

## บทที่ 12

# โภชนาการและการย่อยอาหาร

## เค้าโครงเรื่อง

### 12.1 โภชนาการ

- 12.1.1 แหล่งพลังงาน
- 12.1.2 กรดอะมิโนที่ใช้สร้างโปรตีน
- 12.1.3 ลิพิด
- 12.1.4 เกลือแร่
- 12.1.5 วิตามิน

### 12.2 การย่อยอาหาร

- 12.2.1 ความหลากหลายของระบบย่อยอาหาร
- 12.2.2 อวัยวะและการย่อยอาหารที่สำคัญ

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะดำรงชีพแบบสร้างอาหารได้เองหรือสร้างอาหารไม่ได้ต้องกินเข้าไป จำเป็นต้องการอาหารเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมและกระบวนการอื่น คำว่าอาหาร (food) หมายถึง สิ่งที่กินเข้าไปและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คำว่าโภชนาการ (nutrition) หมายถึงอาหารที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการสร้างพลังงานและกระบวนการสังเคราะห์อื่น ๆ ดังนั้น โภชนาการจึงหมายถึงอาหาร 5 หมู่ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน (ลิพิด) เกลือแร่ และวิตามิน ที่ทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญได้

### 12.1 โภชนาการ

สารที่เป็นโภชนาการสำหรับสัตว์หรือพวกเอเทโรโทรฟอื่นคืออาหารที่มีสารอาหารและสารประกอบอื่นที่จำเป็น สำหรับพืชและออโตโทรฟอื่น สารที่เป็นโภชนาการต่างจากสัตว์คือเป็นวัตถุดิบที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้อยู่ในดิน ในน้ำหรือบางอย่างอยู่ในอากาศ สารเหล่านี้เป็นสารประกอบของธาตุ 16 ชนิดซึ่งจำเป็นต่อการเจริญ แบ่งเป็น 2

กลุ่ม คือ ธาตุที่พืชต้องการมาก คือ **macronutrient** ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม และแมกนีเซียม อีกกลุ่มหนึ่งคือ ธาตุที่พืชต้องการน้อย แต่จำเป็นต่อการเจริญตามปกติเรียกว่า **micronutrient** ได้แก่ เหล็ก บอรอน แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีนัม คลอรีน และสังกะสี

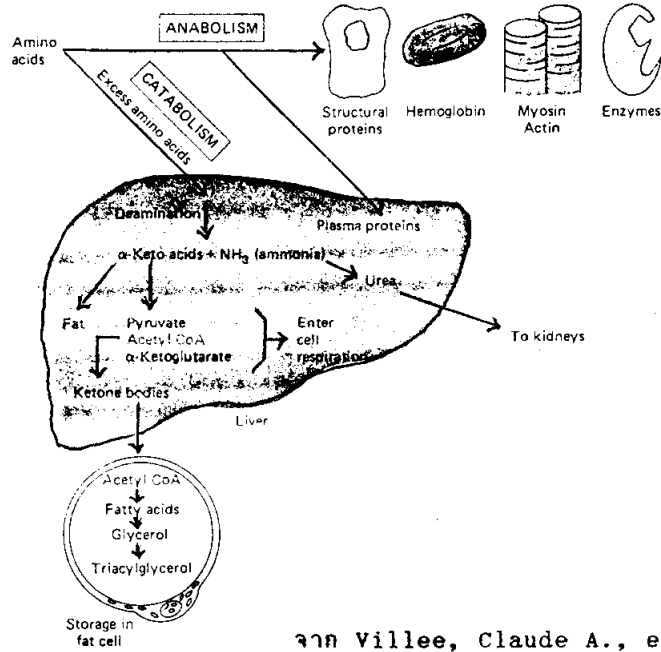
12.1.1 แหล่งพลังงาน สัตว์ได้พลังงานมาจากพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในอาหารประเภทต่าง ๆ พืชได้พลังงานมาจากพลังงานแสงแล้วเปลี่ยนมาเป็นพลังงานเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยรวมกับวัตถุดิบต่าง ๆ จาก 6 ธาตุ หลักของกลุ่มธาตุที่พืชต้องการมาก นำมาสร้างเป็นอาหารประเภทต่าง ๆ เพื่อไว้ใช้เองหรือสะสมไว้เพื่อการถ่ายทอดพลังงานไปยังสัตว์ที่มากินพืช ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 15 แหล่งพลังงานของสัตว์ได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด ได้กล่าวไว้อย่างละเอียดแล้วในบทที่ 2 (ข้อ 2.3) แหล่งพลังงานของพืชคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ และธาตุที่จำเป็นสำหรับประกอบเป็นสารอาหารประเภทต่าง ๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ (ดูรายละเอียดส่วนประกอบทางเคมีของธาตุเหล่านี้ในข้อ 2.3) ธาตุทั้ง 6 เมื่ออยู่ในรูปของ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  พืชจึงจะสามารถนำมาประกอบเป็นสารอาหารประเภทต่าง ๆ ได้โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด (ดูข้อ 6.1)

12.1.2 กรดอะมิโนที่ใช้สร้างโปรตีน โปรตีนนอกจากเป็นแหล่งสะสมพลังงานอย่างหนึ่งแล้วยังมีความจำเป็นสำหรับเสริมสร้างส่วนสักรของร่างกาย ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ในกระบวนการชีวเคมีของเซลล์ เป็นสารภูมิคุ้มกัน (แอนติบอดี) ฮอร์โมน และอื่น ๆ สิ่งมีชีวิตจึงขาดโปรตีนไม่ได้ การได้มาซึ่งกรดอะมิโนของสัตว์และพืชต่างกัน

(1) สัตว์ได้กรดอะมิโนจากการกินอาหารที่มีโปรตีนทั้งจากที่มีอยู่ในพืช (ส่วนใหญ่อยู่ในเมล็ด) และในเนื้อสัตว์ โปรตีนถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้ได้กรดอะมิโนแล้วถูกดูดกลืนโดยเยื่อผิวผนังลำไส้เข้าสู่ระบบน้ำเหลืองและกระแสโลหิตไปสู่เซลล์ กรดอะมิโนที่มากเกินไปจะถูกใช้สร้าง ATP ได้ด้วยกระบวนการแคแทบอลิซึมเข้าวัฏจักรของเครบส์ บางส่วนจะมีเอนไซม์มาเปลี่ยนให้เป็นลิพิดเก็บสะสมไว้ในเซลล์มัน กรดอะมิโนสามารถนำมาสร้างโปรตีนโดยใช้พลังงานจาก ATP ในกระบวนการแอนาบอลิซึม (ดูข้อ 9.4.4) เมื่อได้โปรตีนที่เป็นเอนไซม์แล้ว

จึงใช้ เอนไซม์สังเคราะห์โปรตีนชนิดอื่น เช่น ฮีโมโกลบิน แอกทิน ไมโอซิน ฮอริโมน ฯลฯ  
(รูป 12-1)

รูป 12-1 แผนภาพกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนเพื่อใช้สร้างพลังงานโดยกระบวนการแคแทบอลิซึมในเซลล์ตับและเพื่อสร้างพลาสมาโปรตีนและโปรตีนชนิดอื่น โดยกระบวนการแอนาบอลิซึม ให้สังเกตว่าโปรตีนสามารถเปลี่ยนเป็นลิพิด (triglyceride) ได้



(2) พืชได้กรดอะมิโนจากการนำวัตถุดิบคือ NH<sub>3</sub> มาเติมเข้าไปใน PGAL โดยมี เอนไซม์ช่วย การได้กรดอะมิโนในพืชจึงได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงส่วนหนึ่ง เมื่อได้พลังงานและสารต้น (PGAL) จึงนำมาทำปฏิกิริยากับ NH<sub>3</sub> ซึ่งพืชดูดเข้าไปผ่านทางรากหรือทางใบ แล้วสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนด้วยเอนไซม์ ต่อไปจึงนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนด้วยการสังเคราะห์โปรตีน พืชมีความจำเป็นใช้โปรตีนน้อยกว่าสัตว์เนื่องจากใช้โปรตีนในรูปของเอนไซม์ เป็นส่วนประกอบของโครโมโซม ไมโครทิวบูล เช่นเดียวกับสัตว์ แต่พืชไม่มีโปรตีนกล้ามเนื้อแบบของสัตว์ ดังนั้นโปรตีนในพืชส่วนใหญ่จึงอยู่ในเมล็ดเพื่อใช้เป็นอาหารสะสมทั้งในด้านการให้พลังงานและเอนไซม์เสริมการงอกของเอ็มบริโอเป็นต้นอ่อน

12.1.3 **ลิมิต** ไขมันถือเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง มีความจำเป็นสำหรับสัตว์และพืช ดังได้กล่าวแล้วในข้อ 2.3.2 และ 6.2.8

สัตว์ได้ไขมันโดยการกินสารประกอบลิมิตเข้าไป เมื่อย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้ได้ กลีเซอรอลและกรดไขมันแล้วจะถูกดูดกลืนผ่านเยื่ออุ้งผนังลำไส้ เข้าสู่กระแสโลหิตแล้วไปสู่เซลล์ได้ เช่นเดียวกับกับสารอาหารประเภทอื่น บางส่วนถูกนำไปใช้สร้างพลังงานด้วยกระบวนการแคแทบอลิซึม บางส่วนมีเอนไซม์มาช่วยรวมกลีเซอรอลและกรดไขมันให้กลับเป็นลิมิตใหม่ สะสมไว้ในเซลล์ไขมัน ซึ่งเดิมเคยเป็นพาเรงคิมาเซลล์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โปร่งบาง แทรกอยู่ระหว่างชั้นหนังและกล้ามเนื้อ หรือหุ้มอวัยวะภายใน ลิมิตนอกจากได้จากไขมันโดยตรงแล้วยังได้มาจากโปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรต ผ่านอะเซทิลโคเอนไซม์เอโดยมีเอนไซม์หลายชนิดเป็นตัวช่วย

พืชสามารถสังเคราะห์ไขมันได้เช่นเดียวกับสัตว์ แต่แหล่งที่มาของสารตั้งต้น (PGAL) ต่างกัน เพราะของพืชได้ PGAL มาจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจึงมีเอนไซม์หลายชนิดมาเปลี่ยนให้เป็นกลีเซอรอล กรดไขมัน แล้วรวมกันเป็นลิมิตในที่สุด เมล็ดเป็นแหล่งสะสมไขมันของพืชด้วยเหตุผลเดียวกันกับการสะสมโปรตีน

12.1.4 **เกลือแร่** มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพและการเจริญของทั้งสัตว์และพืช ในแง่ของการเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ วิตามิน อิเล็กโทรไลต์ ตลอดจนควบคุมการขนส่งสารภายใน ปริมาณความต้องการเกลือแร่ของสัตว์ต่างจากพืช

(1) **เกลือแร่ในสัตว์** ถ้าแยกประเภทสารอาหารในสัตว์ในทำนองเดียวกับของพืชคือ ที่มีความต้องการมากและที่มีความต้องการน้อย macronutrient ของสัตว์คือ คาร์โบไฮเดรต ลิมิต และโปรตีน micronutrient คือสารอินทรีย์พวกวิตามิน และสารอินทรีย์พวกเกลือแร่ เกลือแร่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ (ก) สัตว์ต้องการในปริมาณมากได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม คลอรีน และซัลเฟอร์ ธาตุเหล่านี้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งแบบกัมมันต์และอื่น ๆ (ตาราง 12-1) อีกกลุ่มหนึ่งคือ (ข) trace element เป็นธาตุที่สัตว์ต้องการน้อย แต่จำเป็นต่อกลไกการทำงานของเอนไซม์ อาหารที่มีเกลือแร่สูงคือ เนื้อสัตว์ นม เนย เมล็ดพืช และผักขมฝรั่ง

ตาราง 12-1 หน้าที่ทางสรีรวิทยาของเกลือแร่ที่เข้ามาในสัตว์

ชนิดของเกลือแร่	หน้าที่
โซเดียม	ประจุบวกนอกเซลล์ ชนส่งแบบกัมมันต์ ควบคุมแรงดันออสโมซิสและ ความสมดุลของกรด-เบส กลไกการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ
โพแทสเซียม	ประจุบวกภายในเซลล์ ควบคุมสมดุลของกรด-เบส กลไกการทำงานของ ประสาทและกล้ามเนื้อ
แคลเซียม	ส่วนประกอบของกระดูก ฟัน สภาวะให้ซึมได้ของเยื่อหุ้มเซลล์ การจับก้อน ของเลือด กลไกการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ
ฟอสฟอรัส	ส่วนประกอบของกระดูกและการสร้างกระดูก ส่วนประกอบของ DNA RNA ATP และสารอื่น กระบวนการเมแทบอลิซึม
แมกนีเซียม	กระดูกและฟัน กระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและ โปรตีน
คลอรีน	ประจุลบนอกเซลล์ ควบคุมแรงดันออสโมซิส และสมดุลของกรด-เบส ลด pH ให้เหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร
ซัลเฟอร์	ส่วนประกอบโครงสร้างของโปรตีน ปฏิกิริยาทำลายพิษของเซลล์ตับ

ตาราง 12-2 หน้าที่ทางสรีรวิทยาของ trace element

ชนิดของเกลือแร่	หน้าที่
เหล็ก	เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินและไซโทโครม
ทองแดง	ช่วยการสร้างฮีโมโกลบิน กระดูก และเป็นส่วนของไซโทโครม
ไอโอดีน	ส่วนประกอบของไทรอยด์ฮอว์โมน
แมงกานีส	จำเป็นสำหรับการสร้างยูเรีย กระบวนการเมแทบอลิซึมของ โปรตีน ไกลโคไลซิส และวัฏจักรของกรดไซตริก

โคบอลท์	เป็นส่วนประกอบของวิตามินบี 12 การสร้างเม็ดเลือดแดง
สังกะสี	ส่วนประกอบที่จำเป็นของ เอนไซม์หลายชนิด จำเป็นสำหรับกลไกการ ดมกลิ่นและลิ้มรส
โมลิบดีนัม	ส่วนประกอบของ เอนไซม์บางชนิด
ฟลูออรีน	ป้องกันฟันผุ
เซเลเนียม	จำเป็นสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม
โครเมียม	จำเป็นสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของกลูโคส

(2) **เกลือแร่ในพืช** ชนิดของเกลือแร่ในพืชที่แบ่งเป็นกลุ่ม macronutrient และ micronutrient ต่างจากของสัตว์ แต่ธาตุที่ประกอบกันเป็นสารอาหารเพื่อใช้สร้างพลังงานได้จะเหมือนกัน ต่างกันเพียง โขเดียวกับพืชไม่ต้องการ และคลอรีนที่พืชต้องการน้อย (ดู 12.ก และ 12.1.1 ประกอบ)

12.1.5 **วิตามิน** ความต้องการวิตามินของสัตว์แต่ละชนิดต่างกัน เช่น มนุษย์ต้องกินวิตามินซี (ascorbic acid) เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นได้เองด้วยกระบวนการทางชีวเคมี แต่สัตว์หลายชนิดไม่จำเป็นต้องกินเพราะสร้างได้เอง วิตามินสำหรับมนุษย์แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ (1) พวกที่ละลายน้ำได้ (ตาราง 12-3) ในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมและถูกขับออกได้ง่ายโดยเซลล์ตับ (2) พวกที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในไขมัน (ตาราง 12-4) ส่วนใหญ่ยังไม่ทราบกลไกการทำงานที่แท้จริง วิตามินพวกนี้เก็บไว้ในร่างกายได้นานเนื่องจากไม่ละลายน้ำ ต้องมีเอนไซม์มาเปลี่ยนจึงจะถูกขับออกมาโดยการทำงานของเซลล์ตับ วิตามินในกลุ่มนี้บางชนิดถ้าสะสมมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคได้ โดยเฉพาะบุคคลที่กินอาหารมีวิตามินในกลุ่มนี้สูงซึ่งอยู่ในอาหารพวก ผัก ผลไม้สด เม็ดข้าวหรือพืชพวกข้าว นม ตับ น้ำมันตับปลา ดังนั้นการเลือกกินอาหารจึงไม่ควรกินอาหารประเภทใดประเภทหนึ่งต่อเนื่องทุกมื้อหรือทุกวัน ควรเลือกกินอาหารที่มีส่วนประกอบของอาหารครบ 5 หมู่หมุน

เว็ยนโดยไม่ซ้าชนิดของอาหารจึงจะไม่เกิดปัญหาทางด้านโภชนาการ  
 ตาราง 12-3 หน้าทีและอาการขาดวิตามินทีละลายน้ำได้

วิตามิน	หน้าที่ในกระบวนการเมแทบอลิซึม	อาการขาดวิตามิน
ไทอามิน (thiamine or B1)	โคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ของคาร์โบไฮเดรต	เบื่ออาหารอ่อนเพลีย อาการเหน็บชา (beriberi)
ไรโบเฟลวิน (riboflavin or B2)	เป็นส่วนประกอบของ FAD ซึ่งเป็น โคเอนไซม์ในการหายใจระดับเซลล์ และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน	อักเสบ ผิวหนังแห้ง อาการปากนกกระจอก (cheilosis)
ไนอาซิน (niacin)	เป็นส่วนประกอบของ NAD และ NADP ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ในการ หายใจระดับเซลล์	อ่อนเพลีย อาการ เพลลากรา (pellagra)
ไพริดอกซีน (pyridoxine or B6)	โคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ของกรดอะมิโน	อาการโลหิตจางและ อาการทางประสาท
กรดแพนโทเทนิค (pantothenic acid)	เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์ใน กระบวนการเมแทบอลิซึมของ คาร์โบไฮเดรต	อาการเช่นเดียวกับ กลุ่มของวิตามินบีอื่น
ไบโอทีน (biotin)	โคเอนไซม์สำหรับเติมหมู่ คาร์บอกซิล	ไม่มีปัญหาเนื่องจากมี ความต้องการน้อยมาก
กรดโฟลิก (folic acid)	โคเอนไซม์สำหรับการสร้าง พอลินิวคลีโอไทด์และฮีโมโกลบิน	อาการโลหิตจาง
โคบาลามิน (cobalamin or B12)	โคเอนไซม์สำหรับการสร้าง โปรตีนและกรดนิวคลีอิก	เพอร์นิเชียสแอนิเมีย (โลหิตจางชนิดหนึ่ง)

วิตามิน	หน้าที่ในกระบวนการเมแทบอลิซึม	อาการขาดวิตามิน
กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid or vitamin C)	ช่วยขนส่งเซลล์ของกระดูก กระดูกอ่อนและผิวหนัง	อาการโลหิตจาง เลือดหยุดไหลช้าเมื่อ เกิดบาดแผล เลือดออก ตามไรฟัน (scurvy)

ตาราง 12-4 หน้าที่และอาการขาดวิตามินที่ละลายในไขมัน

วิตามิน	หน้าที่ทางสรีรวิทยา	อาการขาดวิตามิน
วิตามินเอ (retinol)	เป็นส่วนของสารสีในจอตา	ไม่สามารถเห็นใน ที่แสงน้อย เยื่อเมือก แห้ง
วิตามินดี (calciferol)	การดูดกลืน Ca และ P เพื่อสร้าง กระดูก	แขนขาโก่งในเด็ก (ricket)
วิตามินอี (tocopherol)	ป้องกันเม็ดเลือดแดง วิตามินเอและ วิตามินอื่นไม่ให้เกิดออกซิเดชัน	เม็ดเลือดแดงแตก โลหิตจาง
วิตามินเค (menadione or phylloquinone)	จำเป็นสำหรับการสร้างโปรทรอมบิน ซึ่งใช้ในการจับก้อนของเลือด	อาการเลือดออกใน เด็ก



## 12.2 การย่อยอาหาร

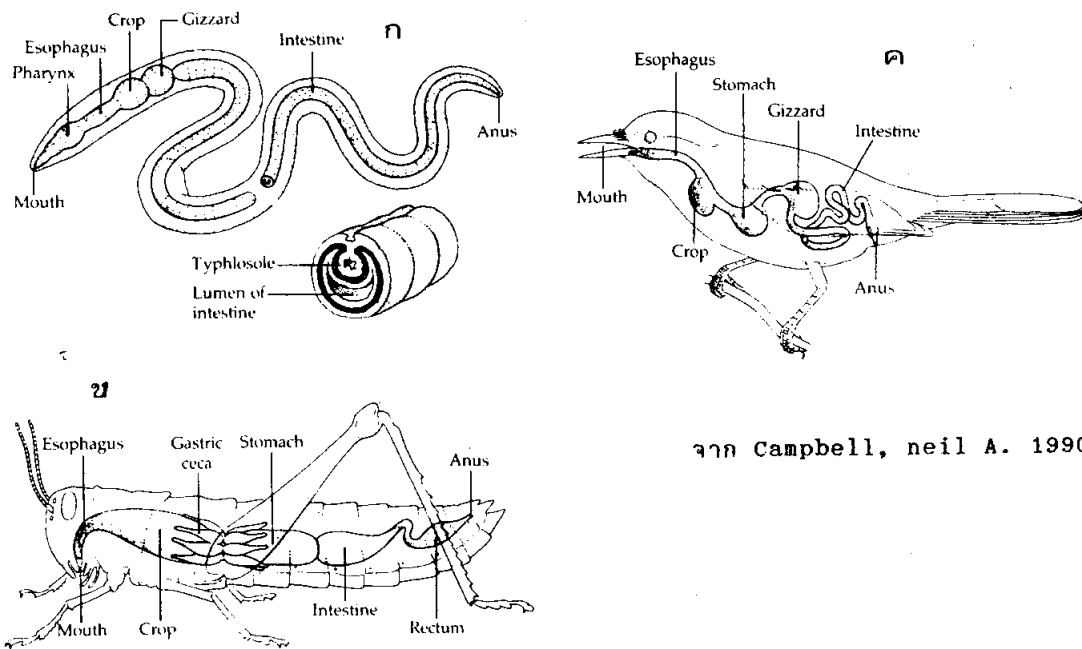
สัตว์และสิ่งมีชีวิตพวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ เมื่อกินอาหารซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่เข้าไปแล้ว ต้องนำไปทำการย่อยให้เป็นสารโมเลกุลเล็กด้วยเอนไซม์เสียก่อน ร่างกายจึงจะนำสารโมเลกุลเล็กมาเลี้ยงส่งไปยังเซลล์เพื่อใช้สำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อสร้างพลังงาน หรือเพื่อการเจริญต่อไป สัตว์ที่มีวิวัฒนาการสูงมากขึ้นก็มีระบบทางเดินอาหารที่วิวัฒนาการขึ้น เพื่อให้มีการย่อยอาหารได้ประสิทธิภาพสูงสุด

12.2.1 ความหลากหลายของระบบย่อยอาหาร การย่อยอาหารอย่างง่ายที่สุดเกิดขึ้นในแวกคิวโอลอาหาร (food vacuole) โดยการเคลื่อนของไลโซโซมมาชิดแล้วปล่อยเอนไซม์เข้าไปย่อย พบในโปรโตซัวที่กินอาหารแบบโอบล้อมอาหารเข้าสู่เซลล์ (แบบฟาโกไซโทซิสหรือไฟโนไซโทซิส) เป็นลักษณะการย่อยอาหารภายในเซลล์ (intracellular digestion)

เมื่อสัตว์มีวิวัฒนาการมาเป็นสัตว์หลายเซลล์ระบบย่อยอาหารก็วิวัฒนาการมาเป็นการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ (extracellular digestion) ในช่องอาหารเรียก **gastrovascular cavity** ซึ่งพบในสัตว์ส่วนใหญ่ตั้งแต่ไฟลัมไนดาเรีย (พวกแมงกระพรุน) ขึ้นมา สัตว์พวกนี้ส่วนใหญ่อาหารถูกพัดเข้าปากปนเข้ามาพร้อมกับน้ำ เมื่อถูกย่อยแล้ว จะถูกดูดกลับเข้าสู่เซลล์ผนังช่องอาหาร บางส่วนของอาหารจะถูกย่อยภายในเซลล์ หลังจากนั้นอาหารจะถูกส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยการซึมผ่านชั้น **เมโซเกลีย (mesoglea)** อาหารที่ไม่ถูกย่อยจะถูกปล่อยพ่นออกมาพร้อมกับน้ำผ่านทางช่องปาก ในสัตว์พวกที่ดำรงชีพแบบปรสิตร เช่น หนอนตัวแบนกินอาหารย่อยแล้วโดยดูดจากผนังระบบทางเดินอาหารของโฮสต์ ดังนั้นสัตว์ที่เป็นปรสิตรจึงมีปากดูดและระบบทางเดินอาหารที่ไม่สมบูรณ์คือ ไม่มีช่องทวารหนัก

สัตว์ที่เริ่มมีระบบทางเดินอาหารสมบูรณ์คือ มีปาก ส่วนย่อยอาหาร และทวารหนักเริ่มตั้งแต่ไฟลัมเนมาโทดา ซึ่งเป็นพวกปรสิตรขึ้นมาจนถึงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อวัยวะของระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งอวัยวะเสริมเพื่อการย่อยอาหารมีวิวัฒนาการตามวิวัฒนาการการกินอาหารของสัตว์ที่มีการกินอาหารหยานและมากประเภทอาหารยิ่งขึ้น (รูป 12-2)

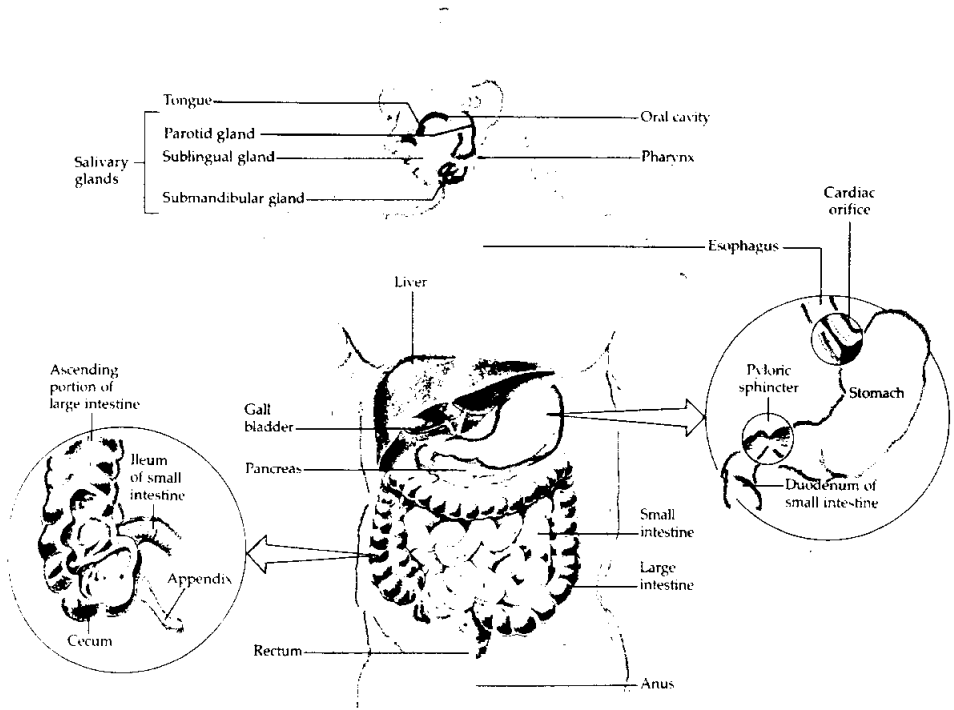
รูป 12-2 เปรียบเทียบระบบทางเดินอาหารที่แท้จริงของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและ  
 สัตว์มีกระดูกสันหลัง ก. ไส้เดือนดิน ข. ตี๊กแตน ค. นก



จาก Campbell, neil A. 1990

12.2.2 อวัยวะและการย่อยอาหารที่สำคัญ ระบบทางเดินอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีส่วนประกอบหลักคือ ปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ไส้ตรง และทวารหนัก (รูป 12-3) อาหารเข้าทางปาก มีเอนไซม์ในปาก (จากต่อมน้ำลาย) มาคลุกเคล้าอาหารแต่มักไม่มีการย่อยที่แท้จริง แล้วถูกกลืนผ่านหลอดอาหารมาพักไว้ที่กระเพาะอาหาร ซึ่งจะมีการผลิตเอนไซม์มาคลุกเคล้าอาหารอีก ด้วยระบบการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของผนังอวัยวะระบบทางเดินอาหาร เรียกว่า **peristalsis** อาหารจะถูกดันต่อไปยังลำไส้เล็กซึ่งเป็นส่วนที่ยาวที่สุด และมีการย่อยอาหารทุกประเภทโดยมีเอนไซม์จากลำไส้เล็กจากตับและตับอ่อนมาเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็ก เมื่ออาหารถูกย่อยแล้วจะถูกดูดกลืนผ่านเข้าเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ส่งต่อไปยังระบบเลือด น้ำเหลือง ไปสู่เซลล์ หากอาหารจะถูกขับออกทางทวารหนัก เอนไซม์ที่ใช้เพื่อการย่อยอาหารประเภทต่าง ๆ ดูจากตาราง 12-5

รูป 12-3 แผนภาพแสดงระบบย่อยอาหารของมนุษย์ อาหารจากปากถึงทวารหนักใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง ส่วนที่มีการย่อยอาหารมากที่สุดคือลำไส้เล็กใช้เวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง



จาก Campbell, Neil A. 1990

ตาราง 12-5 แหล่งที่มาของเอนไซม์ที่สำคัญเพื่อการย่อยอาหารประเภทต่าง ๆ

แหล่งผลิต	เอนไซม์ย่อย	เอนไซม์ย่อย	เอนไซม์ย่อย
เอนไซม์	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ลิพิด
ต่อมน้ำลาย	เอนไซม์เอมิเลส		
เข้าสู่ช่องปาก	แป้ง → มัลโทส		
ต่อมของกระเพาะ		เอนไซม์เพปซิน	
อาหารเข้าสู่กระเพาะ		โปรตีน → พอลิเพปไทด์	
อาหาร		HCl โมเลกุลเล็ก	
BI 115 (H)			

แหล่งผลิต  
เอ็นไซม์

เอ็นไซม์ย่อย  
คาร์โบไฮเดรต

เอ็นไซม์ย่อย  
โปรตีน

เอ็นไซม์ย่อย  
ลิพิด

