

教育部委辦高級中學數學及自然科學 課程改進計畫

各科試用教材摘介 (七)

本中心

本中心接受教育部委辦國中、高中、技職學校數學及自然科學課程改進計畫，邀請國內各大學教授一百二十多位、中學教師四十多位，在教育部科學教育指導委員會主任委員吳太猷先生及各位指導委員、暨諮詢委員指導下，進行編寫各有關課程之教科書、教學指引、實驗手冊、實驗活動本等試用教材。

數年來，各分項計畫分別依原定時間編寫完成有關教材，並順利地在教育部及廳局指定之學校進行試教。茲以本中心編印之試用教材，將提供教育部做為將來修訂各有關學校科學課程之參考，而科學教育事關國家大計與萬千學子之修習發展，為求集思廣益，乃請各計畫編輯小組，就所編各科試用教材教科書中各擷取一章，藉本中心發行之科學教育月刊逐期分科摘介，提請教育界先進及同仁就其內容及編寫方式惠予指教，以做為修訂之參考。

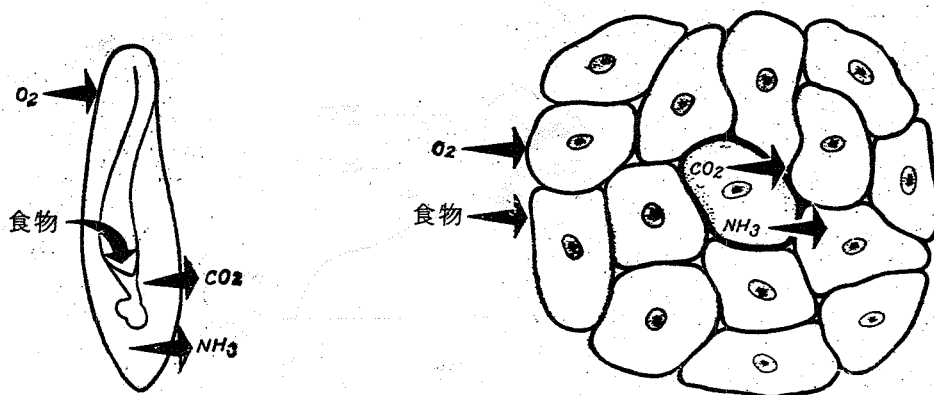
本期刊登之內容，係高二生物中之一章。

高二 生物

第十二章

多細胞動物的消化作用

動物的個體，由單細胞演化為多細胞後，就不能再以草履蟲那樣簡單的方式來生活。因為一般多細胞的動物，僅有一小部分的細胞位於體表，可與環境相接觸，而大部分細胞則位於體內深層，不能直接從外界攝取食物和氧氣，如欲依賴擴散作用將小分子的養分和氧氣經由體表慢慢傳入，也必將因緩不濟急而致死（圖 12-1）。在演化過程中，多細胞動物體內已產生各種不同的組織、器官和系統，各司一種特殊的生理作用，諸如消化、呼吸、排泄、生殖、感覺和運動等，並須在分工合作與精密協調之下，來共營個體內部複雜而和諧的生理活動。



- a. 單細胞動物直接與外界交換物質
- b. 在多細胞生物體內，有些細胞不能直接與外界交換物質，必須仰賴其他方法，自體外吸收氧及食物，並排出細胞內所產生的廢物。

圖 12-1 單細胞與多細胞動物生活方式的比較

第一節 人體的消化系統

人體的消化系統，與一般脊椎動物相似，係由消化管和消化腺兩大部分組成。

消化管 這是一條始於口而終於肛門的管道，其間由於構造及作用的不同，又可分為口腔、咽喉、食道、胃、小腸和大腸等部。消化管的管壁含有平滑肌，藉各部分肌肉的收縮與舒張產生種種運動，遂使消化管具有容納、磨碎、攪拌及輸送食物的機能，這些都是有助於食物消化的物理作用。

口腔內有牙齒，可分門齒、犬齒、小白齒及大白齒四種類型（圖 12-2）。前兩者適用於咬斷及撕裂食物，白齒則適於研磨食物。一般而言，犬齒在肉食類動物最發達，在草食類則已退化或缺如；至於雜食類，此四型牙齒則呈均衡發展之勢。

口腔底部有舌，其表面有味蕾（詳見第 18 章第 2 節），專司味覺。舌內含有方向交錯的骨骼肌，故可靈活運動，藉以攪拌食物。

食道緊接於口腔後面的咽喉，由此向下經過胸腔、再穿越橫膈而連接於胃（圖 12-3）。

胃是消化管特別膨大的部分，位於腹腔左上方，緊挨在橫膈下面。胃壁的平滑肌也比其他部分發達，這使胃的收縮活動更顯得強而有力。胃上端與食道相接的部分，稱為**賁門**；胃下端與小腸相接的

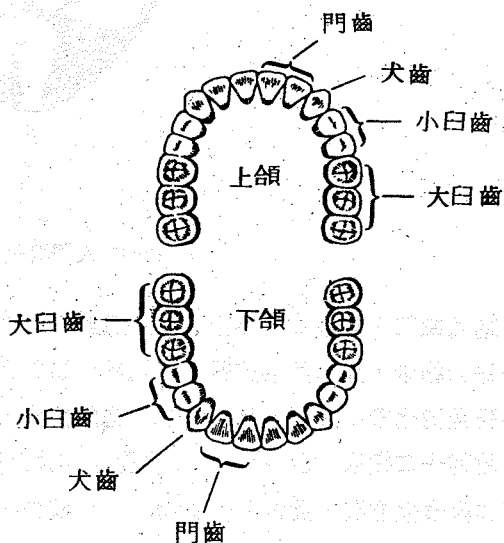


圖 12-2 成人牙齒的排列型式

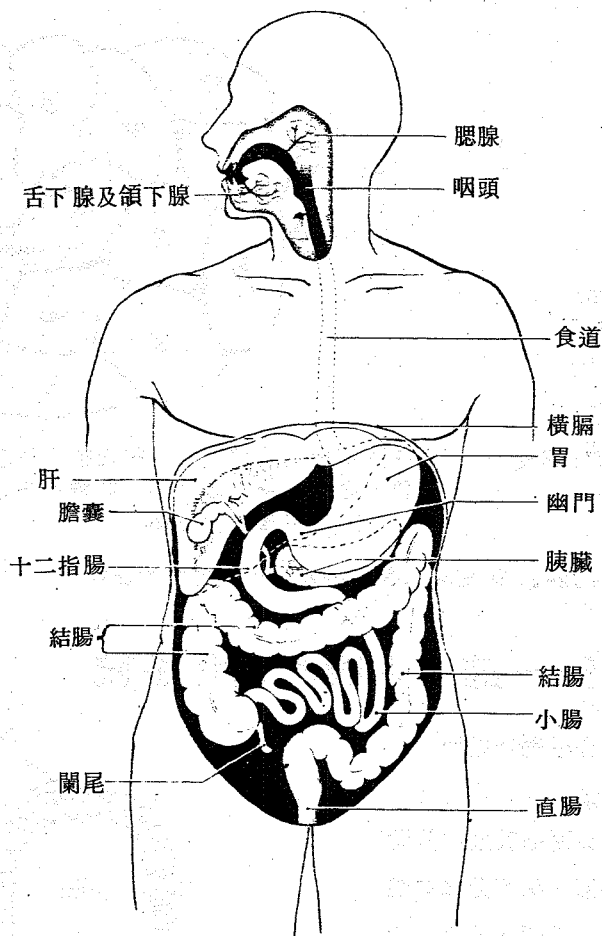


圖 12-3 人體消化系統模式圖

部分，稱為**幽門**，均各有一圈由環狀肌纖維形成的**括約肌**。這種括約肌平時均呈緊縮狀態，作為控制食物通過的關卡，類似的括約肌，尚見於小腸與大腸相接之處，以及直腸末端的肛門部分。

小腸是消化管中最長，且有很多迂迴的部分，其起始部呈 C 字形彎曲，約相當於十二手指並列的長度，故稱**十二指腸**（圖 12-3），是膽汁和胰液注入之處，並能分泌數種與消化有關的激素。小腸的長度亦與食性有關，通常草食動物的小腸較長，肉食類的較短，雜食類居中。例如在蛙的發育過程中，其幼體（蝌蚪）為草食性，小腸頗長，成體（蛙）為肉食性，小腸較短。

大腸雖較小腸粗大，但其長度却遠不及小腸，可分盲腸、結腸與直腸三部。在大腸與小腸相接處，有一向下突出的盲囊，稱為**盲腸**，其盲端又有一指狀的突起，是為**闌尾**。盲腸和闌尾在人體都是退化的器官，但在若干種草食動物如兔，却很發達，內含大量細菌，可分泌消化纖維素的酵素。自盲腸上端延伸到右上腹部，再橫行向左，由左上腹部下降的這一段大腸，有如倒 U 字形懸掛於腹腔（圖 12-3），其外壁有許多小囊狀的突起，像是打結的樣子，故稱**結腸**。結腸的末端（位於腹腔左下側）作一 S 狀彎曲後，就銜接於直腸，通至肛門（圖 12-3）。

消化腺 消化腺包括唾腺、胰臟、肝臟、胃腺和腸腺，均可分泌消化液，即唾液、胰液、膽汁

、胃液和腸液，除膽汁外，其餘的消化液都含有促使食物分解的酵素。

唾腺有三對，位於兩耳之前者為腮腺、下頷兩側者為頷下腺、在口腔底部者為舌下腺（圖 12-3），均各有導管將所分泌的唾液輸入口腔。唾液是一種接近中性的液體，含有適於分解澱粉和肝糖的酵素，簡稱澱粉酶。

胃腺隱藏在胃壁黏膜中，內含兩種特殊的腺細胞，分別產生鹽酸和胃蛋白酶，兩者相混，即成酸性很強的胃液。

胰臟是一條狹長而扁平的腺體，靠近胃與十二指腸之間，可分泌鹼性的胰液，經胰管注入十二指腸（圖 12-4）。胰液中不僅含有蛋白酶和澱粉酶，還有分解脂肪及核酸的酵素。

腸腺是散生於小腸黏膜各部的微小腺體，分泌的腸液呈鹼性，也含有幾種不同的酵素，主要是用於接替胃液和胰液所未完成的工作，將尚未完全消化的蛋白質、醣類及核酸等分子予以繼續分解。

肝臟是最大的腺體，位於橫膈之下、腹腔的右上方。它有很多重要的生理功能，其中與消化有關的，就是分泌膽汁，以促進脂肪的消化。肝細胞所分泌的膽汁，均先暫時儲於膽囊中，其中一些水分被吸收而變濃縮。待有食物進入十二指腸時，才引起膽囊收縮，把膽汁擠壓出來，經由總膽管注入十二指腸（圖 12-3，4）。

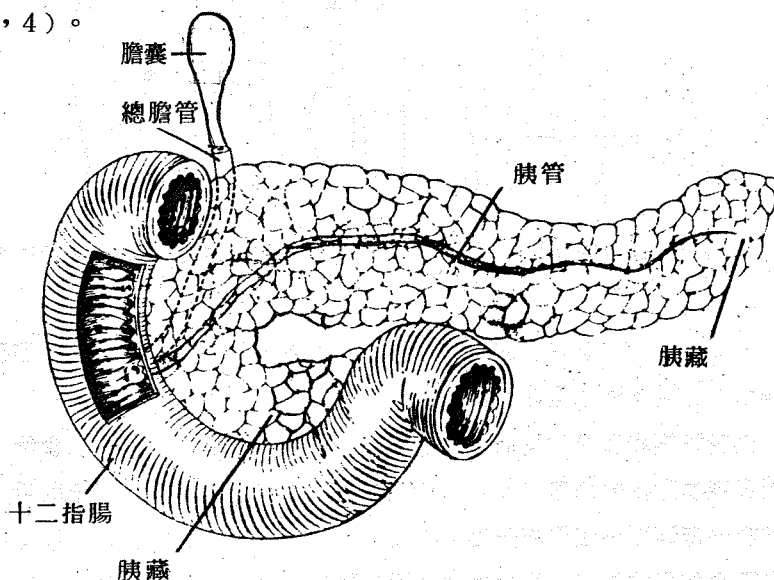


圖 12-4 胰臟的外形及其與十二指腸之關係，並顯示胰管與總膽管的末端相會合而開口於十二指腸之內壁

第二節 人體的消化作用

口腔內的消化 食物入口，首先要經牙齒咀嚼成為碎片或細粒，於是食物與消化液相接觸的面積便增大而利消化。口腔的感覺甚為靈敏，加上舌的味覺作用，可將口內任何腐臭或含有砂粒的食物吐出，以免吃下有害健康。在咀嚼食物時，又可藉舌的運動，將嚼碎的食物與唾液拌和成圓滑的食團，以便吞嚥。

唾液的分泌，完全是受神經控制。在焦慮、恐懼時，分泌會顯著減少。咀嚼食物時，則分泌大增。有時甚至僅當想到、看到、嗅到或聽到某些好吃的食物時，也可能會垂涎三尺。由於食物在口內停留的時間通常都很短暫，致使唾液澱粉酶大多尚未及充分發揮作用、或僅有少量的澱粉類食物被分解為麥芽糖時，那未經細嚼的食團便將由口腔轉入咽喉而吞嚥下去。

食道上端受到食團進入的刺激，由於管壁肌肉自上而下連續發生舒張與收縮交替進行的活動，遂使食道管壁呈現一張一縮的連續波動，稱為蠕動，將內含的食團逐步向下推擠（圖 12-5），直到蠕動波由食道傳到胃的賁門部時，原來緊閉著的賁門括約肌才會轉趨舒張，而打開了食道與胃之間的門戶，以便食物通過。

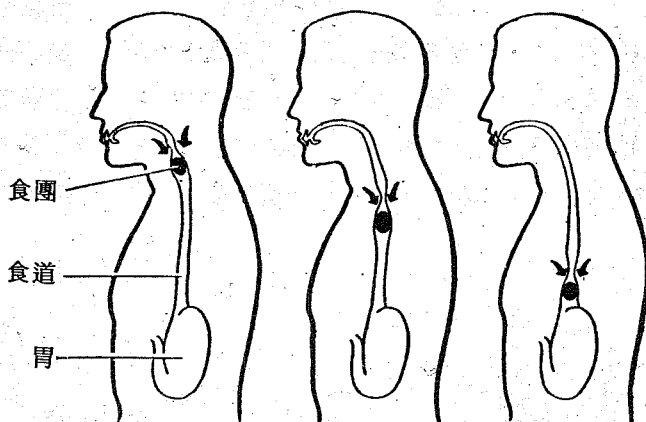


圖 12-5 食道的蠕動，可將食團推擠入胃（由左至右圖，顯示蠕動波連續進行的情況）

胃內的消化 進入胃內的食團，因受胃液酸性的影響，其外層的唾液澱粉酶迅即失效，內部的澱粉酶仍可繼續作用，直到胃液完全滲入為止。

胃液的分泌，係受神經和激素的控制。在剛開始進食時，由於看到好吃的食物、聞到美食的芳香氣味（氣體分子對鼻腔嗅黏膜的刺激）、或已嚐到口內食物的滋味（液體分子對舌上味蕾的刺激）時，都會立即經由神經的傳導而促使胃液分泌。待食物進入胃以後，又可引起更多胃液的分泌，這是由於神經和激素二者聯合作用的結果。為探討並求證此間的關係，生物學家曾在動物實驗中，先行切斷犬體內所有與胃相連的神經，而後再將食物灌入其胃內，則發現仍會引起胃液的分泌，祇是分泌量略為減少而已。這顯示此時胃液的分泌，必定尚有某種激素的參與作用。後經其他實驗證明，胃幽門部黏膜上的某些細胞，確具有內分泌腺的作用，當受到來自胃內食物（特別是半消化的蛋白質及其分解之產物）的刺激時，便分泌一種稱為**胃泌素**的激素，經血液運送至身體各部，而當它再返回胃壁時，就會刺激胃腺分泌胃液。

繼食團入胃和胃液分泌以後，胃壁也因肌肉收縮而產生蠕動，一方面促使胃內食物能與胃液混合均勻，同時也有搓碎食物的作用。胃液中的鹽酸，使胃內食物呈現酸性，既可防止胃內食物腐敗，又適合胃蛋白酶在此酸性環境中活動，將蛋白質分解為多肽。食物在胃內停留約 2～3 小時後，多半已被消化成粥狀的半流體，稱為**食糜**，於是會有更強的蠕動打開緊閉的幽門括約肌，而將食糜逐次擠入

小腸。

至於胃液中的鹽酸和蛋白酶何以不會破壞胃壁本身的細胞？答案則是由於胃黏膜尚有許多細胞可以分泌黏液，使黏膜表面因被黏液覆蓋而獲得保護。如因生理失常，致使黏液分泌不足時，胃壁就易遭受胃液侵蝕，而導致胃潰瘍。類似的情況，有時也會見於十二指腸。

小腸內的消化 小腸管壁受到食糜進入的刺激，也會產生蠕動（圖 12-6），其特性與食道的蠕動相似，以逐步推擠食糜前進。同時小腸各部還會不時發生另一型式的分節運動（圖 12-7），其作用不在推動食糜前行，而是藉局部腸管的往返收縮，使食糜與消化液經攪拌後而得混合均勻，故亦稱為攪拌運動。進入十二指腸的酸性食糜，與注入該部的膽汁、胰液相混，同時也將與來自小腸各部的腸液相混合。存在於這些鹼性消化液內的酵素，需待食糜的酸性被中和、並轉變為鹼性後，始可發生作用。

進入小腸的食糜，尚含有一些未曾消化的蛋白質和曾被初步消化而成的胨類，於此則經由胰蛋白酶的的作用，將之分解為分子更小的胨類，最後再由腸液中的**胨酶**予以徹底分解，產生游離的胺基酸。

胰澱粉酶則接替唾液澱粉酶所未完成的工作，把未曾消化的澱粉或肝糖，分解為麥芽糖，這種雙醣以及尚可能含於食物中的另兩種雙醣——蔗糖和乳糖，均可進一步受到腸液中各有關雙醣酶的作用，終被分解成可供吸收的單醣，即葡萄糖、果糖和半乳糖。

脂肪的消化，主要是依賴胰液中的脂肪酶和膽汁的聯合作用，膽汁中雖無酵素，却含有可助脂肪消化的**膽鹽**。因為脂肪不溶於水，原不易被水溶性的脂肪酶所分解，但由於膽鹽可以乳化脂肪

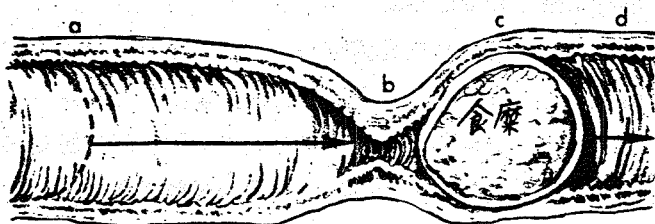


圖 12-6 小腸蠕動的模式圖。顯示一團食糜由 a 處被蠕動波推移至 c 處，此時 c 處腸壁內之環肌舒張（以擴大腸腔、容納食糜），b 處腸壁內之環肌則行收縮，以推擠食糜前進。

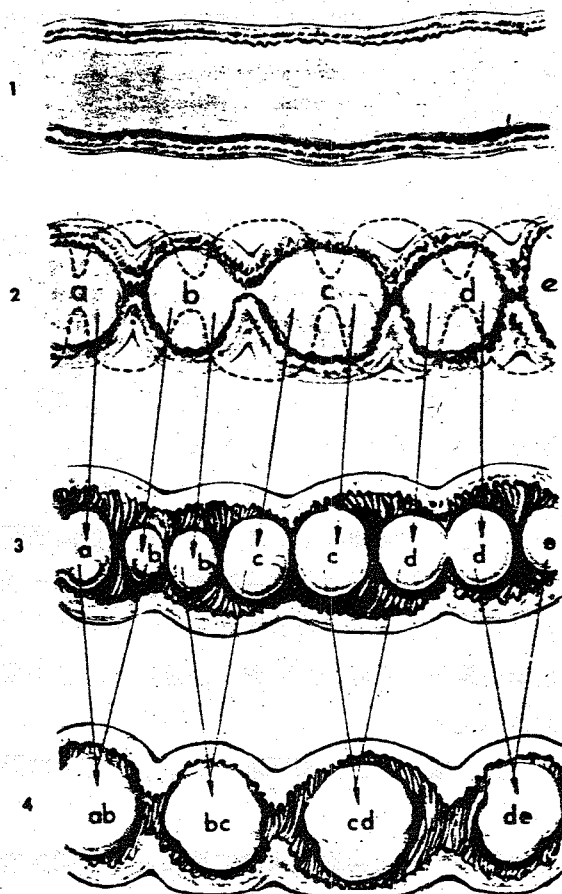


圖 12-7 小腸分節運動的模式圖。1 表示該段小腸尚未發生分節運動之狀態。2~4 表示分節運動正在進行之程序，英文字母代表食糜被擠壓分散成團之變化情況。

，使脂肪分散成許多小滴而均勻散布於水中，這樣就增大了被酵素作用的表面積，遂易被分解為甘油及脂肪酸等小分子物質。

胰液中含有兩種**核酸酶**，能分別將DNA和RNA初步分解成核苷酸，然後再藉腸液中若干種分解核苷酸的酵素，終被分解為含氮鹽基，還有核糖或去氧核糖、磷酸等小分子，以便吸收。

胰液及膽汁分泌的控制 胰液及膽汁的分泌，皆同受內分泌的控制。當酸性食糜自胃至十二指腸，便刺激其內壁，該部黏膜有一些內分泌細胞便分泌一種激素，稱為**胰泌素**，通過血液循環，即刺激胰臟分泌稀薄的胰液（內含水分及鹽類較多，酵素甚少）；另一方面，胰泌素也有刺激肝臟分泌膽汁的作用。肝臟分泌的膽汁，儲於膽囊內；而十二指腸黏膜另外尚有一些內分泌細胞，在受到食糜中蛋白質分解物的刺激時，則分泌出稱為**膽囊收縮素**的激素，經由血液循環而刺激膽囊收縮，以排出其中的膽汁，流經總膽管注入十二指腸內。學者們發現，膽囊收縮素也有刺激胰臟分泌酵素的作用。

實驗12-1 纖維素的消化

目的 了解蝸牛嗦囊消化液對植物細胞壁（纖維素）的消化。

器材	蝸牛嗦囊中的消化液	1 滴
	菠菜葉柄	1 支
	顯微鏡	1 台
	載玻片	2 片
	蓋玻片	2 片
	蒸餾水	少許
	安全刀片	1 片
	臘鉛筆	1 支（全班合用）
	滴管	2 支

步驟

1. 用銳利之安全刀片切斷菠菜的葉柄，並自其橫斷面切取薄片兩小片，分置於二載玻片之中央。
2. 二載玻片的標本上，一片加蝸牛嗦囊中的消化液一滴，另一片加蒸餾水，再覆以蓋玻片，用臘鉛筆在載玻片上作上記號，以資識別。
3. 先後置顯微鏡下，用低倍鏡觀察，注意標本中若干薄壁細胞的細胞壁。分別以簡圖繪記細胞的輪廓於記錄本上。
4. 約經十五分鐘後，分別觀察兩玻片標本的細胞，結果怎樣？將細胞形狀繪於記錄本上。

問題

1. 根據實驗結果，試推測蝸牛嗦囊的消化液中可能含有什麼酵素？
2. 在本實驗中，除使用蝸牛嗦囊的消化液外，為何還要另做一個用蒸餾水浸漬的標本？

第三節 食物養分的吸收

食物中的蛋白質、脂肪、醣類及核酸等養分，在胃和小腸內被消化成小分子後，就經腸壁細胞吸收，並由血液運送至身體各部，而被細胞用於合成新體質，或經氧化分解、產生能量。至於原含於食物中的水分、無機鹽（礦物質）和維生素等小分子養分，在消化過程中游離出來之後，亦皆易通過細胞膜而被吸收，除少數幾種礦物質可合成體質（如鈣與磷形成骨和齒質）外，一般無機鹽和維生素主要是用於維持正常化學反應（代謝）的順利進行。

小腸的吸收作用 口腔和食道均無吸收養分的能力，胃黏膜僅可吸收酒精和少數藥物，大腸則可吸收水分和一部分鹽類，故食物養分幾乎全賴小腸吸收。吸收的方法，一般是利用擴散作用，但對葡萄糖、胺基酸、含氮鹽基、鈉及氯離子等重要養分，亦可以主動運輸的方式吸收。

養分吸收的效率，和小腸黏膜表面的大小有關，表面積愈大，則吸收愈快、吸收的量也愈多。小腸內壁的黏膜有許多呈環狀隆起的皺襞，稱為**環狀皺襞**，且在皺襞表面又產生許多微小的指狀突起，叫做**絨毛**（圖 12-8），這樣遂可使腸壁吸收養分的表面積大為增加，而促進吸收的效率。養分及水分經絨毛表面的細胞吸收後，可再滲入其內部的微血管或乳糜管（即細微淋巴管在絨毛內的分枝），以便運送給其他細胞利用。

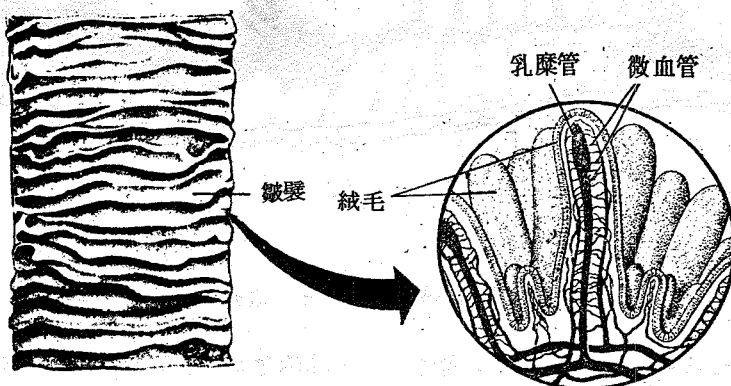


圖 12-8 小腸內壁（黏膜）的構造

左示黏膜表面呈環狀隆起之皺襞，
右示放大之絨毛外觀及內部構造圖。

大腸的吸收及排糞 在小腸內未曾消化或吸收的物質，即經小腸的蠕動而送入大腸。這些物質內尚含有大量水分和一部分無機鹽類，可由大腸繼續吸收。最後剩餘的水分和食物渣滓（主要是不能消化的植物纖維），經過腸內細菌的發酵，再加上腸壁黏膜所分泌的黏液，即混合成為糞便。當糞便在大腸內累積到相當分量時，就會刺激腸壁、引起蠕動，而將糞便推向直腸，乃產生排糞之意。

大腸中有許多細菌，他們對人體不僅無害，有些且能合成若干種維生素，以供人體吸收利用。當食渣在大腸停留過久，致使其中的水分幾被吸乾，那些乾硬的糞便，就不易刺激腸管蠕動，因此會產生排糞困難的情況，即稱便秘。預防便秘，在日常飲食方面宜多食水果蔬菜，因為果菜中含有多量纖維素，可增加食物殘渣的分量，而有刺激腸管加速蠕動的效果。

第四節 其他動物的消化

蚯蚓的消化 蚯蚓是生活於潮濕泥土裏的環節動物，藉吞食泥土以分解其中的腐植質及大量微生物，而獲得所需要的養分，用以製造體質或供應能量。

蚯蚓的消化管，前端有口，後端有肛門。口位於第一節腹面，內通口腔，以容納食物。口腔後接膨大的咽頭，藉咽壁肌肉的收縮，可將外界食物吸入口腔，再推擠到食道內（圖 12-9）。咽壁也含有分泌黏液及酵素的腺體，藉以潤滑並消化食物。在細長食道後端，有兩個囊狀的構造，前一個是薄壁的嗉囊，可暫貯來自食道的食物，後一個則為肌肉發達的砂囊，內含砂粒，藉肌肉的收縮活動，可將食物研磨成細粒，隨後再送入腸內消化。腸壁的腺細胞可分泌數種酵素，將大分子的食物分解為小分子，以便經由腸壁細胞吸收後，再分送至身體其他部分。腸壁還含有薄層的肌肉，可藉其收縮活動，把不能消化的渣滓向後推擠，而由肛門排出。

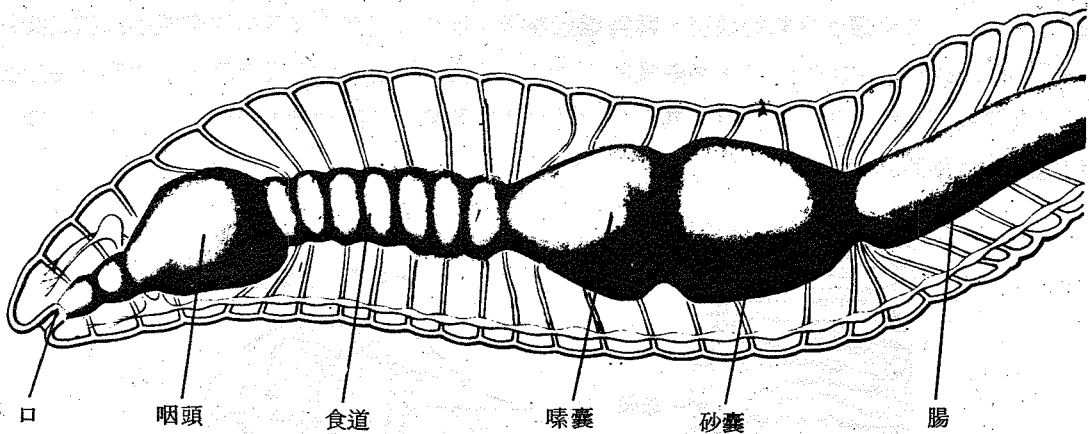


圖 12-9 蚯蚓消化系統主要部分之透視圖

蝗蟲的消化 蝗蟲是田野中常見的草食性昆蟲，其消化系統較蚯蚓為發達。蝗蟲的消化管，亦分口腔、食道、嗉囊、胃、腸等部。至於消化腺，則以位於嗉囊下面的唾腺和自胃壁前端伸出的胃盲

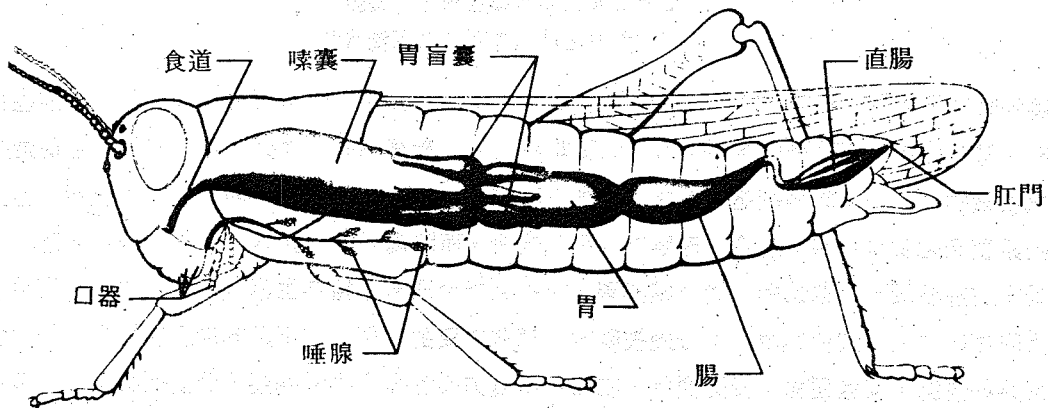


圖 12-10 蝗蟲消化系統之透視圖

囊(圖 12-10)，最為顯著。另外還有一些能分泌消化酵素的腺細胞，分散在嚙囊和胃、腸等部的內壁。

蝗蟲口的外圍，有複雜的口器(圖 12-11)，係由上唇、下唇、大顎及小顎等構成，具有攝取和咬碎食物的功用。唾腺有小管將唾液注入口腔，用於潤滑及消化食物。進入嚙囊內的食物，則有較長時間繼續接受若干種酵素的作用。食物入胃後，又有來自胃盲囊的消化液繼續參與作用，所產生的少量小分子養分即可由胃壁細胞吸收，但大部分的養分仍需待進入腸內消化完全後，才能被腸壁細胞吸收。腸的末端呈圓錐狀且含肌肉較多，稱為直腸，此處吸水能力頗強，並可將乾燥食渣壓成定形的糞球，由肛門排出體外。

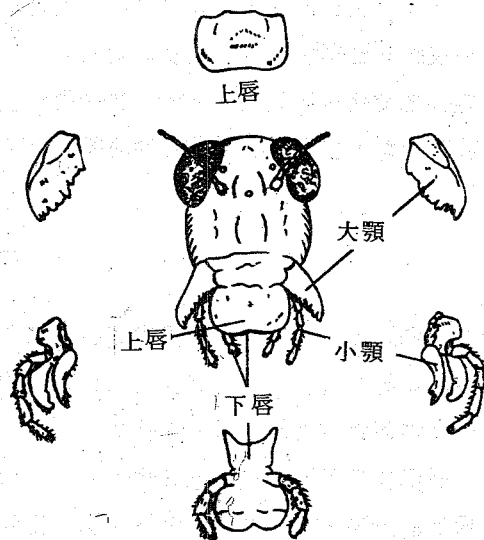


圖 12-11 蝗蟲頭部之正面觀及口器之分解圖

摘要

1. 人體的消化管始於口而終於肛門，可分為口腔、咽頭、食道、胃、小腸和大腸等部。
2. 消化腺在人體以唾腺、胰臟和肝臟為主，另有胃腺和腸腺，均可分泌消化液。
3. 人體的唾腺包括腮腺、頷下腺及舌下腺三對，可將唾液輸入口腔，內含澱粉酶，可分解澱粉及肝糖為麥芽糖。
4. 胃腺能分泌胃液，其中含有胃蛋白酶，可將蛋白質分解為胨類，鹽酸可以防腐，也可使胃內食物呈酸性而利胃蛋白酶作用。
5. 胰臟分泌胰液，胰液呈鹼性，經胰管注入十二指腸，內含多種酵素，包括蛋白酶、澱粉酶、脂肪酶及核酸酶。
6. 小腸黏膜中的腸腺，可分泌腸液，腸液呈鹼性，其中含有胨酶、雙醣酶以及使核苷酸繼續分解的若干種酵素。
7. 肝臟可製造及分泌膽汁，先暫儲於膽囊，於食物消化時始經總膽管注入十二指腸，其中雖無酵素，但却含有膽鹽，具有乳化脂肪的作用，可促進脂肪酶對脂肪的分解。
8. 胃液的分泌除受神經控制外，尚有激素(胃泌素)參與作用，胃泌素來自胃幽門部黏膜的特殊細胞，可刺激胃腺分泌更多胃液，以促進胃內食物的消化。
9. 促進胰液分泌的胰泌素，來自十二指腸黏膜的特殊細胞，其作用除促進胰液中水分和鹽類的分泌外，尚可刺激肝臟分泌膽汁。
10. 膽囊收縮素，亦來自十二指腸黏膜的內分泌細胞，可刺激膽囊收縮，以排出膽汁注入十二指腸，同時也刺激胰臟分泌數種消化酵素。

11. 消化管的運動有兩種主要型式，一是蠕動，其作用在推擠食物下行；另一種是分節運動，其作用在使腸內食糜能與消化液攪拌均勻。
12. 蝗蟲的消化系統比蚯蚓進步，為適應陸上的草食性生活，蝗蟲的口部有複雜的口器，以利攝取和咬碎食物，並有唾腺和胃盲囊兩種消化腺。

習 題

1. 膽汁和胰液各由人體什麼器官製造出來？最後注入何處？
2. 兔的盲腸相當發達，對其食物消化有何助益？
3. 膽汁為何會有助於食物的消化？
4. 人體倒立時仍可吞吃固態食物，並迫使食物違抗地心引力而進入胃內，試說明其原因。
5. 胃液的分泌，除受神經控制外，還可受到什麼因素的影響？用何實驗方法可顯示這種因素的作用？這種因素來自何處？
6. 小腸可作怎樣的運動？各有什麼功效？
7. 雙醣酶來自何處？有何作用？
8. 胰泌素是怎樣產生的？有何特殊功能？
9. 膽囊收縮素來自何處？有何作用？
10. 蝗蟲的胃盲囊有何作用？