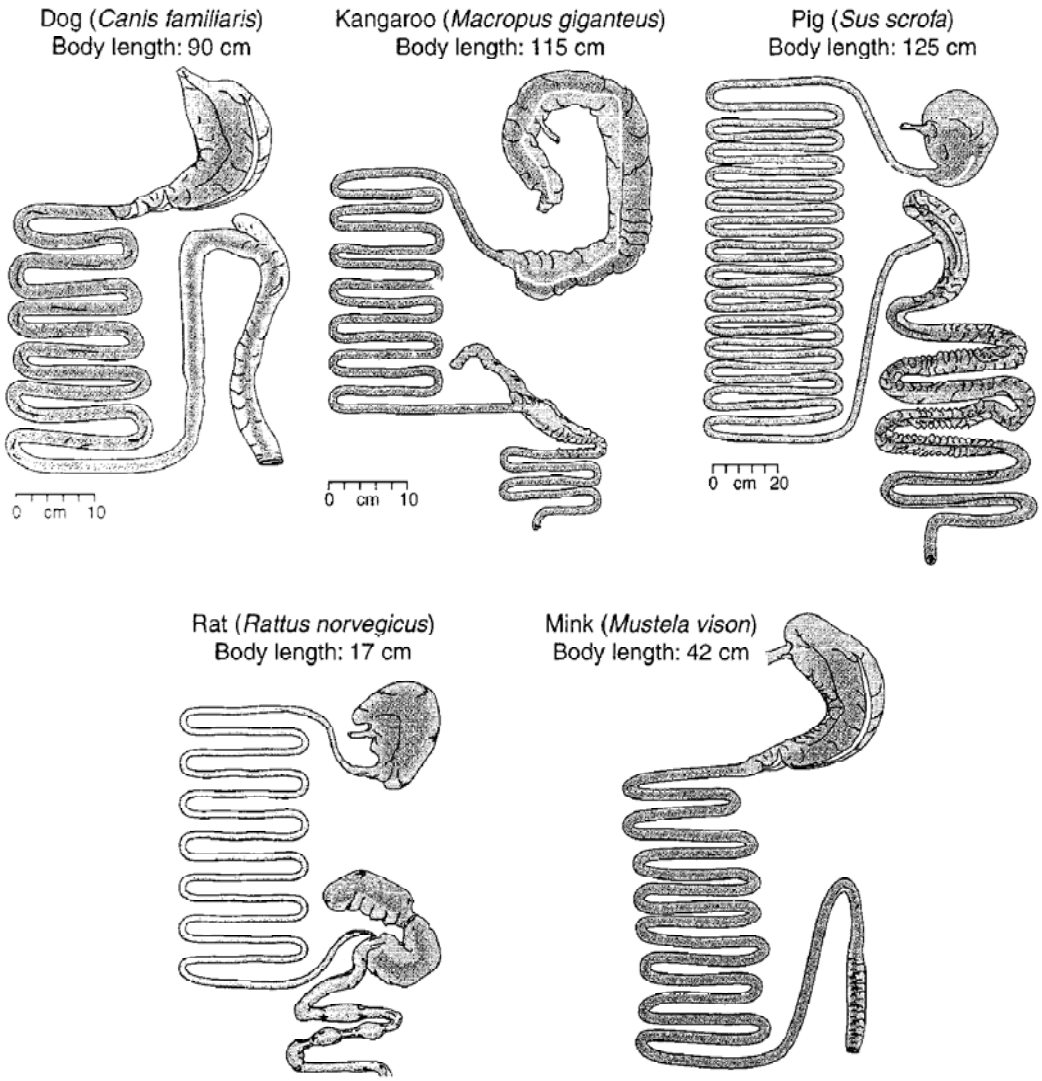
1.4 ลำไส้เล็ก (small intestine)

ลำไส้เล็กของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีความยาว (ภาพที่ 6.6) ที่แตกต่างกัน และเนื่องจากลำไส้เล็กเป็นทางเดินอาหารที่มีความยาวและมีพื้นที่ผิวสัมผัสภายในมากที่สุด จึงมีบทบาทสำคัญที่สุดในการย่อยอาหารเพื่อให้ได้โภชนะต่าง ๆ ที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กตอนกลาง (jejunum) และลำไส้เล็กตอนปลาย (ileum) ลำไส้เล็กส่วนต้นมีลักษณะคล้ายรูปตัวยูยึดติดกับผนังช่องท้องด้วยเยื่อยึดลำไส้สั้น ๆ (mesentary) บริเวณลำไส้เล็กตอนต้นจะมีช่องเปิดของท่อน้ำดี และท่อจากตับอ่อนเพื่อเป็นทางผ่านของน้ำดีและเอนไซม์จากตับอ่อน ผนังของลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งน้ำย่อยหรือเอนไซม์ เช่น lactase, moltase, sucrase, lipase, amylase และ dipeptidase นอกจากหน้าที่ผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารแล้ว ยังทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร คือ ฮอร์โมนซิครีติน (secretin) ฮอร์โมนโคเลซีสโตไคนิน (cholecystokinin; CCK) และฮอร์โมนโมติลิน (motilin) ที่หลั่งมาจากผนังลำไส้เล็กส่วนต้นทำหน้าที่ดูดซึมโภชนะต่าง ๆ วิตามิน และแร่ธาตุ และทำให้อาหารผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่

โครงสร้างของลำไส้เล็กประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น ชั้นในสุดคือชั้นเยื่อเมือก ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นย่อย ๆ รวมกัน คือเซลล์เยื่อบุที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมสั้น ๆ ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือก ตรงปลายของเซลล์เยื่อบุผิวรูปสี่เหลียมจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะขนเล็ก ๆ เรียกว่า brush border ของ microvilli เพื่อทำหน้าที่เป็นพื้นที่ผิวของลำไส้ช่วยในการดูดซึมโภชนะ

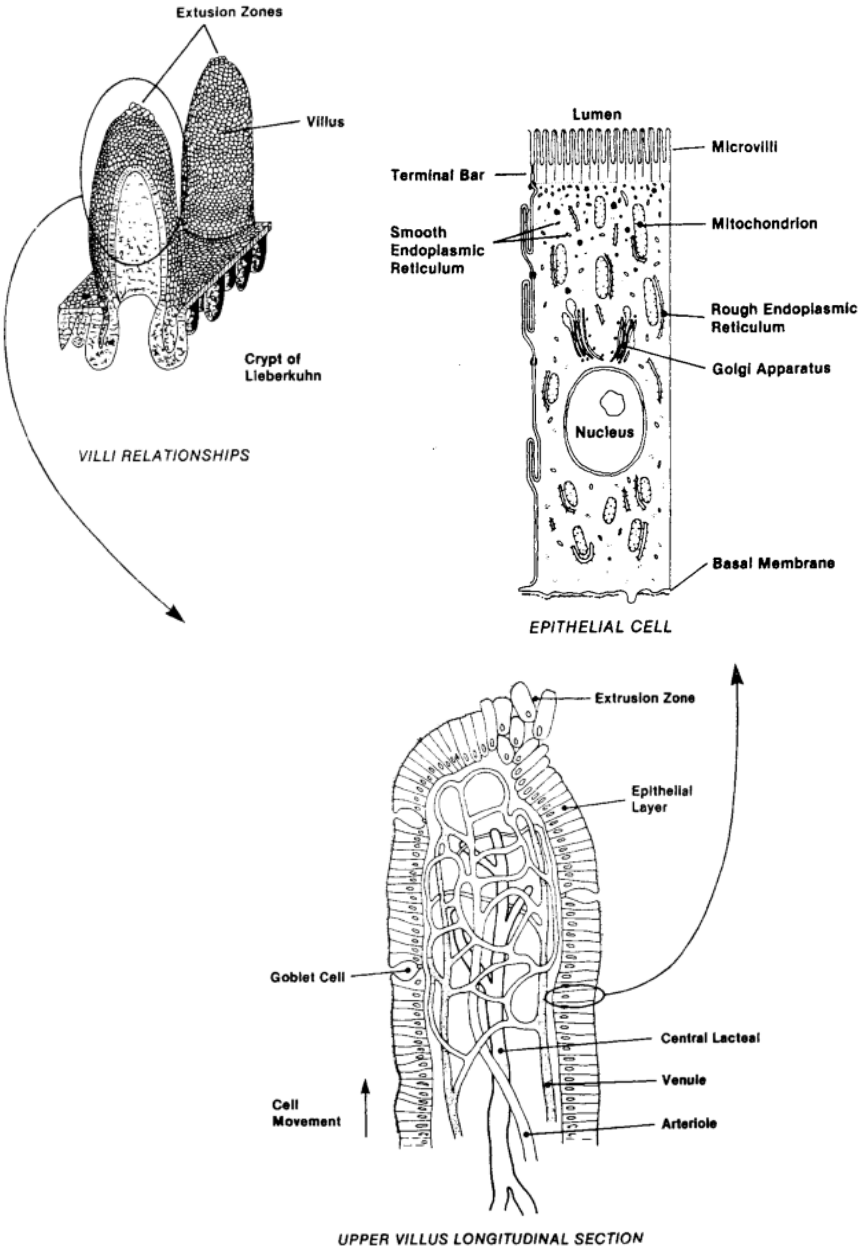
ถัดจากชั้นของเซลล์เยื่อบุเป็นชั้น lamina propia จากนั้นเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบบาง ๆ 2 – 3 ชั้น ตลอดชั้นเยื่อเมือกจะมีโครงสร้างที่เรียกว่า วิลไล (villi) (ภาพที่ 6.7) มีลักษณะคล้ายขนยื่นเข้าไปในช่องว่างของลำไส้ ระหว่างวิลไลจะมีแอ่งรูปทรงกระบอกเล็ก ๆ แทรกอยู่ เรียกว่า crypt of lieberkuhn เยื่อบุส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการผลิตและคัดหลั่ง enzyme สำหรับ catalyst การย่อยอาหาร และดูดซึมสารอาหารที่ผ่านการย่อยแล้วเข้าสู่เซลล์ของเยื่อบุผนังลำไส้เล็กในบริเวณนี้ (องอาจ อินทร์สังข์, 2548, หน้า 37)

ชั้นใต้เยื่อเมือกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวก loose connective tissue เป็นบริเวณที่มีปมประสาทและเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่ ปมประสาทจะมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบรอบลำไส้เล็ก ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้เล็กเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบ เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กช่วยในการเคลื่อนที่ของอาหารและการย่อยอาหาร กล้ามเนื้อเรียบชั้นในเป็นกล้ามเนื้อวงแหวนและด้านนอกเป็นกล้ามเนื้อตามยาว



ภาพที่ 6.6 ขนาดและความยาวของลำไส้เล็กของ (บน) สุนัข จิ้งโจ สุกร (ล่าง) หนู และ ตัวมิงค์

ที่มา : (Damron, 2006, p. 99)



ภาพที่ 6.7 โครงสร้างวิลไล (villi) ในลำไส้เล็กของสุกร

ที่มา : (Cheeke, 2005, p. 12)

1.5 ไส้ติ่ง (cecum)

ไส้ติ่งเป็นถุงที่มีลักษณะเป็นท่อตัน เชื่อมต่อระหว่างลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว มีไส้ติ่งเพียง 1 ถุง (cecum) แต่ในสัตว์ปีกมีไส้ติ่งทั้ง 2 ข้าง (ceca) ในม้า (ภาพที่ 6.3) กระต่าย และสัตว์กระเพาะเดี่ยวบางชนิดมีไส้ติ่งที่มีขนาดใหญ่ทำหน้าที่ในการหมัก เปรียบได้กับกระเพาะรูเมนของสัตว์กระเพาะรวม

1.6 ลำไส้ใหญ่ และทวารหนัก (large intestine and colon)

ลำไส้ใหญ่เป็นส่วนที่ต่อจากไส้ติ่งไปจนถึงทวารหนัก (cloaca) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เป็นทางเปิดร่วมกันของปัสสาวะและอุจจาระ ถัดจากส่วนนี้ไปจะเป็นทวารหนักซึ่งเป็นทางเปิดออกของเสียที่ขับถ่ายออกภายนอกต่อไป

2. ทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

2.1 ปาก

สัตว์ปีกไม่มีริมฝีปาก ฟันและกระพุ้งแก้ม แต่จะมีจะงอยปาก (beak แบบเรียวแหลม และ bill แบบแบนทู่) ที่แข็ง ซึ่งใช้ในการจิกและฉีกอาหาร ภายในปากประกอบด้วย ลิ้นมีลักษณะแข็งเป็นรูปสามเหลี่ยม ทำหน้าที่ช่วยในการกลืนอาหาร มีต่อมน้ำลายอยู่บริเวณด้านข้างของปากทำหน้าที่ผลิตน้ำลายซึ่งมีลักษณะเป็นด่างอ่อน ๆ ทำให้อาหารเปียกชื้น และอ่อนนุ่ม เอนไซม์ amylase ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล แต่การย่อยในปากเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย มีตุ่มรับรส (taste buds) ประมาณ 250 –350 ตุ่ม รับรสเค็มและหวานได้ดี

2.2 หลอดอาหาร

เป็นท่อกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการลำเลียงอาหารจากปากไปยังกระเพาะ ตอนปลายของหลอดอาหารจะขยายออกเกิดเป็นกระเพาะพัก (crop) (ภาพที่ 6.2) ซึ่งมีระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะพักจะขึ้นอยู่กับขนาดของอาหารปริมาณอาหารที่กินและปริมาณอาหารที่อยู่ในกระเพาะบด ในกระเพาะพักไม่มีการสร้างเอนไซม์

2.3 กระเพาะอาหาร

ของสัตว์ปีกมีอยู่ 2 ส่วน คือ

กระเพาะแท้ (proventriculus) ต่ออยู่ทางด้านหลังของกระเพาะพัก เป็นบริเวณที่มีต่อมต่าง ๆ อยู่มากมาย จึงเรียกว่า glandular stomach ทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์เปปซิน (pepsin) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) มีค่า pH ประมาณ 2

กระเพาะบด (gizzard) เป็นอวัยวะที่มีผนังหนาและมีกล้ามเนื้อแข็งแรงจึงเรียกว่า muscular stomach ทำหน้าที่บดอาหาร แทนการเคี้ยวด้วยฟันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม การเสริมก้อนกรวดลงในอาหารจะทำให้การบดและการย่อยอาหารมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นบริเวณกระเพาะส่วนนี้ไม่มีการหลั่งเอนไซม์

2.4 ลำไส้เล็ก

ส่วนต้น (duodenum) เป็นท่อทางเดินอาหารที่มีลักษณะโค้งเป็นห่วง (loop) เรียกว่า duodenal loop เป็นที่ยึดตับอ่อน (pancreas) ซึ่งตับอ่อนจะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำย่อย (pancreatic juice) เข้าสู่ลำไส้เล็ก ส่วนกลาง (jejunum) และ ส่วนปลาย (ilium) มีความยาวทั้งหมดประมาณ 140 เซนติเมตร

2.5 ไส้ติ่ง

ในสัตว์ปีกเกือบทุกชนิดมีไส้ติ่ง 2 อันมีลักษณะเป็นถุงตอนปลายขยายใหญ่กว่าตอนโคนถุงเชื่อมต่อกับท่อทางเดินอาหารบริเวณรอยต่อระหว่างลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ (Ileo-caeco-rectal junction) เป็นส่วนสุดท้ายสำหรับการย่อยอาหารและการดูดซึมน้ำเป็นบริเวณที่เกิดการหมักและย่อยเยื่อใยในอาหารโดยแบคทีเรีย

2.6 ลำไส้ใหญ่

ลำไส้ใหญ่อยู่ต่อจากลำไส้เล็กและสิ้นสุดที่ทวารร่วมมีความยาวเพียงประมาณ10 เซนติเมตร ในส่วนนี้จะมีการดูดซึมน้ำจากกากอาหารเข้าสู่ร่างกายทำให้กากอาหารมีลักษณะแห้งก่อนที่จะขับถ่ายออกจากร่างกาย ทวารร่วม (cloaca) เป็นส่วนสุดท้ายของระบบทางเดินอาหารซึ่งจะเปิดเข้าสู่ทวารร่วมเป็นท่อร่วมระหว่างระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์

3. การย่อยและการดูดซึมอาหารสัตว์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

การย่อยอาหารเป็นการจิก ฉีก ขบ เคี้ยวอาหารโดยอาศัยจะงอยปาก ปาก ฟัน กราม ลิ้น เพดานแข็ง และอวัยวะอื่น ๆ ในช่องปาก ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง เหมาะสมกับการย่อย เรียกว่าการย่อยด้วยวิธีกล (mechanical mean) หลังจากนั้นจะถูกย่อยด้วยวิธีเคมี (chemical mean) เป็นการย่อยอาหารที่เกิดจากการกระตุ้นของ enzyme และสารช่วยย่อยชนิดต่าง ๆ เพื่อให้โภชนะในอาหารมีขนาดโมเลกุลเล็กพอที่จะดูดซึม ใน กระเพาะ และลำไส้ส่วนต่าง ๆ ต่อไป

3.1 การย่อยอาหารในปาก

ในปากมีการหลั่งน้ำลายจากต่อมน้ำลาย (salivary gland) มี enzyme amylase ทำการย่อยแป้งในอาหาร แต่โดยพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์ตามปกติแล้ว พบว่าสัตว์ใช้เวลาในการขบเคี้ยวอาหารภายในช่องปากไม่นานก็จะกลืนกินอาหารลงสู่คอหอย และหลอดอาหาร ดังนั้นการกระตุ้นการย่อยโดย amylase จึงไม่ได้เกิดขึ้นมากนักในทางเดินอาหารส่วนนี้

3.2 การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในกระเพาะ

ทางเดินอาหารส่วนนี้มีการบีบตัวทั้งที่เป็นแบบรัดรูด (peritaltic movement) โดยจะทำการรัดรูดทุก 5-15 นาที/ครั้งเพื่อบีบไล่ให้อาหารเคลื่อนที่ต่อไปยังลำไส้เล็ก และ เพื่อการบดและคลุกเคล้าอาหารให้น้ำและอาหารผสมคลุกเคล้าเข้ากันโดยอาศัยกรดเกลือ (HCl) ที่ผลิตจาก parietal cells หรือ oxyntic cells ซึ่งเป็นกรดที่มีผลทำให้อาหารที่สัตว์กินเข้าไปเสียสภาพเดิมไปและพร้อมที่จะถูกย่อยต่อไปเมื่อมีเอนไซม์

เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น pepsin และ rennin ซึ่ง rennin เป็นเอนไซม์ที่มีมากในกระเพาะของลูกสัตว์ที่กินนมเป็นอาหาร rennin จะทำปฏิกิริยากับเคซีน (casein) ซึ่งเป็นโปรตีนในน้ำนม โดยการกระตุ้นของแคลเซียมอิออนได้ calcium paracasein ที่มีลักษณะเป็นก้อน ทำให้น้ำนมที่มีลักษณะเป็นของเหลวเกิดตกตะกอนและเคลื่อนที่ช้าลงเอนไซม์ rennin จึงเข้าย่อยโปรตีนในน้ำนมเพื่อใช้ประโยชน์ได้

casein + rennin ⟶ paracasein (ละลายน้ำได้)

paracasein + Ca^{++} ⟶ calcium paracasein (ละลายน้ำไม่ได้)

3.3 การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก

การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในทางเดินอาหารส่วนนี้จึงมีความสำคัญมากที่สุด ลำไส้เล็กมีการย่อยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (ภาพที่ 6.7) โดยอาศัยการกระตุ้นของเอนไซม์ทั้งที่มาจากเซลล์เยื่อบุผนังของลำไส้เล็ก (intestinal juice) ตับอ่อน (pancreatic juice) และน้ำดี (bile) ซึ่งผลิตจากตับ

3.3.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก โดยมีเอนไซม์ pancreatic amylase เป็นตัวกระตุ้นการย่อยแป้งจนได้น้ำตาลโครงสร้างเล็ก ๆ เมื่อได้โมเลกุลของแป้งเล็กลงแล้ว disaccharidase ชนิดต่าง ๆ ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการย่อยต่อไป โดยที่ disaccharidase พวกนี้เป็น enzyme ที่เป็น glycoprotein สามารถทำหน้าที่ในการเป็นตัวพาน้ำตาลเข้าสู่เซลล์

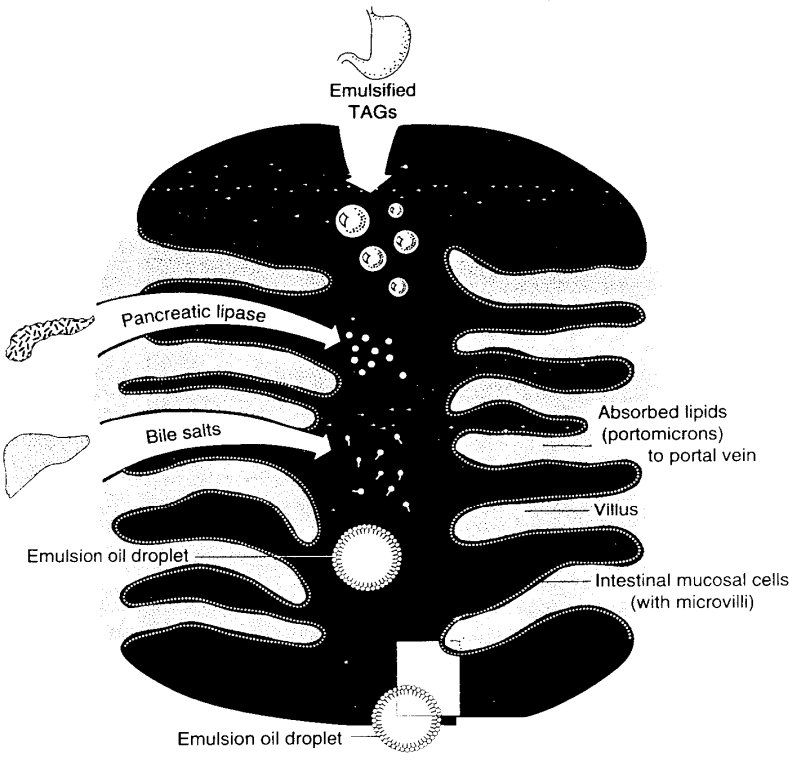
3.3.2 การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในลำไส้เล็ก โปรตีนและ tripeptides จะถูกย่อยจนได้เป็นกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กส่วน Duodenum และ Jejunum ส่วน Ileum จะดูดซึมได้ต่ำ ที่ผนังลำไส้เล็กของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขณะคลอดใหม่มีความสามารถดูดซึมโปรตีนบางชนิด เช่น γ-globulin ในน้ำนมเหลืองทั้งโมเลกุลได้เลย โดยขบวนการ Pinocytosis เข้าไปในระบบน้ำเหลือง แต่ความสามารถนี้จะหมดลงอย่างรวดเร็วใน 2-3 วัน หลังคลอด

3.3.3 การย่อยและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็ก และการขนส่งกรดไขมันเข้าสู่เซลล์ ไขมันเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ เมื่ออาหารไขมันออกจากกระเพาะและตกลงสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ในสภาพที่เป็นเม็ดไขมันขนาดใหญ่ จำเป็นต้องปรับโครงสร้างของไขมันให้สามารถแขวนลอยในน้ำ (emulsification) โดยการรวมตัวกับเกลือของน้ำดีจากถุงน้ำดี (gall bladder) ที่มีท่อมาเปิดออกบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นนี้ กรดน้ำดีเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเกลือน้ำดี (bile salt) (ภาพที่ 6.8) เมื่อไขมันซึ่งส่วนมากคือ triglycerides ถูกปล่อยจากกระเพาะลงมายังลำไส้เล็กส่วนต้น ก็จะเกิดการผสมคลุกเคล้ากับน้ำดีและสารคัดหลั่งทั้งจากเซลล์ของเนื้อเยื่อบุผิวของลำไส้เล็กเองและจากตับอ่อน หลังจากนั้นเอ็นไซม์ lipase จากตับอ่อนจะเข้าไปย่อยไขมัน สารที่ได้จากการย่อยสลายไขมันจะรวมตัวกับเกลือของน้ำดีอีกครั้งหนึ่งเพื่อช่วยในการดูดซึม (ภาพที่ 6.9) ซึ่งการผสมคลุกเคล้าดังกล่าวนี้

มีผลทำให้ไขมันมีสภาพเป็น emulsion คือมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้มากขึ้น อันเป็นผลให้มีโอกาสถูกย่อยโดย pancreatic และ Intestinal lipase ได้มากขึ้น

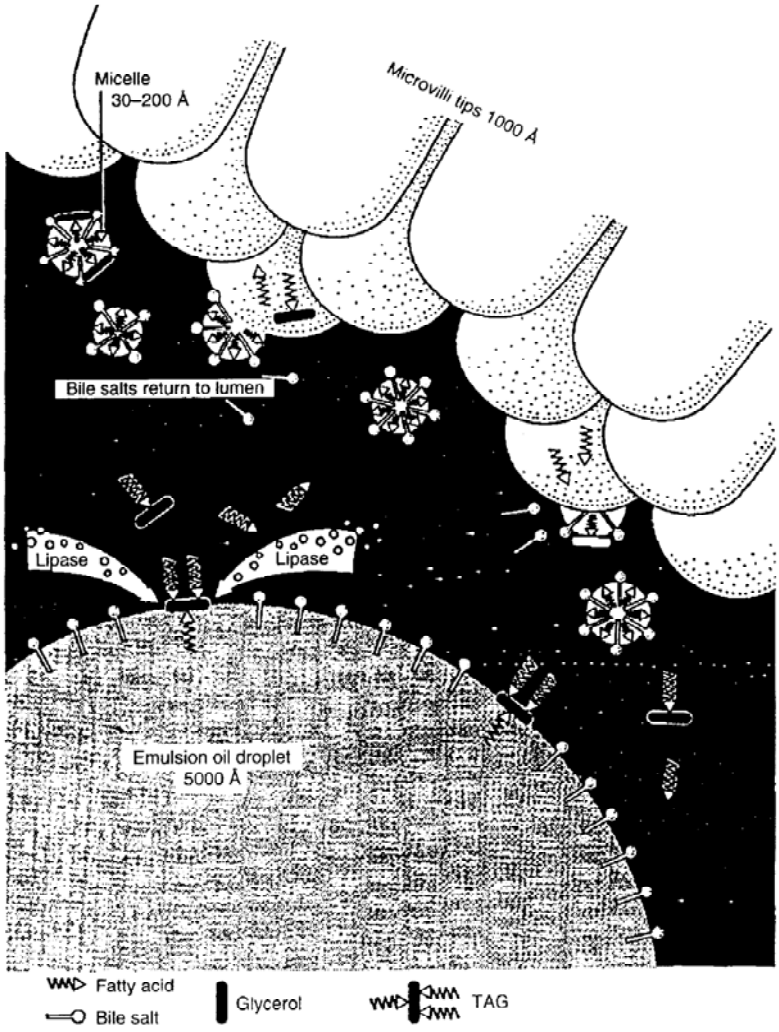
3.3.4 การดูดซึมวิตามินในลำไส้เล็ก ส่วนใหญ่วิตามินจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กตอนบน ยกเว้นวิตามินบี 12 ถูกดูดซึมที่ Ileum วิตามินจะต้องอยู่ในรูปสารละลายก่อนจึงจะดูดซึมได้ วิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น A D E และ K ดูดซึมโดยรวมเป็นองค์ประกอบใน mixed micelle (การรวมตัวของสารที่ละลายในไขมัน) เมื่ออยู่ภายในเซลล์ของลำไส้เล็กจะรวมกับโปรตีน และผ่านเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดในรูป lipoprotein วิตามินที่ละลายน้ำจะถูกดูดซึมโดย simple diffusion การดูดซึมวิตามินบี 12 ต้องอาศัย intrinsic factor (สารพวกโปรตีนที่ผลิตที่กระเพาะมาทำหน้าที่ Ileum) โดยเมื่อจับกันแล้วดูดซึมที่ ileum จากนั้นก็จะแยกจากกัน

3.3.5 การดูดซึมแร่ธาตุในลำไส้เล็ก เกิดขึ้นตลอดทั้งลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ อัตราการดูดซึมขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น pH ตัวพา เป็นต้น กลไกการดูดซึมเป็นแบบ active transport และ simple diffusion ในสัตว์โตเต็มวัยการดูดซึมจะมีน้อยกว่าสัตว์อ่อน เมื่อสัตว์ป่วย เสียเลือด ตั้งครรภ์ ความต้องการแร่ธาตุเพิ่มขึ้น การดูดซึมจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6.8 การย่อยไขมันในส่วนของลำไส้เล็กส่วน duodenum

ที่มา : (Cheeke and Dierenfeld, 2013, p. 128)



ภาพที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมัน เอ็นไซม์ lipase, micelle ที่ช่วยในการย่อยและดูดซึมกรดไขมัน

ที่มา : (Cheeke and Dierenfeld, 2013, p. 129)

2.4 การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ใหญ่

ในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (colon) และส่วนปลาย (rectum) และในไส้ติ่ง (cecum) ของสัตว์กระเพาะเดี่ยวเป็นเพียงการดูดซึมน้ำกลับและการขับน้ำเมือกเพื่อให้กากอาหารเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่างสะดวก สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่ไส้ติ่งทำหน้าที่ในการหมักจำพวกม้า และกระต่าย การย่อยอาหารในทางเดินอาหารส่วนนี้นับว่ามีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากมีกลไกการหมักอาหาร (fermentation) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เช่นเดียวกับการหมักที่เกิดขึ้นในสัตว์กระเพาะรวม และได้ผลผลิตของการหมักทั้งที่เป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids: VFA) ซึ่งสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากผลผลิตที่ได้เช่นเดียวกับสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่นกัน (องอาจ อินทร์สังข์, 2548, หน้า 70)

ทางเดินอาหาร การย่อยและการดูดซึมอาหารสัตว์ในสัตว์กระเพาะรวม

1. ทางเดินอาหารในสัตว์กระเพาะรวม

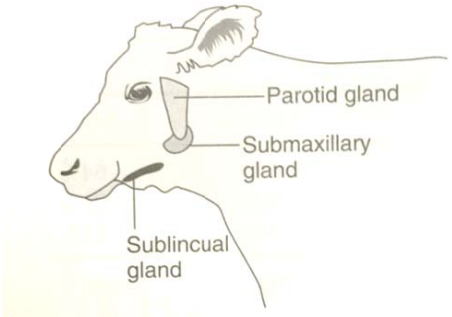
1.1. ปาก และช่องปาก

ภายในช่องปากของสัตว์กระเพาะรวมแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ ปากของโคมีรอบปาก (muzzle) ส่วนบนที่เป็นส่วนของแผ่นเยื่อชุ่มใกล้จมูก มีต่อม (serous gland) อยู่เป็นจำนวนมาก ในโคที่มีสุขภาพดีต่อมเหล่านี้จะขับของเหลวออกมาทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนี้มีลักษณะชุ่มชื้น แต่ถ้าหากสัตว์มีไข้เนื้อเยื่อส่วนนี้ก็จะแห้งภายในช่องปากมีอวัยวะที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ลิ้น (tongue) ทำหน้าที่ในการจับอาหารเข้าปาก

เพดาน (hard pad หรือ dental pad) โคจะใช้ลิ้นดึงหญ้าเข้าปากแล้วตัดให้ขาดโดยใช้ฟันหน้ากดทับกับเพดานแข็ง เพราะโคไม่มีฟันหน้าด้านบน

ฟัน มีบทบาทสำคัญในการจับอาหารเข้าปาก ช่วยในการบดเคี้ยวและคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลายและช่วยในการกลืนอาหารและการเคี้ยวเอื้อง ในโคที่อายุยังน้อยมีฟันน้ำนม (deciduous: D) จำนวน 20 ซี่ แต่โคที่โตเต็มที่แล้วมีฟันแท้ (permanent: P) จำนวน 32 ซี่ แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ ฟันหน้า (incisor: I) ฟันข้างแก้ม (premolar: P) และฟันกราม (Molar: M) ซึ่งโคไม่มีฟันเขี้ยว (canine: C)

ต่อมน้ำลายและน้ำลาย (salivary gland and saliva) ภายในช่องปากมีต่อมน้ำลาย (ภาพที่ 6.10) จำนวน 5 คู่ ได้แก่ parotid, submaxillary, inferior molar, ventral sublingual และ buccal gland และที่เป็นต่อมเดี่ยว จำนวน 3 ต่อม ได้แก่ palatine, pharyngeal และ labial gland ทำหน้าที่ผลิตน้ำลายสำหรับช่วยในการเคี้ยว กลืน กินอาหาร และการเคี้ยวเอื้อง น้ำลายมีคุณสมบัติในการต่อต้านการเป็นกรดในกระเพาะอาหารและต่อต้านการเกิดฟองอากาศที่ดี สัตว์กระเพาะรวมแต่ละชนิดจะผลิตน้ำลายออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ขนาด อายุ และชนิด และลักษณะของอาหารที่กิน (เทอดชัย เวียรศิลป์, 2548, หน้า 30-31)

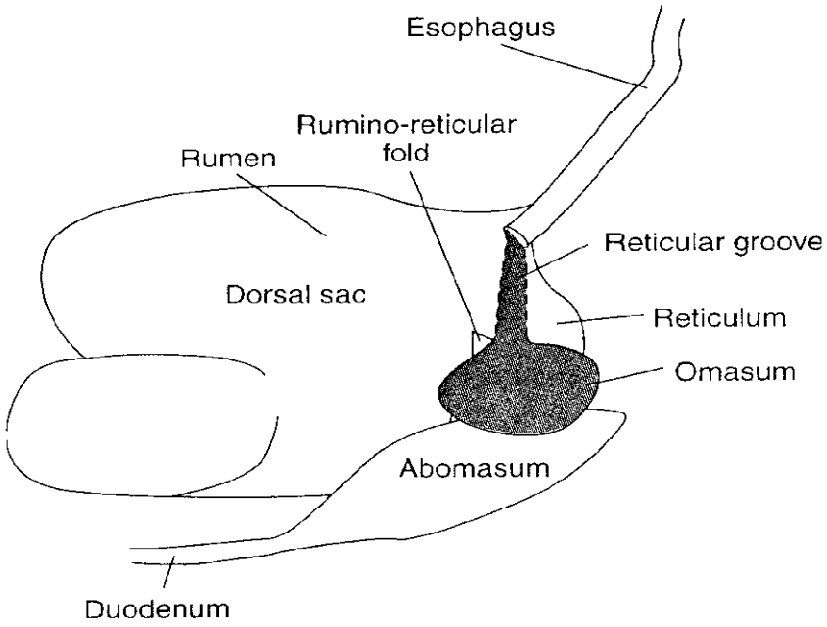


ภาพที่ 6.10 ต่อมน้ำลายตำแหน่งต่าง ๆ ในโค
ที่มา : (Tyler and Ensmiger, 2006, p. 68)

1.2 หลอดอาหาร

หลอดอาหารเป็นหลอดเชื่อมต่อระหว่างคอหอย (pharynx) กับรอยต่อของกระเพาะรูเมนและรังผึ้ง (reticulo-rumen หรือ rumino-reticulum) ซึ่งมีหน้าที่ทั้งเพื่อการนำอาหารจากปากลงสู่กระเพาะในขั้นตอนการกลืนอาหาร และการนำอาหารจากกระเพาะมาเคี้ยวใหม่ในขั้นตอนการเคี้ยวเอื้อง ซึ่งเป็นการทำงานที่อยู่ภายใต้การควบคุมของจิตใจ

ในลูกสัตว์กระเพาะรวมหลังคลอดใหม่ ๆ เนื่องจากกระเพาะส่วนหน้า 3 ส่วนแรกยังไม่ทำหน้าที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำนมที่กินตกลงในกระเพาะส่วนหน้านี้ ต้องการให้ไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนที่ 4 โดยตรง จึงจำเป็นต้องมีร่องที่บิดตัวเป็นท่อเกลียวเพื่อรองรับน้ำนมจาก esophagus เพื่อผ่านตรงไปยังกระเพาะส่วนที่ 4 โดยตรง เรียกร่องนี้ว่า esophageal groove หรือ reticular groove (ภาพที่ 6.11) ซึ่งเป็นกลไกที่มีความสำคัญยิ่งต่อการมีชีวิตรอดของลูกสัตว์กระเพาะรวมระยะแรกคลอด



ภาพที่ 6.11 บริเวณส่วนปลายของหลอดอาหาร (esophageal groove)
ที่มา : (Damron, 2006, p. 107)

1.3 กระเพาะอาหาร

สัตว์กระเพาะรวมเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะขนาดใหญ่มีความจุกระเพาะมาก เนื่องจากอาหารที่กินส่วนใหญ่เป็นพืชอาหารสัตว์หรืออาหารหยาบมีความฟ่ามสูงไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์จากท่อทางเดินอาหารได้ ดังนั้นจึงต้องมีจุลินทรีย์ในกระเพาะเพื่อช่วยในการย่อยอาหาร ประกอบด้วยแบคทีเรีย และโปรโตซัวขนาดเล็ก กระเพาะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนแต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน จึงอาจเรียกว่าเป็นสัตว์กระเพาะรวม

กระเพาะของโคตั้งอยู่ในช่องท้อง และกินเนื้อที่ส่วนใหญ่ประมาณ 3 ใน 4 (75 เปอร์เซ็นต์) ของช่องท้องทั้งหมด ซึ่งครอบคลุมช่องท้องด้านซ้ายเกือบทั้งหมดเหลือที่ไว้สำหรับลำไส้เล็กและม้ามเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ประกอบด้วย กระเพาะรังผึ้ง (reticulum) กระเพาะผ้าริ้ว (rumen) กระเพาะสามสิบกลีบ (omasum) และกระเพาะแท้ (abomasum) (ภาพที่ 6.12) ในสัตว์กระเพาะรวมจะมีขนาดไม่เท่ากัน (ตารางที่ 6.1) กระเพาะรูเมนมีช่องทางติดต่อกับกระเพาะรังผึ้งเรียกว่า rumino-reticulum orifice ส่วนกระเพาะแท้ (abomasum) ผนังด้านในมีลักษณะเหมือนกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ตารางที่ 6.1 ขนาดและปริมาตรของกระเพาะของสัตว์ที่โตเต็มที่

กระเพาะอาหาร	ชนิดของสัตว์	
	โค	แกะ
กระเพาะผ้าริ้ว (rumen)	40 แกลลอน	5 แกลลอน
กระเพาะรังผึ้ง (reticulum)	2 แกลลอน	2 ลิตร
กระเพาะสามสิบกลีบ (omasum)	4 แกลลอน	1 ลิตร
กระเพาะแท้ (abomasum)	4 แกลลอน	3 ลิตร

ที่มา : (Taylor and Field, 2008, p. 289)

1.3.1 กระเพาะรูเมนหรือกระเพาะผ้าขี้ริ้ว (rumen) วางอยู่ในตำแหน่งที่ครอบคลุมพื้นที่ด้านซ้ายของช่องท้องไว้เกือบทั้งหมด โดยด้านบนเริ่มจากผนังด้านหลัง (dorsal wall) ลงไปจนถึงผนังพื้นท้อง (abdominal floor) และในแนวนอนตั้งแต่ส่วนหน้าของกระดูกซี่โครงคู่ที่ 7-8 ไปจนถึงกระดูกเชิงกราน ด้านซ้ายของกระเพาะรูเมนส่วนหน้าอยู่ติดกับแผ่นกระบังลม (diaphragm) และด้านข้างอยู่ติดกับผนังช่องท้องด้านซ้าย ส่วนด้านขวาของกระเพาะรูเมนอยู่ติดกับกระเพาะสามสิบกลีบ ในลูกโคเกิดใหม่ส่วนของกระเพาะรูเมนจะมีขนาดเล็กกว่ากระเพาะแท้

กระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ dorsal sac และ ventral sac ส่วน dorsal sac เป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่ ผนังของ dorsal และ ventral sac จะมี papillae มากมายมีหน้าที่

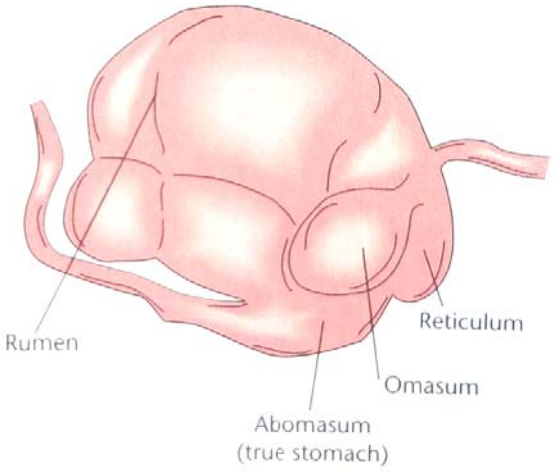
สำคัญในการช่วยโบกพัดคลุกเคล้าอาหาร และเกี่ยวข้องกับการดูดซึมโภชนะผ่านผนังกระเพาะรูเมน กล้ามเนื้อของกระเพาะรูเมนมี 2 ชั้น เรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

การเคลื่อนที่ของอาหารในกระเพาะรูเมนเกิดจากจังหวะในการบีบตัวของกระเพาะรูเมนทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายของ dorsal sac แล้วจะส่งไปทางด้านซ้ายของ ventral sac จากนั้นจึงมาถึงด้านหน้าของ ventral sac อาหารที่แหลกหรืออุ้มน้ำมากจะจมไปใน ventral sac ส่วนอาหารชิ้นใหญ่จะลอยอยู่ใน dorsal sac แล้วเกิดการขยอกอาหารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลับขึ้นมาทางหลอดอาหารและเคี้ยวเอื้องในปาก อาหารที่มีลักษณะกึ่งข้นกึ่งเหลว (semi solid) เข้าไปสู่ omasum ต่อไป การขยอกอาหารกลับขึ้นมาเคี้ยวเอื้องใหม่จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารมาสัมผัสกับ internal mucosal fold ที่กั้นระหว่าง ventral sac กับผนังของรูเมนและ reticulum เกิดการบีบตัวของ reticulum ทำให้ก้อนอาหารเข้าไปในหลอดอาหารแต่อาหารกึ่งเหลวจะเข้าไปใน reticulum กระเพาะรูเมนมีขนาดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด

1.3.2 กระเพาะรังผึ้ง (reticulum) มีตำแหน่งอยู่ส่วนหน้าในแนวกลาง (cranial and median position) ติดอยู่กับแผ่นกระบังลม (diaphragm) ตรงกับกระดูกซี่โครงคู่ที่ 6-8 ทางด้านซ้ายของลำตัว เป็นกระเพาะที่มีขนาดเล็กที่สุดมีรูปร่างคล้ายกับขวดรูปชมพู่ ด้านหนึ่งติดกับกระเพาะรูเมนส่วนอีกด้านหนึ่งติดกับกระเพาะส่วน omasum ตรงช่อง rumino reticulum orifice ผนังด้านในเป็นชั้นเยื่อเมือกมีเซลล์เยื่อบุพวก stratified squamous epithelium มีลักษณะเป็นสันคล้ายรูปรังผึ้ง กระเพาะส่วนนี้มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการส่งอาหารไปเคี้ยวเอื้องและการส่งอาหารที่ย่อยแล้วไปยังส่วนกระเพาะสามสิบกลีบ มีขนาดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด

1.3.3 กระเพาะส่วนสามสิบกลีบ (omasum) มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยแผ่นกล้ามเนื้อเป็นกลีบ ๆ (laminae) ด้านบน เยื่อเมือกที่หุ้มแผ่นกล้ามเนื้อจะมี papillae สั้น ๆ วางอยู่ด้านขวาของแนวกึ่งกลางลำตัว (median plane) ในตำแหน่งที่ตรงกับกระดูกซี่โครงคู่ที่ 7-11 เป็นกระเพาะที่อยู่ใกล้ชิดกับตับมากที่สุด เป็นส่วนที่ต่อจาก reticulum มีส่วนต่อกับกระเพาะแท้ มีขนาดประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด

1.3.4 กระเพาะแท้ (abomasum) เป็นกระเพาะที่มีลักษณะเป็นถุงที่มีรูปทรงยาวซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกัน กระเพาะส่วนนี้มีต่อมสร้างน้ำย่อยที่ชั้นเยื่อเมือกเช่นเดียวกับกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว กระเพาะแท้จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับกระเพาะรูเมนเมื่อสัตว์เจริญเติบโตขึ้น โดยมีส่วนต้น (pyloric) ที่มีขนาดเล็ก แต่มีส่วนปลาย (fundus) ที่ขยายใหญ่ขึ้นกว่าส่วนอื่น ๆ วางอยู่บนผนังช่องท้องในตำแหน่งของกระดูกซี่โครงคู่ที่ 9-10 และมีบางส่วนของกระเพาะส่วนนี้อยู่ติดกับตับเช่นเดียวกับกระเพาะสามสิบกลีบ ถัดจากกระเพาะส่วนนี้ลงไปก็จะเป็นส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) (องอาจ อินทร์สังข์, 2548, หน้า 51-54; เทอดชัย เวียรศิลป์, 2548, หน้า 2-5)



ภาพที่ 6.12 ตำแหน่งกระเพาะรังผึ้ง กระเพาะผ้าริ้ว กระเพาะสามสิบกลีบ และกระเพาะแท้
ที่มา : (Scanes, 2011, p. 244)

1.4 ลำไส้เล็ก

ลำไสเล็กเป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่เชื่อมต่อระหว่างกระเพาะอาหารส่วน pylorus และลำไส้ใหญ่ส่วน caecum ความยาวของลำไส้เล็กในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กตอนกลาง (jejunum) และลำไส้เล็กตอนปลาย (ileum) ลำไส้เล็กส่วนต้นมีลักษณะคล้ายรูปตัวยูยึดติดกับผนังช่องท้องด้วยเยื่อยึดลำไส้สั้น ๆ (mesentary) บริเวณลำไส้เล็กตอนต้นจะมีช่องเปิดของท่อน้ำดี และท่อจากตับอ่อนเพื่อเป็นทางผ่านของน้ำดีและเอนไซม์จากตับอ่อน ผนังของลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งน้ำย่อยหรือเอนไซม์ เช่น lactase, moltase, sucrase, lipase, amylase และ dipeptidase นอกจากหน้าที่ผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารแล้ว ยังทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร คือ ฮอร์โมนซิครีติน (secretin) ฮอร์โมนโคเลซีสโตไคนิน (cholecystokinin ; CCK) และฮอร์โมนโมติลิน (motilin) ที่หลั่งมาจากผนังลำไส้เล็กส่วนต้น ทำหน้าที่ดูดซึมโภชนะต่าง ๆ วิตามิน และแร่ธาตุ และทำให้อาหารผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ และไปสิ้นสุดที่ทวารหนัก

โครงสร้างของลำไส้เล็กประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น ชั้นในสุดคือชั้นเยื่อเมือกประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นย่อย ๆ รวมกัน คือเซลล์เยื่อบุที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมสั้น ๆ ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือก ตรงปลายของเซลล์เยื่อบุผิวรูปสี่เหลียมจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะขนเล็ก ๆ เรียกว่า brush border ของ microvilli เพื่อทำหน้าที่เป็นพื้นที่ผิวของลำไส้ช่วยในการดูดซึมโภชนะ

ถัดจากชั้นของเซลล์เยื่อบุเป็นชั้น lamina propia จากนั้นเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบบาง ๆ 2 – 3 ชั้น ตลอดชั้นเยื่อเมือกจะมีโครงสร้างที่เรียกว่า วิลไล (villi) มีลักษณะคล้ายขนยื่นเข้าไป

ในช่องว่างของลำไส้ ระหว่างวิลไลจะมีแอ่งรูปทรงกระบอกเล็ก ๆ แทรกอยู่ เรียกว่า crypt of lieberkuhn เยื่อบุส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกและหลั่งน้ำย่อย

ชั้นใต้เยื่อเมือกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวก loose connective tissue เป็นบริเวณที่มีปมประสาทและเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่ ปมประสาทจะมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบรอบลำไส้เล็ก ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้เล็กเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กช่วยในการเคลื่อนที่ของอาหารและการย่อยอาหาร กล้ามเนื้อเรียบชั้นในเป็นกล้ามเนื้อวงแหวนและด้านนอกเป็นกล้ามเนื้อตามยาว

ชั้นนอกสุดเป็นชั้นเซโรซ่า (serosa) ประกอบด้วยเยื่อบุผิวชนิด simple squamous epithelium ชั้นนี้มีลักษณะเหนียวมาก เพื่อเป็นการลดการเสียดสีของลำไส้กับอวัยวะอื่น ๆ ในช่องท้อง (องอาจ อินทร์สังข์, 2548, หน้า 61-62)

1.5 ไส้ติ่ง

ภายในไส้ติ่งของสัตว์กระเพาะรวมก็มีจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการหมักและได้ผลผลิตจากการหมักเช่นเดียวกับการหมักที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน

1.6 ลำไส้ใหญ่ และทวารหนัก

ลำไส้ใหญ่เป็นทางเดินอาหารส่วนสุดท้ายที่ไปสิ้นสุดลงที่ทวารหนัก มีลักษณะที่ต่างกัน 2 ส่วนคือ ส่วนต้นมีการขดตัวเป็นแบบ S-shape ขณะที่ส่วนปลายขดตัวเป็นเกลียว (spiral shape) ความยาวของลำไส้ใหญ่จะผันแปรไปตามประเภทของสัตว์กระเพาะรวม คือสัตว์กระเพาะรวมที่เลือกกินเมล็ดจะมีขนาดความยาวของลำไส้ใหญ่มากกว่าพวกกินหญ้าเช่นเดียวกับไส้ติ่ง

2. การย่อยและการดูดซึมอาหารในสัตว์กระเพาะรวม

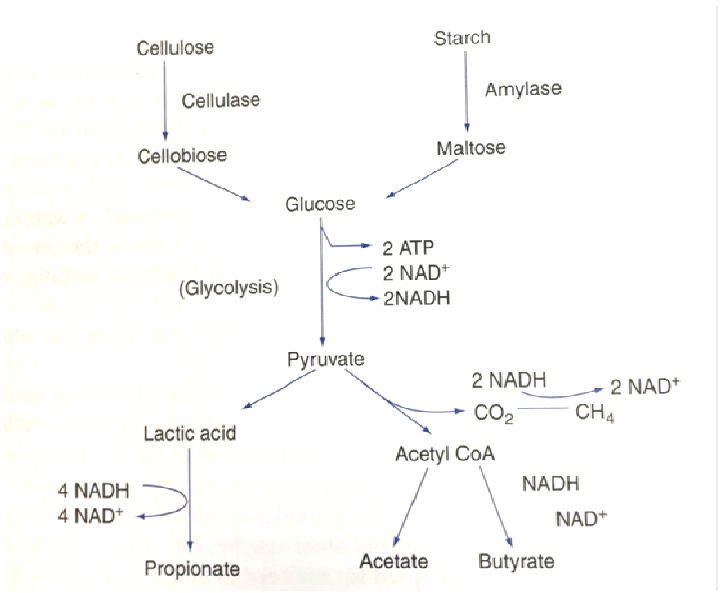
2.1 การย่อยอาหารในปาก

ในสัตว์กระเพาะรวม น้ำลายจะไม่มีเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรทแต่ในลูกสัตว์จะมีเอนไซม์ที่ใช้ย่อยไขมันในอาหาร คือ เอนไซม์ pregastric lipase ทำหน้าที่ย่อยไขมัน เอนไซม์นี้จะหมดไปเมื่อหย่านมลูกสัตว์ สำหรับการเคี้ยวอาหารเพื่อให้มีขนาดเล็กลง จนสามารถกลืนเข้าไปได้ก็จะรีบกลืนอาหารลงไปอย่างรวดเร็ว เพื่อเก็บพักอาหารนั้นในกระเพาะส่วนหน้า (reticulo-rumen) ไว้ระยะหนึ่งก่อน และเมื่อถึงช่วงพักผ่อนก็จะทำการขยอก (regurgitation) ก้อนอาหาร (bolus) ที่กินเข้าไปครั้งแรกมาเคี้ยวใหม่อีกครั้งหนึ่ง (rechewing) ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้เป็นพฤติกรรมที่มีความจำเพาะเฉพาะสัตว์ประเภทนี้เท่านั้นและเป็นที่มาของชื่อ สัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.2 การย่อยอาหาร และการดูดซึมในกระเพาะส่วนต่าง ๆ

กระเพาะส่วนหน้าประกอบด้วยกระเพาะรังผึ้ง กระเพาะรูเมน และกระเพาะสามสิบกลีบ การย่อยอาหารในส่วนกระเพาะส่วนหน้าทั้งสามจึงเป็นการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน การย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนเกิดจากการย่อยโดยวิธีกลและวิธีเคมี การย่อยโดยวิธีกลเป็นการย่อยที่เกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อกระเพาะรูเมนที่มีผลให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระเพาะ การบีบตัวและเคลื่อนไหวของอาหารทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง การบีบตัวของกระเพาะรูเมนยังมีส่วนช่วยในการขยอกอาหารเพื่อกลับไปเคี้ยวเอื้องใหม่ในปากด้วย สำหรับการย่อยโดยวิธีเคมีที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนเกิดจากผลของเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัว

2.2.1 การย่อยและการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะส่วนหน้า เป็นการย่อยและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid: VFA) หลายชนิดแต่ที่สำคัญมี 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก (acetic) กรดโปรปิโอนิก (propionic) และกรดบิวทิริก (butyric) และแก๊สมีเทน (CH_4) และ CO_2 อีกด้วย (ภาพที่ 6.13) ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าไปในเลือดไปยังตับจากนั้นจึงถูกนำไปใช้ยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและถูกใช้เป็นพลังงานต่อไป (ภาพที่ 6.14) (Russell and Gahr, 2000, p. 134)



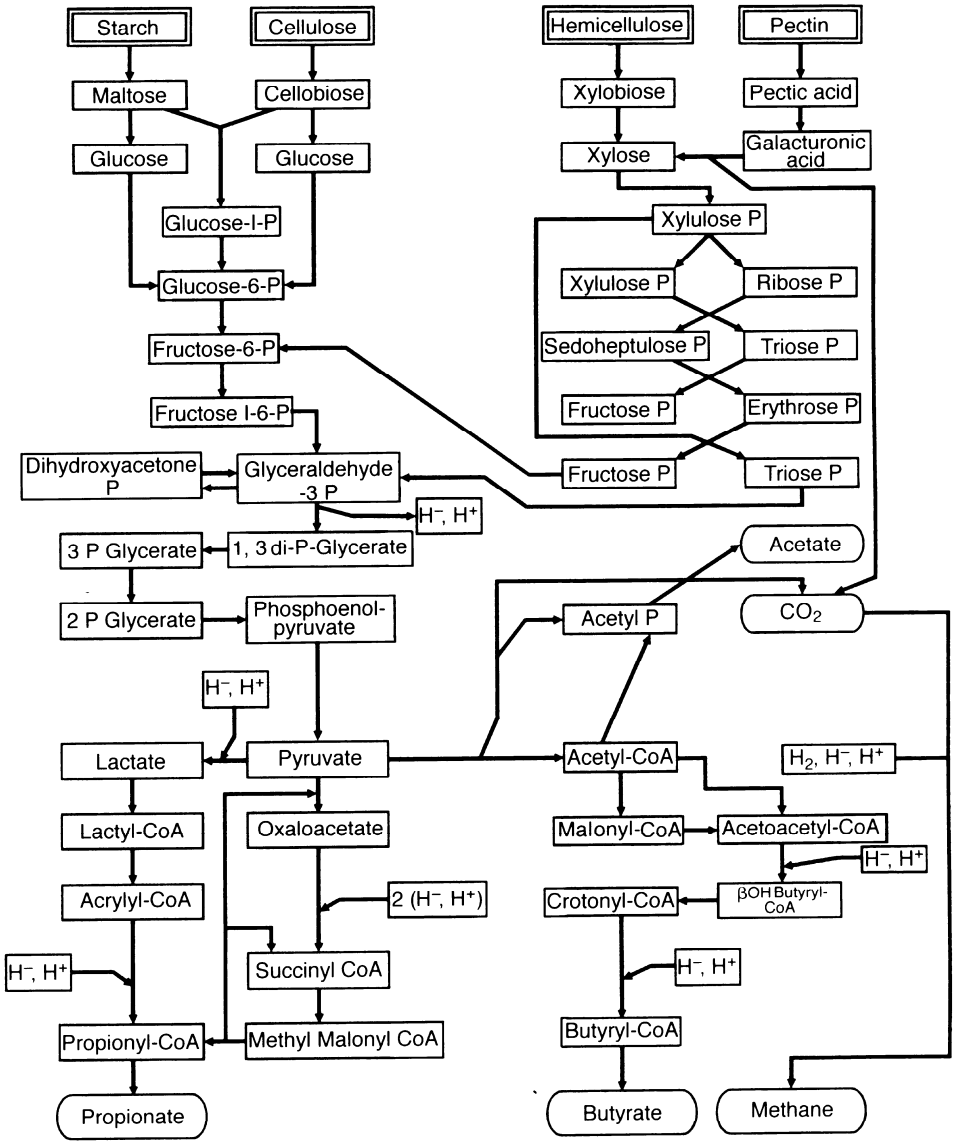
ภาพที่ 6.13 การสังเคราะห์ VFA ในกระเพาะรูเมนของจุลินทรีย์
ที่มา : (Taylor and Field, 2008, p. 108)

กรดโปรปิโอนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสซึ่งอาจถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลในนมหรือนำไปสร้างเป็นไขมันในร่างกาย กรดอะซิติกและกรดบิวทิริกส่วนใหญ่จะถูกนำไปสร้างเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย โดยบางส่วนของกรดอะซิติกจะถูกนำไปสร้างเป็นไขมันในน้ำนมด้วย สำหรับการย่อยโปรตีนที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนนอกจากบางส่วนของกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนจะถูกนำไปสร้างเป็นกรดไขมันระเหยได้ และการนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์แล้ว เมื่อจุลินทรีย์ผ่านเข้าไปในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและดูดซึมไปใช้ประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ได้

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการย่อยโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนนอกจากจะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนในจุลินทรีย์แล้ว บางส่วนยังถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปที่ตับและเปลี่ยนเป็นยูเรียได้ บางส่วนของยูเรียจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ขณะที่ยูเรียบางส่วนจะหมุนเวียนกลับไปใช้ประโยชน์ในกระเพาะรูเมนโดยผ่านทางน้ำลาย นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถที่จะสร้างวิตามินบีรวมและวิตามินเคได้ด้วย

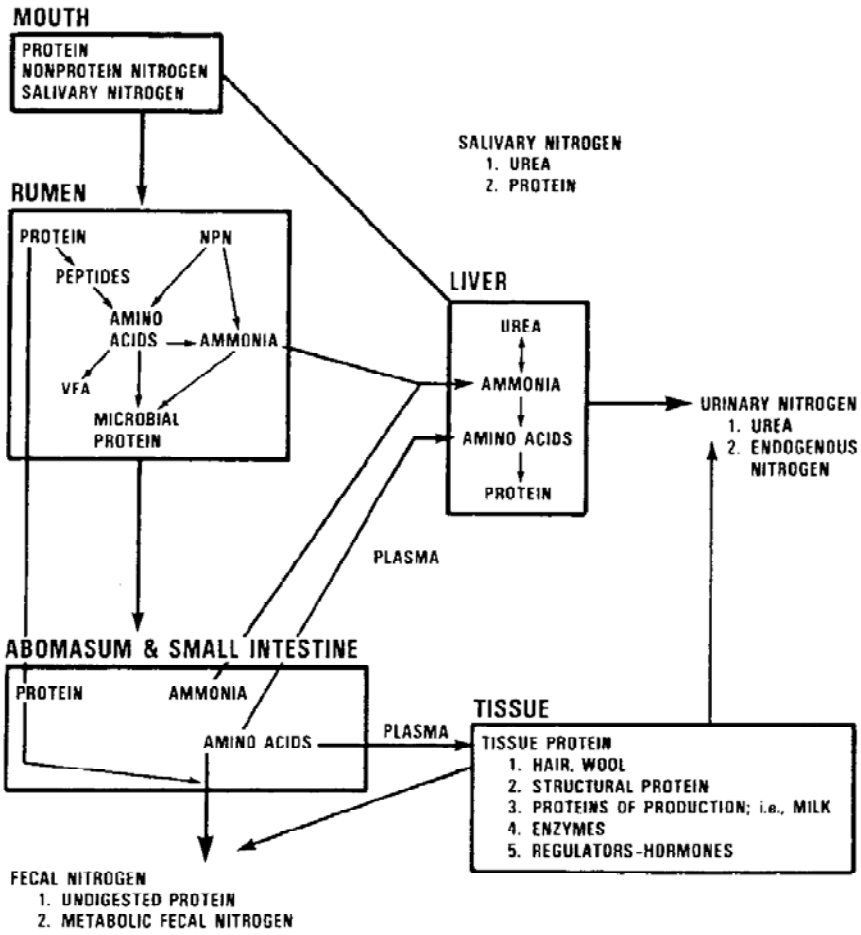
2.2.2 การย่อยโปรตีนในกระเพาะส่วนต่าง ๆ สำหรับการย่อยโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen: NPN) จุลินทรีย์จะเข้าทำการย่อยสลายจนได้เป็นเส้นสาย peptide และกรดอะมิโนอิสระ (free amino acids) ในที่สุด (ดังภาพที่ 6.15) โดยเฉพาะ peptide chain โซ่สั้น ๆ จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายกว่ากรดอะมิโนอิสระ และเมื่อทั้งกรดอะมิโนอิสระและ short chain peptides ที่เข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์แล้ว จุลินทรีย์ก็สามารถใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนอิสระเหล่านั้นเพื่อการวิเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) ได้ และก็สามารถเปลี่ยนกรดอะมิโนอิสระและ short chain peptides เหล่านั้นเพื่อให้ได้โครงคาร์บอน (carbon skeleton) แอมโมเนีย และสารตัวกลางอื่น ๆ สำหรับการสังเคราะห์สารเคมีชนิดอื่น

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น nitrate, urea, uric acids, amide, purine, pyrimidine และ ammonia จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ urease ซึ่งผลิตโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับผนังกระเพาะรูเมน จะถูกนำไปสร้างเป็นกรดไขมันระเหยได้ และการนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์แล้ว เมื่อจุลินทรีย์ผ่านเข้าไปในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและดูดซึมไปใช้ประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ได้



ภาพที่ 6.14 เส้นทางการเปลี่ยนแปลง (metabolic pathway) ของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ ที่เกิดจาก กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมน

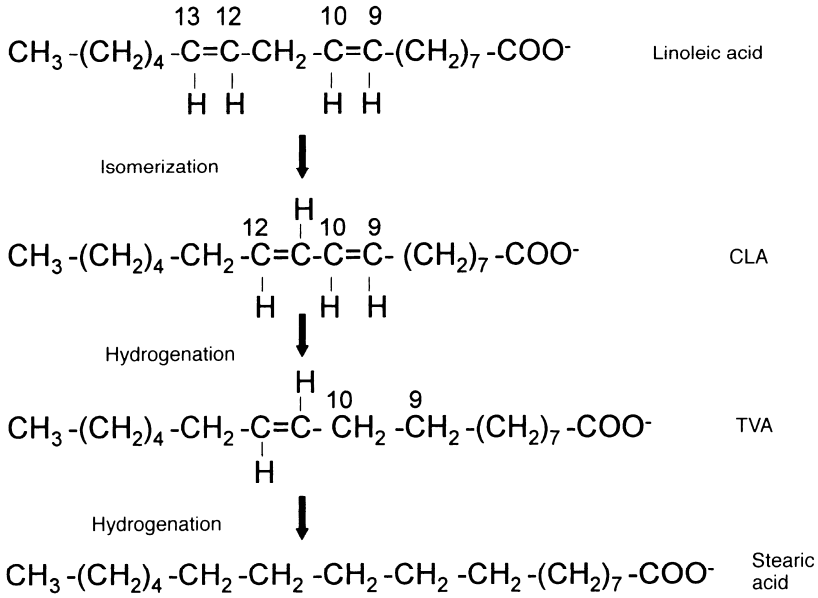
ที่มา : (Russell and Gahr, 2000, p. 135)



ภาพที่ 6.15 การย่อยสลายโปรตีนในสัตว์กระเพาะรวม
ที่มา : (Ensminger *et al.,* 1990 p 88)

2.2.3 การย่อยไขมันในกระเพาะ โดยปกติไขมันในอาหารสัตว์กระเพาะรวมมีในระดับที่ไม่สูงมาก คือมีประมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร และเมื่อไขมันในอาหารเหล่านี้ตกลงสู่กระเพาะหมักก็จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์มี microbial lipase สำหรับการกระตุ้นการย่อย ซึ่งผลที่ได้คือ glycerol และ free fatty acids โดย free fatty acids ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งการย่อยจนได้ glycerol และ free fatty acid นี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการกินอาหาร และก่อนที่กรดไขมันเหล่านี้จะส่งต่อไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไป กรดไขมันส่วนหนึ่งที่มีคาร์บอนจำนวน 12 ตัวจะถูกดูดซึมภายในกระเพาะรูเมน ส่วนกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 12 ตัวกระเพาะรูเมนไม่สามารถดูดซึมได้ ทำให้กรดไขมัน chain ยาว ๆ ผ่านเข้าไปในลำไส้เล็ก เพื่อให้ได้เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น stearic acid (ภาพที่ 6.16) ซึ่งกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่จะถูกทำปฏิกิริยา

biohydrogenation เหลือเพียงส่วนน้อยประมาณ 10-35 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยา ซึ่งในการนี้จำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์หลากหลายชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง จนได้เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่สามารถส่งต่อไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไปได้ ดังนั้นส่วนใหญ่แล้วกรดไขมันที่ผ่านกระเพาะรูเมนไปแล้วจะเป็นประเภทกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่

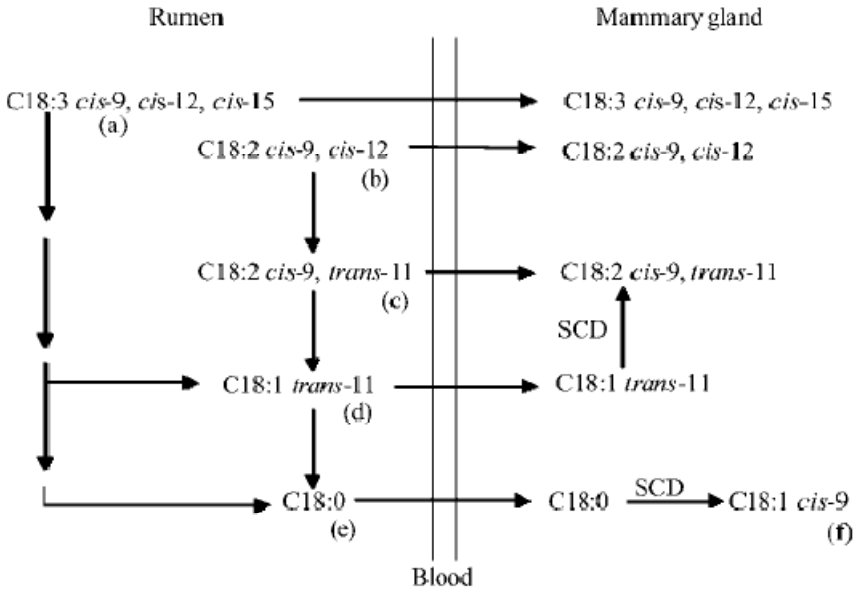


ภาพที่ 6.16 แสดงขั้นตอนการเกิด biohydrogenation ของกรดไขมัน linoleic acids จนเกิดเป็นกรดไขมันอิ่มตัว stearic acids ที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะรูเมน

ที่มา : (Drackley, 2000, p. 100)

นอกจากนี้สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์กรดลิโนลิอิกเชิงซ้อน (conjugated linoleic acid: CLA) ที่กระเพาะรูเมนและต่อมสร้างน้ำนมซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสามารถเป็นสารต่อต้านมะเร็ง (anti-carcinogen) หลายชนิดได้แก่ มะเร็งทรวงอก มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งผิวหนัง การสังเคราะห์ CLA นอกจากจุลินทรีย์ที่มีหลากหลายชนิดในรูเมนจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกรดไขมันแล้วยังสามารถสังเคราะห์กรดไขมันสายคี่และกรดไขมันสายแขนงซึ่งเป็นรูปแบบ *trans* ได้ โดยทำให้เกิดกระบวนการ hydrogenation ซึ่งกรดไขมันสายยาวได้แก่ C18:2 *cis9 tran12* จะถูก isomerized ได้ C18:2 *cis9 tran11* โดย *Butyrivibrio fibrisolvens* และมีการเปลี่ยนจาก C18:2 *cis9 tran12* ไปเป็น C18:2 *cis9 tran11* และยังใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต *trans*-vaccenic acid (C18:1 *cis9 tran11*; TVA) ให้เป็น CLA ได้โดยขบวนการ hydrogenation (Khanal and Olson, 2004, p. 83)

การสังเคราะห์ CLA เกิดขึ้นโดยกรดไขมันต่าง ๆ ที่ผ่านมายังลำไส้เล็กจะถูกดูดซึมบริเวณ Ilium เข้าสู่กระแสเลือดและผ่านท่อน้ำเหลืองเข้าสู่เซลล์เต้านมและ TVA บางส่วนถูกเปลี่ยนให้เป็น CLA โดยเอนไซม์ Δ9-desaturase ก่อนเข้าสู่เซลล์เต้านม (ภาพที่ 6.17) ส่วน TVA ที่เหลือเมื่อผ่านเข้าสู่เซลล์เต้านมจะถูกเปลี่ยนให้เป็น CLA โดยเอ็นไซม์ Δ9-desaturase อีกช่วงหนึ่ง แล้วปลดปล่อยลงสู่กระเปาะน้ำนม ซึ่ง CLA มีการสังเคราะห์ใน 2 อวัยวะเท่านั้นคือ ในกระเพาะรูเมน และเนื้อเยื่อของเซลล์เต้านม



ภาพที่ 6.17 เส้นทางการสังเคราะห์กรดไขมัน และ CLA

(a) linolenic acid, (b) linoleic acid, (c) rumenic acid, (d) *trans*-vaccenic acid, (e) stearic acid, (f) oleic acid; SCD, stearoyl-CoA (Δ9) desaturase.

ที่มา : (Griinari and Bauman, 1999, p. 186)

2.2 การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก

การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก ของสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์กระเพาะรวมมีความคล้ายคลึงกันมาก การย่อยอาหารในลำไส้เล็กเป็นการย่อยโดยวิธีกลจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของลำไส้เล็ก และการย่อยโดยวิธีเคมีที่เกิดจากเอนไซม์ที่ผลิตจากเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กและเอนไซม์จากตับอ่อน โภชนะที่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรท ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ น้ำย่อยที่สำคัญ ได้แก่ maltase ย่อยน้ำตาล maltose ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล น้ำย่อย lipase ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระและโมโนกลีเซอไรด์ น้ำย่อย trypsin ย่อยโปรตีนให้เป็นเปปโตน โปรตีโอส โพลีเปปไทด์ และกรดอะมิโน ในส่วนของลำไส้เล็กตอนต้นที่มีท่อเปิดของท่อน้ำดีซึ่งหลั่งน้ำดีเพื่อช่วยในการย่อยไขมัน

กรดไขมันจะถูกดูดซึมผ่าน mucoal cells ของลำไส้เล็กเข้าระบบ lymphatic system จะถูกดูดซึมที่ส่วนกลางและปลายของ jejunum ที่ pH 4.0 - 8.0 และมีบางส่วนถูกดูดซึมที่ส่วนต้นของลำไส้เล็กภายใน pH 2.5 - 4.0 กรดไขมันที่อิ่มตัว (saturated fatty acid) จะถูกดูดซึมช้ากว่ากรดไขมันที่มี chain สั่นกว่า แต่กรดไขมันทั้งหมดจะถูกดูดซึมเข้าร่างกาย ทำให้การย่อยได้ของไขมันที่แท้จริง (true digestibility) มีค่าเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ (เทอดชัย เวียรศิลป์, 2548, หน้า 185-186)

การใช้ประโยชน์จากวิตามิน และแร่ธาตุในสัตว์กระเพาะรวม เกิดขึ้นในบริเวณลำไส้เล็กเป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากทางเดินอาหารส่วนนี้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือมี pH ที่เป็นกลาง และมีสารคัดหลั่งที่เป็นน้ำดี ซึ่งช่วยในการดูดซึมวิตามินละลายในไขมันบางอย่าง รวมทั้งบริเวณนี้มีความสามารถ และพื้นที่ผิวสัมผัส (surface area) มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นจึงมีการใช้ประโยชน์จากวิตามินและแร่ธาตุกว่าบริเวณอื่น ๆ

2.3 การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ใหญ่

หน้าที่โดยตรงของลำไส้ใหญ่คือการขับถ่ายและการดูดซึมน้ำกลับเข้าสู่ร่างกาย ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์กระเพาะรวมและสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่สามารถกินได้ทั้งพืชและสัตว์ที่มีการพัฒนาของส่วนลำไส้ใหญ่ตอนต้นเป็นส่วนที่เกิดการหมักจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ส่วนใหญ่จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรท แต่ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าการย่อยในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์วิตามินบีรวม และวิตามินเคจากจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน

บทสรุป

ระบบทางเดินอาหารของสัตว์เริ่มตั้งแต่ ปาก หลอดอาหาร กระเพาะ ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และทวารหนัก โดยในระบบทางเดินอาหารจะจำแนกออกเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว ได้แก่ สุกรและสุนัข สัตว์ปีกจัดเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยวเช่นกันแต่มีหลอดอาหารที่มีการพัฒนาโดยการพองตัวออกเป็นส่วนของกระเพาะพักทำหน้าที่ในการหลั่งน้ำย่อยเพื่อกระตุ้นการย่อยอาหารและน้ำย่อย กระเพาะแท้จะมีอยู่ 2 ส่วนคือกระเพาะแท้ทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์ และกระเพาะบดมีผนังหนาและมีกล้ามเนื้อแข็งแรงทำหน้าที่บดอาหาร แทนการเคี้ยวด้วยฟันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อีกประเภทหนึ่งคือสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่มีไส้ติ่งทำหน้าที่ช่วยย่อยอาหาร ได้แก่ ม้า และกระต่าย ประเภทสุดท้ายคือสัตว์กระเพาะรวม ได้แก่ โค กระบือ แพะ และ แกะ จะมีกระเพาะอาหาร 4 ส่วน คือ กระเพาะผ้าขี้ริ้ว กระเพาะรังผึ้ง กระเพาะสามสิบกลีบ และกระเพาะแท้ ส่วนของลำไส้เล็กจะมีความสำคัญในการย่อยและดูดซึมสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยอาศัยการกระตุ้นของเอนไซม์ทั้งที่มาจากเซลล์เยื่อบุผนังของลำไส้เล็ก ตับอ่อน และน้ำดีที่ผลิตจากตับ ส่วนลำไส้ใหญ่ทำหน้าที่เพียงการดูดซึมน้ำกลับ และการขับน้ำเมือกเพื่อให้กากอาหารเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่างสะดวก

คำถามท้ายบท

1. ระบบย่อยอาหารของสัตว์เลี้ยงจำแนกได้กี่ประเภทอะไรบ้าง
2. กระเพาะพักของสัตว์ปีกพัฒนามาจากส่วนใดอธิบายมาพอเข้าใจ
3. จงอธิบายทางเดินอาหารของสัตว์ปีกมาให้เข้าใจ
4. จงอธิบายทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวมาให้เข้าใจ
5. จงอธิบายทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะรวมมาให้เข้าใจ
6. จงอธิบายการทำงานของกระเพาะอาหารของสัตว์กระเพาะรวม
7. จงอธิบายการย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์กระเพาะรวมมาพอเข้าใจ
8. จงอธิบายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนมาพอเข้าใจ
9. จงอธิบายการย่อยไขมันในสัตว์กระเพาะรวมมาพอเข้าใจ
10. จงอธิบายการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็กมาพอเข้าใจ