

壹、前言

「探討生物體的構造與機能，了解生命的奧秘」、「了解生物生長的過程、生命的維持及延續的方式」等是高中生命科學課程的重點目標（教育部高級中學課程標準編輯審查小組，民 85），欲達成此一教學目標，生命科學教材中除一般外部形態觀察外，亦須仰賴細胞學觀察，以便深入瞭解生物之微細構造及其與生命現象之關聯。

細胞學是研究細胞階層問題的科學，所有生物個體的遺傳、光合作用及呼吸作用等三個過程均有其特殊性，因為這三個過程均由細胞內的特殊胞器所控制，瞭解這三個胞器則易於瞭解這三個生理過程（Weier, Stocking, Barbour and Rost, 1982）。電腦科技急速發達下，已可快速儲存並閱讀大量的資料；然而，在一個單一、微小的細胞內，不僅可儲存不可細數的資訊（例如人的一個細胞可儲存 40,000 單元以上的訊息，由控制指紋到毛髮生長的訊息均儲存於一個微小的細胞內），細胞也是生命的中心，維持生命所進行的化學反應，其反應的篩選、阻隔、組合及協調等均由細胞所控制，因此，細胞是一切生命的基礎，所有的生物個體均由細胞組成（Brum and McKane, 1989）。

細胞學教材在生物教科書中雖未專列一章以作系統性說明，但因其微細構造為瞭解生命現象之基礎，且各部分構造均與生命現象息息相關，因而散見於各章節教材內容中。生物之外部形態，可藉肉眼觀察，學生在日常生活或學習過程中，較易獲得具體性的經驗；細胞學教材則常須借助於光學顯微鏡甚至電子顯微鏡的觀察，才能一窺生命微細構造的奧秘。學生之學習經驗除教科書內之圖片外，僅能由其它圖書或媒體獲得片段之印象，因而欲使學生瞭解生物基本構造，仍須藉助於資料的收集及整理，方能克竟其功。

細胞學教材因散見於各章節中，學生不易獲得系統性知識；而且

所見之教材均為印製或繪製之圖片，不易獲得真實感。生命科學為研究生命現象的一門科學，必須透過觀察、驗證等科學過程，方能獲得具體之經驗。本研究之目的為：(一)探討高中生命科學細胞學教材內容，並作系統性歸類，以協助學生學習；(二)收集並整理現有細胞學教學資源，以協助教師教學。

貳、研究方法

本研究採用內容分析法 (content analysis) 分析高中生命科學課程教科書中有關細胞學教材的內容 (王文科, 民 79; 史金濤、廖達珊及許正瑛, 民 86)。進行的步驟分述如下:

- (一) 文獻收集—收集國內外有關生物教科書、研究報告及媒體資源, 探討有關細胞學教學之資料。
- (二) 內容分析—就高中生命科學課程教科書內有關細胞學內容部分, 分析並作系統性分類及可能呈現的方式。
- (三) 資料整理—整理前述研究所獲得之資料, 以圖文說明等方式作系統性歸類。
- (四) 撰寫報告—將本研究結果依研究報告格式撰寫報告, 期供教育機關及高中教師參考。

參、研究結果與討論

(壹) 生命科學教材內容分析

生命科學為高中二年級一學年之課程，每週兩節，教材共分捌章，內含七個探討活動；其中與細胞學相關的教材均分布在第壹章。第壹章「細胞和生物體」，共分四節及一個探討活動。本章主要內容在說明細胞的基本構造及生理功能，並由細胞發展出個體組成的不同層次。細胞的構造在敘述細胞胞器、原核與真核細胞的構造；細胞的生理則敘述細胞的化學組成、擴散、滲透、膨壓、酵素的性質和活性，影響酵素活動的因素等。高中生命科學教材綱要如表一。

表一、高中生命科學教材綱要(摘錄自「高級中學生命科學課程標準」
(教育部，民85))

教 材 大 綱	應 修 內 容	參 考 節 數
壹、細胞和生物體 一、細胞的構造 二、細胞的生理 三、組織、器官和系統 四、討論 探討活動 1-1:細胞膜滲透作用	* 胞器、原核與真核細胞的構造 * 細胞的化學組成、擴散、滲透、膨壓、酵素的性質和活性，影響酵素活動的因素 * 生物體的組織、器官和系統 * 藻類為何能生存在溫泉中；淡水中的生物為何不能生活於海水中 * 觀察細胞的滲透作用	
貳、微生物的生命現象 一、微生物的基本構造 二、病毒和細菌	* 病毒、細菌、真菌的形狀和構造 * 病毒的繁殖，細菌的生長與繁殖	

<p>三、真菌</p> <p>四、微生物的應用</p> <p>五、討論</p> <p>探討活動 2-1: 微生物的觀察</p>	<p>* 酵母菌的生活史，黴菌的增殖，蕈的孢子繁殖</p> <p>* 微生物在醫學、工業、農業及食品工業上的應用</p> <p>* 微生物與人類的關係(有害與有利)</p>	
<p>參、植物的營養</p> <p>一、根、莖和葉的構造</p> <p>二、水和無機鹽的吸收與運輸</p> <p>三、光合作用與呼吸作用</p> <p>四、養分的運輸</p> <p>五、討論</p> <p>探討活動 3-1: 植物的氣孔與蒸散作用</p>	<p>* 維管束植物營養器官的外部形態及內部構造</p> <p>* 水和無機鹽的吸收與在木質部的運輸，蒸散作用，影響蒸散作用的因素</p> <p>* 光合作用與呼吸作用的生理、生態功能，影響光合作用與呼吸作用的因素</p> <p>* 養分在韌皮部的運輸</p> <p>* 討論水耕培養的條件；菜園淹水致使某些蔬菜死亡的原因</p> <p>* 觀察植物的氣孔及測定蒸散作用</p>	
<p>肆、植物的生殖、生長和發育</p> <p>一、植物的生殖</p> <p>二、種子的萌發與幼苗的生長</p> <p>三、調節植物生長與發育的物質</p> <p>四、植物對環境刺激的反應</p> <p>五、討論</p> <p>探討活動 4-1: 花粉的觀察</p>	<p>* 無性及有性生殖，生殖構造與適應</p> <p>* 影響種子萌發的因素，種子萌發的過程，幼苗的生長</p> <p>* 生長素、離層素、吉貝素、乙烯、細胞分裂素</p> <p>* 向性，光週期，光敏素，春化作用</p> <p>* 植物激素在農業上的應用與不當使用</p> <p>* 觀察花粉的形態及萌發</p>	

<p>伍、動物的代謝和恆定性</p> <p>一、消化作用與營養</p> <p>二、循環作用與養分的運輸</p> <p>三、呼吸作用與氣體交換</p> <p>四、排泄作用與體液恆定</p> <p>五、討論</p> <p>探討活動 5-1: 心搏</p>	<p>* 食物的種類，營養，能量需求，消化系統，消化作用，養分的吸收，肝臟的功能</p> <p>* 循環系統，血液和養分的運輸</p> <p>* 呼吸系統，呼吸運動，氣體交換</p> <p>* 腎臟的功能，汗腺的功能，體溫調節，恆定性</p> <p>* 討論營養不均與疾病</p> <p>* 測定心搏及影響心搏的因素</p>	
<p>陸、動物的協調作用</p> <p>一、免疫反應</p> <p>二、神經與運動</p> <p>三、激素與協調</p> <p>四、動物的行為</p> <p>五、討論</p> <p>探討活動 6-1: 感覺與反射</p>	<p>* 淋巴系統，專一性與非專一性的免疫作用，與免疫有關的疾病</p> <p>* 神經元，神經衝動，反射與反射弧，骨骼、肌肉與協調</p> <p>* 激素的定義，激素的分泌與協調作用（以血糖恆定為例）</p> <p>* 神經與行為，內分泌與行為</p> <p>* 討論影響行為的藥物</p> <p>* 觀察人體的感覺與反射</p>	
<p>柒、動物的生殖和遺傳</p> <p>一、動物的生殖</p> <p>二、人類的生殖和胚胎發生</p> <p>三、基因與遺傳</p>	<p>* 無性生殖，配子的形成，受精方式，卵生、胎生及卵胎生</p> <p>* 人類的生殖系統，月經週期，受精與懷孕，胚胎發生的過程</p> <p>* 基因型，外表型，兩對因子遺傳，機率</p>	

<p>四、人類遺傳學 五、討論</p> <p>探討活動 7-1: 生殖腺與生殖細胞</p>	<ul style="list-style-type: none"> * 人類血型、色盲的遺傳，遺傳疾病 * 探討影響胚胎發生的因素（如藥物、放射線等） * 可考慮以牛蛙為實驗材料 	
<p>捌、動物的生殖和遺傳</p> <p>一、遺傳物質—去氧核糖核酸（DNA）</p> <p>二、現代生物技學的發展</p> <p>三、生物技學的衝擊</p> <p>四、生物技學之社會觀</p>	<ul style="list-style-type: none"> * 簡述 DNA 的化學組成，DNA 的結構，DNA 和蛋白質的關係 * 遺傳工程簡介，離體培養（組織培養，器官培養，試管嬰兒） * 在農業、畜牧、醫學、工業等方面的應用與衝擊 * 潛在之危險，倫理觀，法律觀，人類是否可成為新生命的主宰 	

我國各教育階段中，有關生物細胞學教材內容成漸進式增加，國民中學階段的生物課程已涉及部分細胞學內容，如動物和植物細胞的構造、細胞的化學組成、擴散、酵素的性質和活性等。在細胞構造上，僅以光學顯微鏡可以觀察的構造為主；細胞生理部分的內容也仍未深入。高中生命科學有關細胞學的教學內容已較為深入，部分細胞胞器的微細構造已非僅靠光學顯微鏡可以觀察，而必須藉助於電子顯微鏡的觀察。細胞生理部分也較具體地談及膨壓、滲透作用等現象。當然，與大學細胞學比較，高中生命科學所涉及的細胞學內容仍相當有限(表二)。

表二、國中、高中及大學細胞學教材內容之比較

主 題	學 校 類 別		
	國中生物	高中生命科學	大學細胞學
細胞的構造	動物和植物細胞的構造	胞器、原核與真核細胞的構造	<ul style="list-style-type: none"> *細胞構造及分子生物學 *原核細胞的一般構造 *真核細胞的一般構造 *細胞核、染色體以及細胞循環 *有絲分裂和減數分裂
細胞的生理	細胞的化學組成、擴散、酵素的性質和活性	細胞的化學組成、擴散、滲透、膨壓、酵素的性質和活性，影響酵素活動的因素	<ul style="list-style-type: none"> *細胞學以及細胞化學的方法 *細胞的生物化學 *酶、生化能量學及細胞呼吸作用 *巨型分子的組成和細胞的起源 *細胞膜與其通透性及細胞間的相互作用 *細胞骨架與細胞運動 *內質網與細胞分泌 *高爾基體及細胞分泌 *粒線體和氧化磷酸化反應 *溶素體、細胞消化系統及過氧化小體 *植物細胞及葉綠體 *休止期的細胞核、染色質和染色體 *細胞循環與 DNA 之複製 *有絲分裂和細胞分裂 *減數分裂與有性生殖

			<ul style="list-style-type: none"> * 細胞遺傳 * 人類細胞遺傳 * 核糖體和核仁的功能 * 基因表現 * 細胞分化 * 肌細胞及其分子生物學 * 細胞和分子神經生物學
--	--	--	---

(貳) 生命科學細胞學教學參考資料

一、胞器的構造與功能

細胞由細胞膜包覆，內部是均勻的膠狀物質，稱為原生質 (protoplasm)。細胞內有細胞核，細胞核以外的細胞內容物稱為細胞質 (cytoplasm)，細胞核內的物質稱為核質 (nucleoplasm)。懸浮在細胞質和核質液體成分內的是具有特殊功能的胞器 (organelles)。真核細胞胞器的構造及其功能整理如表三。

表三、真核細胞胞器的構造及其功能

胞器名稱		特 徵	功 能
細胞膜		雙層脂質，內部鑲嵌許多不同的蛋白質	保護；調節物質進出細胞；維持細胞形狀；與其它細胞連繫
內 質 網	內質網	遍布細胞內部的膜狀網路，形成管道及小泡系統	負責細胞內的物質運輸
	平滑內質網	表面缺乏核糖體	在某些細胞內製造類固醇；在肌細胞內負責衝動的傳導
	粗糙內質網	表面佈滿核糖體	製造且運輸蛋白質
核糖體		由 RNA 和蛋白質構成，不具膜；部分附著在 ER 上	製造蛋白質

高基複體	成堆的扁平膜囊狀構造	包裝分泌物，產生溶小體
溶小體	含水解酶的膜囊構造	釋出的酶可以水解蛋白質及其他物質（含吞噬的細菌）；與細胞死亡的過程有關
小泡	膜狀囊袋	含有噬入的物質、細胞的分泌物或廢物
粒線體	由兩層膜構成的囊袋；內膜經摺疊成脊(cristae)	細胞發電廠，大部分的細胞呼吸反應在此進行
色素體	含葉綠體、白色體及雜色體等	與食物的合成及貯存有關
葉綠體	有膜，具盤狀的綠小餅	含有可捕捉太陽能行光合作用的葉綠素
微小管	不具膜，空心，螺旋排列，管壁由小管素蛋白質組成	支持細胞的結構，與細胞的運動有關，是中心粒、纖毛及鞭毛的成份
過氧化體	含氧化酶的膜狀囊袋	代謝反應並分解 H_2O_2 ；與光呼吸作用有關
微絲	不具膜；桿狀，由收縮性蛋白質所構成	支持細胞結構，可能與細胞運動有關
中心粒	不具膜；是一對空心的圓柱體，位於中心體(centrosome)內，每個中心粒由9組3條微小管構成	動物細胞的紡錘體在兩個中心粒之間形成
纖毛	不具膜；微小管以9+2形式排成空心管子；延伸到細胞外	移動細胞外的物質。呼吸道上的纖毛細胞可經由擺動而將黏液自肺中移走；並非所有細胞都有纖毛
鞭毛	不具膜；微小管以9+2形式排成空心管子；延伸到細胞外；比纖毛長	細胞的運動；人類只有精細胞才有鞭毛

細胞核	由雙層核膜圍繞成的大型球狀構造；含有核仁和染色體	細胞的控制中心；含染色體
核仁	不具膜；細胞核內的圓形顆粒；由 RNA 和蛋白質構成	組成核糖體；可能還有其他功能
染色體	不具膜；DNA 和蛋白質構成的線狀構造	含有控制細胞結構及活性的遺傳單位—基因(gene)

1. 內質網(endoplasmic reticulum)

內質網為複雜的膜狀結構，膜系統為液體所填滿，在各種不同細胞內，它的外形和大小差別很大。緊密的內質網，管狀構造的直徑約在 50-100nm 之間。大多數細胞內部的內質網，外觀上互不相連；但在某些電子顯微圖片中，可以看見細胞膜、核膜、及內質網的網是相互連接的。因而有人認為這些膜都有共同的來源。

內質網的膜將細胞質區隔成許多區間，使不同的酶可在不同的區間各自進行。許多酶要附著在膜上才能發揮最有效的作用，內質網複雜且多皺摺的膜系，提供酶作用時更大的表面積。此外，內質網也負責細胞內各種化學物質的運輸，可能將物質運出細胞或運入細胞核。內質網的另一種重要功能是合成某些化合物，例如脂質、蛋白質及複合糖類等。

內質網可分為平滑及粗糙兩種，平滑內質網(smooth ER, SER)因其外表平滑而得名。在某些細胞內負責類固醇(steroids)的製造。在肌細胞內，平滑內質網負責鈣的貯存，並能影響肌肉的收縮。在某些細胞內，平滑內質網可能與細胞分泌的功能有關。肝細胞的平滑內質網與脂質的代謝及去毒作用有關，將 phenobarbital (一種巴比妥鹽)注入實驗動物體內，在數天中，其平滑內質網的數量大增，且平滑內質網內用以分解 phenobarbital 的酶濃度也顯著增加。

粗糙內質網(rough ER, RER)的外表有顆粒，這是核糖體附著在外壁的緣故。核糖體是合成蛋白質的地方。粗糙內質網在合成分泌性蛋

白質的細胞內，含量特別多，例如分泌消化酶的細胞。粗糙內質網和平滑內質網是相互連接的，細胞可依其需要而調整兩種內質網的比例。

核糖體含有 RNA 和蛋白質，它是由兩個次單位所組成，完整的核糖體才有合成蛋白質的能力，在許多細胞中，常有 5-6 個核糖體聚在一起形成多核糖體(polyribosomes)。核糖體先在細胞核內組合完成後，再到細胞質內；並非所有的核糖體都附著在內質網上，有些是懸浮在細胞質內。

2. 高基氏體(Golgi complex)

高基氏體是 1898 年義大利顯微學家 Camillo Golgi 首先在神經細胞中發現的。除了紅血球外，所有細胞都含有此種胞器。在電子顯微鏡下，高基氏體如同一層一層盤狀的膜所組成；在某些區域，膜會膨大形成小泡(vesicles)或囊(sacs)，裡面充滿了細胞的產物。在動物細胞內，高基氏體常位於細胞核的一側。

高基氏體是細胞的加工廠和包裝工廠，具分泌產物功能的特化細胞內尤其發達。蛋白質在粗糙內質網產生時，膜會將蛋白質包起來形成小泡並脫離內質網。小泡由內質網跑到高基氏體，與其融合形成新的高基氏體膜。蛋白質在高基氏體內，經由膜的作用而更加濃縮。貯存過程中，蛋白質可能會被修飾，通常是與醣類結合形成醣蛋白(glycoprotein)。

植物細胞的高基氏體負責製造用以構成細胞的胞外多醣類（但是，大多數植物的纖維素是由細胞膜製造的）。

3. 溶小體(lysosome)

細胞內的消化酶沿著粗糙內質網產生後，運送到高基氏體。消化酶被高基氏體的膜包起來後，便脫離高基氏體。這種含有消化酶的小泡，叫做溶小體。溶小體的膜是單層膜沒有內膜，溶小體散佈在細胞質內，目前已知有 40 種左右的酶存在於溶小體內。

白血球或巨噬細胞吞噬外來細菌或細胞後，這些外來物質的碎片會被膜包圍而形成小泡。溶小體再和這些小泡融合，形成次級溶小體

(secondary lysosome)。溶小體的膜不受水解酶的作用，並且能防止酶露出而將細胞內容物消化掉。

溶小體具有自噬作用(autophagy)，當細胞內能量不足時，溶小體會分解部分胞器當作細胞能量來源。當細胞死亡時，溶小體會將其所含的酶釋入細胞質，將整個細胞分解。因此，首先發現溶小體的比利時生化學家 Christian Deduve 將之稱為自殺袋(suicide bags)。

胚胎發育過程中，器官的形成，會使某些組織或細胞被破壞，組織或細胞的破壞作用，全賴溶小體選擇性地進行。組織傷害及老化過程均可能與漏出的溶小體有關。例如類風濕性關節炎，可能是溶小體釋出的酶對關節的軟骨細胞造成傷害所引起。

幾乎所有動物細胞內都可以發現溶小體的存在，植物細胞是否有溶小體仍有爭議。某些科學家認為，植物細胞內的其它特化胞器具有類似溶小體的功能。

4. 粒線體(mitochondria)

粒線體是細胞內部的小型發電廠，細胞的呼吸作用大部分在粒線體中進行；此外，粒線體也負責調節細胞內的鈣離子濃度。越是活躍的細胞，其所含的粒線體數目也越多。粒線體的大小不一，長度在 2-8 μm 之間，直徑在 0.2-1.0 μm 間；其形狀可能是球形、桿狀或線形。

粒線體具雙層膜，內外兩層膜都含有脂質雙層，中間則埋有許多蛋白質分子。其外層膜平滑，內層膜則重複摺疊形成延伸到粒線體中心的平行板，稱為脊(cristae)。棚架般的脊內，含有許多細胞呼吸所需的酶。粒線體內部區間的半液態物質(基質，matrix)，則含有其他細胞呼吸所需的酶。

5. 色素體(plastids)

植物和藻類細胞都含有色素體，色素體與食物的合成及貯存有關係。色素體包含葉綠體、白色體及雜色體等。葉綠體是植物進行光合作用的場所，白色體有貯存澱粉及其它物質的功能，植物合成的澱粉，通常貯存在根、莖及種子的白色體內。雜色體使植物的花、果實及落

葉各有特殊的顏色。

6. 葉綠體(chloroplast)

所有進行光合成營養的真核生物均具有葉綠體，但在數量及外形上則有許多差異。植物每一個葉肉細胞通常含有 20-50 個葉綠體，藻類每個細胞所含有的葉綠體數量較少，部份則每個細胞只有一個葉綠體。單胞藻(*Chlamydomonas*)只有一個葉綠體，葉綠體幾乎佔滿整個細胞。葉綠體的外形常為橢圓形，長約 5-10 μm ，直徑約 2-4 μm ，大小約為粒線體的 50 倍，與紅血球則大小相近。

葉綠體與粒線體相同，具有雙層膜構造，內外兩層膜間則有膜間隙(intermembrane space)隔開。外膜可容許多數有機小分子自由通過；內膜則為主要的通透性障礙(primary permeability barrier)。內膜蛋白質運輸時，其它代謝物如 ATP 等即伴同進出這個胞器。除內外雙層膜外，內部尚有網狀膜形成的囊狀構造，稱為綠小餅(thylakoid)；綠小餅通常會堆疊成葉綠餅(granum)，葉綠餅與葉綠餅間有基質膜(stroma lamella)用以連接綠小餅。

葉綠體與粒線體都是細胞內重要的胞器，分別進行光合作用及呼吸作用，其作用位置有很大的相似性(表四)。葉綠體與粒線體一樣，都含有 DNA、RNA 和核糖體，因此都有合成蛋白質的能力；同時，兩者都有生長及分裂的能力。

表四、粒線體及葉綠體反應過程及位置之比較

代謝過程	胞器	碳代謝		電子傳遞	
		經路	位置	反應過程	位置
呼吸代謝	粒線體	TCA cycle, β oxidation	基質(matrix)	氧化磷酸化反應	脊(cristae)
光合作用	葉綠體	Calvin cycle	基質(stroma)	光還原及光磷酸化反應	葉綠餅(grana)

7. 過氧化體(Peroxisome)

過氧化體存在於動物的肝、腎等臟器內，原生動物、酵母及多種

高級植物中也可發現其存在。植物細胞中的過氧化體在形態上與動物細胞者相似，但所含的酵素種類不同。

過氧化體形成非常迅速，其形成是由空胞系統中的內質網擴張而成，由內質網轉運出來約只須 1 小時即可完成，但在 4—5 天後可能會藉自噬作用而毀掉。

過氧化體是卵形的顆粒，外面由單層膜圍繞。過氧化體含有氧化酶，例如大約 20% 的脂肪酸氧化作用是在過氧化體內進行的。多數氧化酶作用後，會產生對細胞致命的氧化劑—過氧化氫(hydrogen peroxide, H_2O_2)，過氧化氫須由過氧化氫酶(hydrogen peroxidase)分解，以免傷害細胞。

綠色植物進行光呼吸時，由光合作用產生的甘醇酸 (glycolic acid) 會釋放入葉綠體中。過氧化體中的甘醇酸氧化酶氧化甘醇酸並產生過氧化氫，過氧化氫再被過氧化體中的過氧化酶分解。真菌游動孢子所分離出的微粒體(microbodies)含有過氧化酶，這是典型的過氧化體酵素。

8. 微小管(microtubule)

微小管普遍存在於真核細胞的細胞質中，外形成管狀且在不同細胞種類中的微小管具有相似的性質。細胞質中的微小管大小相似，外徑約 25nm，長約數個 μm ；橫切面顯示微小管具環狀結構，壁厚約 6nm。多數的微小管均不安定，如果貯存在 $0^\circ C$ 或用秋水仙素處理後會消失；固定劑四氧化銨會破壞其結構，電子顯微鏡技術操作上，須改用戊二醛固定。

不同細胞種類中的微小管，其所含的蛋白質成分大致相同。微小管所含的蛋白質只要為小管蛋白(tubulin)，小管蛋白的分子量在 110,000 到 120,000 道爾頓(dalton)。小管蛋白由兩個同樣大小的單體組成，但種類不同，所以是一種由兩種不同種類的單體所構成的異二聚體(heterodimer)。

微小管在細胞質內形成規則性的框架，可以維持細胞的形狀並重新分佈其內含物；細胞分化時，細胞形狀的維持也須微小管的參與；

細胞進行有絲分裂時，染色體在紡錘體上的移動與微小管有關。微小管在細胞質內形成管道，因而可能與細胞內大分子的運輸有關。此外，微小管也是纖毛及鞭毛的主要成分。

9. 微絲(microfilament)

細胞內的絲狀構造除了空心的微小管外，實心的微絲也存在於多數細胞中。微絲由成條的蛋白質分子組成，與細胞的構造及移動也有密切的關係。控制肌肉收縮的肌動蛋白(actin)纖維與其它細胞內的微絲完全相同，肌動蛋白形成的微絲與細胞的運動有關，例如變形蟲運動時的細胞質流動及某些植物細胞內的細胞質循環。

10. 中心粒(centriole)

中心粒是動物細胞特有的構造，與細胞的分裂有關。每個動物細胞含有兩個中心粒，中心粒是由 9 組 3 條微小管所組成的空心的管狀結構。中心粒位於細胞質的緻密區域內，即細胞核附近，此區域稱為中心體(centrosome)。

11. 纖毛和鞭毛(cilium and flagellum)

纖毛及鞭毛是由細胞表面伸出可供在液態介質中運動之構造，數量少而長的為鞭毛，數量多而短者為纖毛。纖毛和鞭毛的構造十分類似，每條纖毛或鞭毛都有一細長、圓柱形的柄，外覆一層細胞膜，內部為 11 組微小管以 9+2 的方式排列，即 9 對微小管圍繞著中間的 2 對微小管，其中每一對微小管均由 3 條微小管組成。柄的基部稱為基體，構造與中心粒相似，由 9 對各 3 條微小管組成，基體是纖毛和鞭毛發揮功能的重要部份。

12. 液泡(vacuole)

許多種類的細胞均含有大小不一的液泡，但以植物及某些原生動物的含量較多。植物細胞，尤其是成熟的細胞，具有大型液泡，位於細胞中央，液泡內含有貯存的食物、鹽類、色素及廢物等。植物沒有

專門排泄廢物的構造，所以將代謝廢物或毒性物質貯存在液泡內，液泡內的代謝廢物經常會聚集形成各種形狀的晶體。原生動物含有食泡，食泡內為正在消化的食物；伸縮泡則具有調節水分的作用。

13.細胞核(nucleus)

真核生物的細胞內含有一個球形或卵形的細胞核，核外包圍雙層膜，稱為核膜；核內含染色體，是細胞的反應中樞。核膜具有許多小孔，稱為核孔(nuclear pore)。核孔在核與細胞質間形成物質流通的孔道，可容許水溶性分子進出；核糖體、信息 RNA 分子及染色體蛋白質等，可能也是經由核孔出入。

細胞核的位置，通常位於細胞的中心，但因細胞的種類不同而各有其特定位置，例如胚胎細胞或分生細胞的細胞核位於細胞的幾何中心，但分化後的細胞或貯存物質累積後的細胞，細胞核會因而改變其原來的位罝。

通常一個細胞含有一個細胞核，但肝臟和軟骨細胞含有雙核，而橫紋肌細胞和某些藻類細胞則含有多核。哺乳動物的紅血球在成熟過程中，會失去其細胞核。

二、原核與真核細胞的構造

生物圈中的生物，可分為原核生物與真核生物兩類。細菌和藍綠藻類屬於原核生物，其餘生物則為真核生物。原核生物的細胞通常比真核生物的細胞小，除了細胞膜外，細胞內的胞器及細胞核等都沒有膜圍住。

原核生物細胞內的遺傳物質沒有核膜包圍，染色體通常成環狀，而真核生物的染色體成雙螺旋線形。原核細胞沒有粒線體，呼吸作用發生於細胞膜向內摺疊形成的內膜中（表五）。

表五、原核生物與真核生物細胞構造之比較

構造	原核細胞	植物細胞	動物細胞
細胞膜	+	+	+
細胞壁	+(胜 醣)	+(纖維素)	-
核膜	-	+	+
染色體	+(核酸，環形)	+(去氧核糖核酸及蛋白質，線形)	+(去氧核糖核酸及蛋白質，線形)
粒線體	-	+	+
內質網	-	+	+
高基氏體	-	+	+
葉綠體	-	+	-
液泡	-	+(通常有且可能很大)	-(通常無或很小)
中心粒	-	+(高等植物無)	+
溶小體	-	-(通常無)	+
纖毛	-	-(高等植物無)	+
鞭毛	+	+	+

細菌細胞由細胞壁、細胞膜及細胞質組成，細胞質內常含有一個或數個液泡及顆粒體，細胞壁外則可能有莢膜(capsule)包圍。莢膜的主要成分為碳水化合物，具有莢膜的細菌多為有害的細菌，如肺結核菌、肺炎球菌等。不具鞭毛的細菌，運動方式如布朗運動；具鞭毛的細菌則能在液體中作波動或泳動。鞭毛的數目及排列位置是分類上的特徵之一，菌體無鞭毛者稱為無鞭毛菌；菌體之一端具單一鞭毛者稱為單鞭毛菌；菌體之兩端各具單一鞭毛者稱為兩端單毛菌；菌體週邊具有鞭毛者稱為週毛菌。某些細菌在不良環境下，可形成芽胞(spore)。芽胞可讓細菌忍受低溫、高溫、乾燥及藥物等的危害，在適宜的環境下則可再發展成營養體。

藍綠藻細胞的構造與細菌細胞類似，均具有細胞壁、細胞膜及細胞質；細胞質中具有色素體及顆粒體，沒有細胞核及大型液泡；細胞

質分泌的膠質堆積在細胞外形成鞘，鞘的主要成分是果膠(pectin)。

植物細胞具有細胞壁、細胞膜及細胞質，細胞核具有核膜，核膜為雙層膜，核內含有核仁、染色體及核液等。細胞質內的顆粒體依形態及功能不同可分為無色體、葉綠體及雜色體。細胞質內常含有一個或多個液泡，液泡外層為單層膜，稱為液泡膜，液泡內含有水溶性色素；分生細胞內的液泡較小，成熟細胞的液泡則幾乎佔滿整個細胞。植物細胞內常含有貯存的養分及代謝廢物，常見的後生物質有澱粉粒、蛋白質、菊糖、單寧、黏液、結晶體等。

動物細胞通常比植物細胞小，但鳥類和爬蟲類的卵是我們肉眼所能見到的最大的細胞，神經細胞突起則可以長達3呎。植物細胞所具有的纖維質細胞壁，動物細胞則沒有細胞壁；綠色植物所具有的葉綠體也是動物細胞所缺乏的。通常植物細胞具有一個明顯的大型液泡，動物細胞的液泡則較小。變形蟲的細胞質內有食泡(food vacuole)，可以消化食物；兩端的伸縮泡(contractile vacuole)則可以調節細胞內的水分。動物細胞中尚有鞭毛、纖毛及中心粒等特殊構造，許多原生生物如草履蟲、眼蟲等運用纖毛或鞭毛運動；一般動物及多數低等植物的細胞內有兩個中心粒，高等植物則無。

三、細胞的生理

高中生命科學教材中，有關細胞生理部分包括細胞的化學組成、物質如何進出細胞及酵素的性質與活性等，茲就其相關內容分述如下。

(一)細胞的化學組成

1.元素

地球上的生物及無生物均由元素構成，構成地殼的主要元素為氧、矽、鋁、鈉、鈣、鐵、鎂及鉀等；構成生物體的主要元素則為氫、氧、碳及氮等。生物細胞中的氫元素約占59%，氧元素約占24%，碳元素約占11%，氮元素約占4%；其它元素如磷、鉀、硫、氯、鎂、鈣、鈉、鐵等則約合占2%。

化學元素在生物體內以化合物或離子的方式存在並扮演其在生物學上的角色，就個別元素而言，它們在生物體內的主要功能如表六。

表六、化學元素在生物體內的功能

名稱	生物體內的功能
鈣	骨骼和牙齒的組成成分；對肌肉收縮、神經傳導及血液凝固很重要；膜之構造及其通透性；植物細胞壁中膠層的組成成分
碳	有機分子的基本骨架
氯	組織液內的主要陰離子，對體液平衡、消化作用和磷酸化作用很重要
氟	牙齒法瑯質的生長
氫	水和有機分子的組成成分
碘	甲狀腺激素的組成成分
鐵	血紅素和肌蛋白的組成成分，電子傳遞(cytochrome, ferredoxin)、固氮酶等酵素的必要成分
鎂	葉綠素成分，許多重要酵素的輔助因子
錳	光合作用中氧氣的產生，某些酵素的輔助因子
氮	蛋白質、輔 和核酸的重要成分
氧	呼吸作用；水和有機分子的成分
磷	存在於骨骼、核酸、ATP、輔 及代謝受質等
鉀	細胞內的主要陽離子，對神經傳導及肌肉收縮很重要；活化醣解作用中的某些酵素
硒	許多酵素的效能
矽	矽藻及草類植物的成分
鈉	組織液內的主要陽離子，鹽的成分；對體液平衡及神經傳導很重要
硫	蛋白質的組成成分，蛋白質、醣類、脂質代謝之輔
鋅	某些酵素的重要成分（呼吸作用及氮素代謝中的脫氫酵素；carbonic anhydrase）

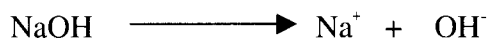
2. 無機物質

水是生物體內含量最多的化合物，水的含量因細胞種類、生物生存環境等而有所不同。人體通常含有 70% 的水，但骨骼的水含量只有 20%，而腦則有 80%；水生生物如水母、海蜇的水含量高達 95% 左右。水是生物生存不可或缺的物質，水生生物直接生活於含水的環境中，缺水則無法正常生存；陸生生物雖不直接浸潤於水中，但其體內的細胞仍須存在於水液環境中。

生物細胞中除了水外，有許多無機物質以鹽類、酸、鹼或氣體等型態存在於細胞水溶液中。在水中分解形成氫離子 (H^+) 的物質是為酸，例如：

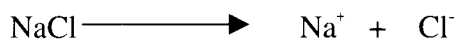


在水中解離為羥基離子 (OH^-) 者是為鹼，例如：



物質解離後形成陽離子與陰離子，但不產生氫離子或羥基離子者，則為鹽類。

例如：



氫離子及羥基離子在水溶液中的量決定該溶液的酸鹼度，酸鹼度以 pH 表示之。pH 值以溶液中氫離子濃度的負對數值表示，例如純水中每公升含有 0.0000001 (10^{-7}) 摩爾之氫離子及同量的羥基離子， 10^{-7} 的負對數為 7，所以純水的 pH 值為 7。pH 值越低，即氫離子濃度越高，溶液的酸性越強；pH 值越高，即氫離子濃度越低，溶液的鹼性越強。

細胞浸潤在組織液中，組織液是一個精細的液態系統，通常維持在中性附近，太酸或太鹼將促使細胞死亡。組織液能維持穩定的酸鹼度，全靠緩衝液的作用。磷酸及碳酸是細胞中重要的緩衝物質，胺基酸及蛋白質也是生物系統中的緩衝劑。

氧氣、氮氣及二氧化碳等以氣體形式存在空氣中，氧氣及二氧化

碳可微溶於水，因而可以經呼吸作用或光合作用進入細胞中。氧氣約占空氣總體積的 21%，可經呼吸運動或擴散作用進入生物體內。氧氣對多數細胞的新陳代謝作用非常重要，例如細胞呼吸作用時，葡萄糖和氧作用分解成二氧化碳和水，並釋放出能量，所釋放出的能量是細胞進行其它代謝作用的能量來源。空氣中的二氧化碳含量約占空氣總體積的 0.03%，可經綠色植物葉片的氣孔進入細胞內；進行光合作用時，二氧化碳和水合成葡萄糖並釋放出氧氣。

氮氣以兩個氮原子的形式(N_2)存在，是一種惰性氣體，雖然空氣中的氮氣含量高達 80%，但是除了固氮細菌(nitrogen-fixing bacteria)外，植物或動物無法直接應用空氣中的氮氣。存在土壤中的硝酸鹽(NO_3^-)或銨(NH_4^+)及存在於空氣中的氨(NH_3)是植物氮素的主要來源。

3. 有機化合物

含碳的化合物稱為有機化合物，植物細胞內的有機化合物大都是細胞用無機原料製成的，例如光合作用時用二氧化碳和水製成葡萄糖，二氧化碳和水是無機物，葡萄糖則是有機化合物。動物細胞內的有機化合物則可能由外界攝取或是在細胞內合成。細胞內的有機化合物以百分比比較時，蛋白質約佔 50%，核酸及醣類各佔 15%，脂質及其他有機化合物各佔 15%。細胞內的有機化合物分述如下：

1) 醣類—醣類是由碳、氫、氧結合形成的有機化合物，其分子式大都為 $(CH_2O)_x$ ，例如葡萄糖為 $C_6H_{12}O_6$ ，蔗糖為 $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，所以又稱為碳水化合物。醣類依照分子聯結情形又分為單醣、雙醣及多醣等三類。

單醣是小分子醣類，不會被稀酸或酵素水解而破壞。單醣可因所含的碳原子數量而區分為三碳醣、四碳醣、五碳醣、六碳醣及七碳醣等。六碳醣是最常見的單醣，例如葡萄糖、果糖、半乳糖等；核糖及去氧核糖含有五個碳原子，是組成核酸分子的成分。

兩分子的單醣結合後失去一分子的水即形成雙醣，例如兩分子的葡萄糖結合後失去一分子水形成麥芽糖，一分子葡萄糖和一分子果糖結合後失去一分子水形成蔗糖，一分子葡萄糖和一分子半乳糖結合後

失去一分子水形成乳糖。

多醣是在活細胞內由葡萄糖及其他單醣類結合形成，例如澱粉是由許多葡萄糖分子聚合形成的多醣類，澱粉不易溶於水，是細胞中貯藏能量的物質；纖維素是細胞壁的組成分子，也是構成本本植物的主要成分，它也是由葡萄糖聚合形成的多醣；肝醣又稱動物澱粉，也是由葡萄糖聚合形成的多醣，但是肝醣的葡萄糖鏈分支較多且較溶於水。人類及其他高等動物將肝醣儲藏在肝臟及肌肉中，當血液中缺少葡萄糖時，肝臟內的肝醣在酵素的作用調節下，轉變成葡萄糖。除了澱粉、纖維素及肝醣外，儲存在菊科植物根部的菊糖(inulin)，是由多分子果糖聚合形成的多醣；構成螃蟹、昆蟲及蝦類等外骨骼的幾丁質(chitin)，是由許多相同的葡萄糖衍生物質聚合形成的多醣。

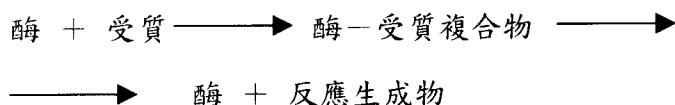
2) 脂質—脂質是生物體內重要的構造成分、儲藏物質及能量來源，常見的脂質包括中性脂肪(neutral fat)、磷脂質(phospholipid)及類固醇(steroid)等。中性脂肪是由碳、氫、氧組成的化合物，水解後產生一分子的甘油及三分子的脂肪酸。中性脂肪在細胞中以儲藏物質的方式存在，水解後可繼續被氧化形成水及二氧化碳，同時釋放出能量。脂肪氧化後產生兩倍於碳水化合物的能量，是動物細胞儲藏能量的重要物質。在磷脂質的構造中，一個分子的脂肪酸被磷酸根取代，磷酸根則可以再和其他化合物連接。卵磷脂和腦磷脂都是磷脂質，卵磷脂存在於腦、蛋黃、酵母及肝臟，腦磷脂則存在於神經組織及肌肉內。類固醇不含脂肪酸，具有一組四個環狀的碳骨架，細胞內主要的類固醇為膽固醇(cholesterol)。膽固醇是細胞膜、腦部絕緣物質及神經鞘的重要成分；膽固醇也是性激素、腎上腺皮質素及膽鹽的先驅物。

3) 蛋白質—蛋白質是細胞質中最重要有機化合物，由碳、氫、氧、氮、硫等元素所組成。蛋白質是高分子聚合物，水解後產生氨基酸(amino acid)。氨基酸是蛋白質的組成單元，常見的氨基酸約有 25 種。氨基酸含有一個氨基 (NH_2^+) 和一個羧基 (COOH^-)。一個氨基酸的氨基和另一個氨基酸的羧基以肽鍵結合成一個雙肽(dipeptide)，多個氨基酸以肽鍵結合形成多肽鏈(polypeptide chain)，多肽鏈聚合可組成一個蛋白質分子。蛋白質分子之大小、形狀，依氨基酸分子之多

寡、種類及結合方式而定。

蛋白質是細胞及組織的組成分子，也和細胞的分子動力學有密切的關係，細胞質流動即與蛋白質橫鏈之形成及破壞有關。毛髮及結締組織中含有大量的構造蛋白質，蛋白質也和氧氣的運輸及肌肉收縮有關；生物體中的抗體和許多激素也是蛋白質；蛋白質也可以在代謝過程中分解並產生能量。

酵素是生物體內的有機催化劑，本身不參加反應，但是可以降低化學反應所需的活化能，因而改變反應速率。酵素也稱為酶，通常含有一個蛋白質分子及一非蛋白部分，亦即酵素是由酶蛋白(apoenzyme)及輔酶(coenzyme)組成。酵素的作用具有專一性(specificity)，即酵素分子表面僅有一處或數處可以和特殊的受質(substrate)發生反應，酵素的作用如圖 1 所示，反應式可簡化如下：



酵素由蛋白質構成，所以具有蛋白質特性，因此，酵素的催化作用受溫度、pH 值及金屬離子等的影響。生物細胞的生理作用，如消化作用、呼吸作用、光合作用等反應均須酶的參與。

4) 核酸—核酸由碳、氫、氧、氮、磷等元素組成，和多醣類、蛋白質一樣，都是由單元結構聚合形成的有機物。核酸的構造單元是核苷酸(nucleotide)，而核苷酸則由氮基(nitrogen base)、五碳糖及磷酸組成。核酸中的五碳糖有兩類，即核糖和去氧核糖，所以核酸有核糖核酸(RNA)和去氧核糖核酸(DNA)兩類。氮基有嘧啶類和嘌呤類兩類，嘧啶類有胞嘧啶

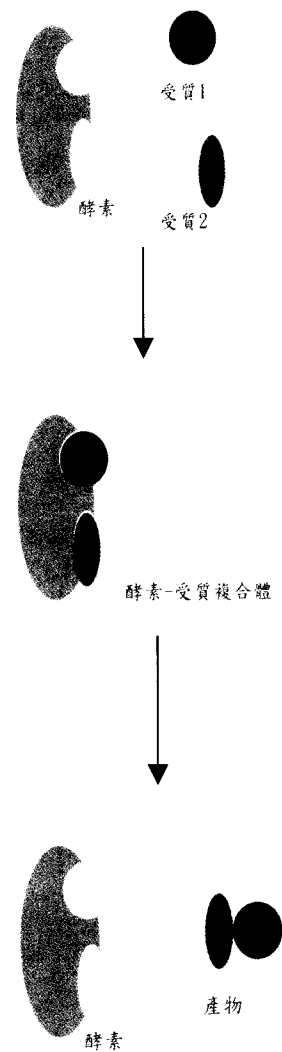
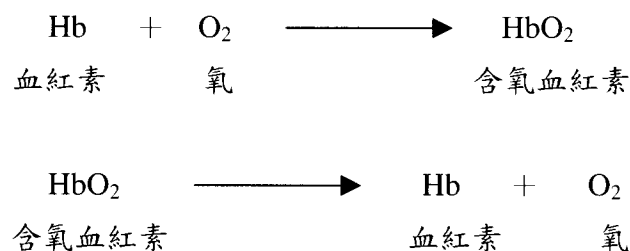


圖 1、酵素的作用原理

(cytosine, C)、胸腺嘧啶(thymine, T)和尿嘧啶(uracil, U)；嘌呤類則有腺嘌呤(adenine, A)和鳥糞嘌呤(guanine, G)兩種。一個氮基連接一個五碳糖及一個磷酸形成一個核苷酸，多個核苷酸形成一條多核苷酸鏈，即為核酸。DNA 的氮基為 ATCG，RNA 的氮基則為 AUCG。DNA 為大多數生物體的遺傳物質，RNA 則與蛋白質的合成有關。

5) 其他有機化合物—除了上述的有機化合物外，細胞內尚有許多種有機化合物對細胞的生理作用非常重要，例如細胞內色素、葉綠素、血紅素、激素及有機酸等。存在於植物細胞原生質液泡內的花青素，可使植物花瓣、果實呈現紅、藍等顏色。葉綠體中的主要色素有葉綠素 a、葉綠素 b、胡蘿蔔素和葉黃素等，葉綠素可以吸收光能進行光合作用，產生葡萄糖供自己或其他生物利用。植物色素(phytochrome)、生長調節素(growth regulator)微量存在於植物細胞中，但對於植物的開花或生長調節卻有顯著的影響。

存在於紅血球細胞內的血紅素，與葉綠素、維生素 B12 及細胞色素具有共同的卟啉環(porphyrin ring)構造。卟啉環中間的氮與一金屬連結，葉綠素的金屬是鎂，維生素 B12 是鈷，血紅素和細胞色素是鐵。血紅素(hemoglobin)是紅血球的主要成分，是一種含鐵的複合蛋白質化合物，分子式是 $C_{3032}H_{4816}O_{872}N_{780}S_8Fe_4$ ，和氧有極大的親和力，攜氧的能力大於血漿的 50 倍。呼吸運動時，氧擴散進入血液紅血球中，和血紅素結合形成含氧血紅素(oxyhemoglobin)。含氧血紅素是一種非常不穩定的化合物，當血液循環到其他組織時，就分解為血紅素和氧，氧即擴散到組織內，其反應式如下：



(二) 物質進出細胞的方式

表七、物質通過細胞膜的方式

方式	作用原理	能力來源	舉例
擴散	分子（或離子）從濃度高的地方移動到濃度低的地方	隨機的分子運動	氧在組織內的移動
透析	小的溶質分子通過選擇性通透膜	隨機的分子運動	腎臟透析
加速擴散	分子透過攜帶蛋白的作用由高濃度區加速移動到低濃度區	隨機的分子運動	葡萄糖移動到細胞內
滲透	水分子由高濃度區經過選擇性通透膜移動到低濃度區	隨機的分子運動	水分進入植物根部
主動運輸	細胞膜內的蛋白質運輸離子或分子通過細胞膜，移動方向可由低濃度區到高濃度區	需細胞能量	例如納幫浦，鈉離子由細胞內移動到細胞外（細胞內的鈉離子濃度較細胞外低）
吞噬作用	細胞膜包住顆粒，形成小泡，將其帶入細胞內	需細胞能量	白血球吞食細菌
胞飲作用	細胞膜包住液體小滴，形成小泡，將其帶入細胞內	需細胞能量	細胞攝取溶解在組織液中的溶質

1. 擴散作用(diffusion)

物質由濃度高的地方移動到濃度低的地方，稱為擴散。擴散作用是一種物理過程，是一種不經外力或能量參與的自然現象。物質以擴散作用進出細胞時，有些物質的擴散受細胞膜中蛋白質(carrier protein)的影響，稱為加速擴散(facilitated diffusion)，有些物質擴散進出細胞膜則不受蛋白質的影響，此種擴散作用屬於單純的擴散作用(simple diffusion)。

1) 單純的擴散作用—植物進行光合作用或生物體進行呼吸作用時，氧氣及二氧化碳進出細胞，均屬於單純的擴散作用。由於氧氣及二氧化碳不受細胞膜蛋白質的影響，所以細胞膜對於這些氣體沒有主動調控的能力，這兩種氣體的進出細胞膜完全取決於氣體的濃度差異。例如人體進行呼吸(breathing)時，空氣由鼻腔進入肺泡，肺泡內的氧擴散進入血管，血管內的二氧化碳則不斷地擴散進入肺泡，再呼出體外。細胞活動時，葡萄糖代謝必須消耗氧氣並產生二氧化碳，致使細胞內的氧氣濃度比微血管內的氧氣濃度低，二氧化碳的濃度則比微血管內的二氧化碳濃度高。因此，當血液流經肌肉或內臟組織的微血管時，血液所攜帶的氧氣即擴散進入細胞，二氧化碳則由細胞擴散進入血液中。

2) 加速擴散作用—加速擴散作用需要蛋白質的參與才能進行，細胞膜中參與擴散作用的蛋白質有兩類，即通道蛋白質(channel protein)及載體蛋白質(carrier protein)。通道蛋白質於細胞膜中形成物質進出的通道，此種通道管制物質進出有其專一性，即某一種通道僅允許某一種物質進出細胞膜。鉀、鈉離子進出細胞即由通道蛋白質管制。某些蛋白質可在細胞膜上形成載體，物質分子藉著載體的攜帶進出細胞。利用載體蛋白質管制物質進出細胞也有專一性，即某一種載體只能攜帶某一種特定物質進出細胞。

2. 透析(dialysis)

物質進出細胞可能是由膜孔大小決定，即大分子物質不能自由進出細胞，小於膜孔大小的物質則可以自由進出細胞。細胞膜容許某些物質進出，同時拒絕某些物質進出，此種性質的膜稱為差異性通透膜(differential permeable membrane)。溶質通過差異性通透膜的擴散作用，稱為透析。

賽樂芬(cellophane)是實驗室常用的一種透析管，可由孔隙大小控制物質的擴散作用。例如，在賽樂芬管內裝滿葡萄糖溶液，再將它放到盛有純水的玻璃杯內。由於葡萄糖和水均可擴散進出賽樂芬管，因此，最後管內外的糖濃度將會相等。利用透析純化蛋白質是生化分析

上常用的一種方法，由於蛋白質不能通過賽樂芬管，所以將純化前的蛋白質混合液置於透析管內後，小分子的溶質粒子會透過擴散作用移動到管外；蛋白質分子則仍留在管內。經過長時間的透析作用後，純化的蛋白質將留在管內。人體腎臟功能不正常時，無法排除血液中的廢物。利用體外透析可以將病人血液內的廢物透析到體外溶液中，這是透析在醫學上實際應用的例子。

3. 滲透(osmosis)

水分子可以自由通過差異性通透膜，水分子經過差異性通透膜由濃度較高的地方向濃度較低的地方移動，稱為滲透。當細胞浸潤在低張溶液(hypotonic solution，溶液的濃度比細胞的濃度低)中，則外面溶液中的水分子向細胞內滲透，而使細胞膨脹。例如將紅血球放在蒸餾水中，紅血球細胞會因吸水膨脹而破裂。將細胞放在高張溶液(hypertonic solution，溶液的濃度比細胞的濃度高)中，則細胞內的水向外面溶液滲透，細胞因缺水而發生原生質分離(plasmolysis)，細胞因此逐漸萎縮。將水蛭放在高濃度的鹽水中，水蛭細胞將因失水而死亡。

植物、藻類、細菌及黴菌等細胞具有細胞壁，在低張溶液中，細胞壁可以防止細胞破裂。水藉滲透作用進入細胞後，對細胞壁產生壓力，此種細胞內含物對細胞壁單位面積上所施之壓力稱為膨壓(turgor pressure)。植物生長的環境多數是低張溶液狀態，水分不斷地由外面滲透進入植物細胞內，使細胞成膨脹(turgid)狀態。膨壓是支持植物葉片及幼莖正常伸展的動力，植物在缺水狀態下，細胞無法維持正常的膨壓，將造成植物凋萎(wilt)。

4. 主動運輸(active transport)

擴散作用或滲透作用時，物質或水分子均依濃度梯度移動，即由濃度高的地方向濃度低的地方移動。但是，人體組織液內的鈉離子濃度是細胞內部的十倍以上，細胞內所含鉀離子的濃度是細胞外的 35 倍以上。單靠擴散作用或滲透作用，無法造成這種濃度差異。主動運輸或主動吸收則可以將物質分子由低濃度的地方運輸到高濃度的地

方；同時，主動運輸也可以將物質分子由高濃度的地方運輸到低濃度的地方。

類似加速擴散作用，主動運輸過程也需要蛋白質的攜帶作用；然而，主動運輸的載體蛋白質必須有能量的供應，才能攜帶物質分子進出細胞。當生物需要某類物質時，生物細胞會利用能量來激活載體蛋白質以攜帶物質分子。動物攝取食物經分解後所產生的葡萄糖或植物進行光合作用所產生的葡萄糖，經呼吸作用後可產生高能量的 ATP，呼吸作用所釋放的 ATP 是細胞主動運輸所需的能量來源。

5. 吞噬作用 (phagocytosis)

在許多原生動物 (protozoa) 及後生動物 (metazoa) 細胞中均具有吞噬作用。多數原生動物以吞噬作用作為細胞養分的來源；然而，後生動物的吞噬作用卻是自衛的一種方式，例如細菌、灰塵及某些有害的外來物等，均以吞噬作用來排除或消滅。例如人體白血球吞食細菌時，是利用吞噬作用的方式將細菌吞食並分解。

當變形蟲 (*Amoeba* sp.) 遇到食物顆粒時，細胞膜會彎曲形成皺摺將食物顆粒包圍起來，形成圓形小泡，小泡慢慢與原有的細胞膜分離，形成食泡 (food vacuole)，食泡含有細胞膜及食物顆粒。食泡的形成是外界物質進入變形蟲細胞內部的方法，這種過程稱為吞噬作用。

藉吞噬作用或胞飲作用進入細胞的物質會被溶素體內的水解酵素分解，分解的程度依外來物質的量及化學性質，以及溶素體酵素的活性及專一性而定。經分解後的物質分子則依種類分別進入細胞代謝徑路中。

6. 胞飲作用 (pinocytosis)

活細胞將液體物質以形成小泡的方式吸收進入細胞內的方法，稱為胞飲作用。細胞外的液體物質分子會被細胞邊緣所形成的皺摺包圍起來，突入細胞質形成小泡，小泡的內容物逐漸滲入細胞質內，小泡則慢慢變小並消失。

試驗中，如果將變形蟲放在高濃度的蛋白質溶液中，蛋白質可刺激變形蟲的胞飲作用。餵食期間，變形蟲可攝取其體積 1/3 量的蛋白

質。胞飲作用是蛋白質、氨基酸、核酸及其它可溶性物質滲入細胞的一種機制，作用過程中需要能量的參與，因此，在胞飲作用過程中，可發現大量粒線體排列在細胞膜突起的表面附近。

(三) 酵素生理

催化劑可以降低化學反應的活化能，因而加速反應的進行。酵素是生物體內化學反應的催化劑，雖然反應前後，酵素的構造、性質並未改變，但能降低反應的活化能而加速反應的進行。

1. 酵素的作用

酵素又稱為酶，酶再參與反應時，具有相當高的專一性，亦即一種酶只能參與一個或類似的幾個反應。換言之，一種酶只能與一種物質結合成暫時性的複合體，反應後再形成酶及產物。

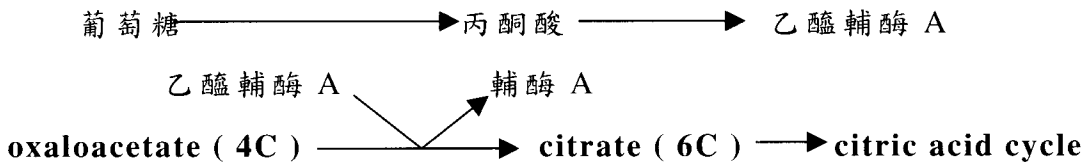
酶在作用上，可能只須酶本身參與即可發生催化作用，例如胃蛋白酶；也可能在作用上需要其他輔助因子(cofactor)的參與才能發生催化效果，例如澱粉酶需要 Cl^- 的參與，才能發揮活性。生物體所需的微量元素，通常是作為酵素作用的輔助因子。以微量金屬作為輔助因子的酶稱為金屬酶(表八)，這種酶所含的金屬可能本身原具有催化的功能，但與酶結合後，催化能力則更強。某些酵素以有機化合物作為輔助因子，這種有機輔助因子稱為輔酶。

表八、數種含金屬的金屬酶

金 屬 酶	金 屬
細胞色素(cytochrome)，過氧化酶(peroxidase)	鐵
酪胺酸酶(tyrosinase)，抗壞血酸氧化酶(ascorbic oxidase)	銅
胘肽酶(peptidase)，碳酸酐酶(carbonic anhydrase)	鋅
磷酸酶(phosphatase)，激酶(kinase)	鎂
激酶(kinase)，胘肽酶(peptidase)，精胺酸酶(arginase)	錳

生物體所需的維生素中，某些維生素即具有輔酶的作用。在細胞呼吸作用中，乙醯輔酶 A(acetyl coenzymeA 或 Aacetyl CoA)是檸檬酸循環(citric acid cycle)起始的重要分子，乙醯輔酶 A 含有一個雙碳分

子和一個巨大複雜的輔酶 A，此種輔酶含有泛酸(pantothenic acid)，是維生素 B 的一種。



2. 酵素作用的調節

細胞內的化學反應多數與酵素的參與有關，化學反應的速率除了受反應物及產物的濃度影響外，酵素活性的高低也影響生化反應的進行速率。酵素由蛋白質構成，所以酵素的活性與酵素的結構有關；亦即，影響蛋白質結構的因素也是影響酵素活性的因素。細胞內的溫度、pH 值及抑制劑等是影響酵素活性的主要因素。

1) 抑制劑—某些化學物質會抑制酵素的作用，這種抑制可能是可逆的或不可逆的抑制。在可逆的抑制部份，因抑制方式的不同，可分為競爭性的抑制及非競爭性的抑制兩種。競爭性的抑制作用是指抑制劑的構造與受質類似，因此會和受質競爭，與酶的活化位結合；抑制劑與酶結合只是暫時性影響受質與酶的結合，對酶並不會造成永久性傷害，因此這種抑制作用是可逆的。例如丙二酸是丁二酸去氫酶(succinate dehydrogenase)的抑制劑，因為它的構造與丁二酸類似，會相互競爭丁二酸去氫酶的活化位置。

非競爭性的抑制則是指抑制劑與酶活化位之外的部位結合，與受質沒有競爭性，但會改變酶的結構而降低活性。非競爭性的抑制作用不會因提高受質的濃度而逆轉。

不可逆的抑制是指抑制劑會和酶的功能基結合，使酶失去活性或被破壞，而這種改變或破壞是永久性的，沒有辦法再回復。許多毒性物質會與酶發生不可逆的抑制作用，例如氰化物對細胞色素氧化酶(cytochrome oxidase)的抑制作用，或是盤尼西林(penicillin)對細菌轉勝酶(transpeptidase)的抑制作用等。又如神經毒素雙異丙基氟化磷酸鹽(diisopropyl fluorophosphate)強烈地抑制乙醯膽胺酯解(acetylcholine esterase)的作用，該酶與神經功能密切相關。

2) 溫度—溫度影響化學反應的速率，酶所催化的反應也受溫度的影響。此外，高溫會使蛋白質的結構發生改變，因而使蛋白質變性 (denaturation)；酵素均由蛋白質構成，因此，高溫也會使酵素變性。通常在 45°C 以下時，溫度越高，酵素的反應速率越高；當溫度高於 55°C 時，多數的酵素活性均會被破壞。但是，某些蛋白質對溫度非常敏感，溫度稍高於 40°C 即會變性；而某些嗜熱性細菌在溫泉水高達 85°C 溫度下仍能存活。

3) pH 值—pH 值的變化會影響到蛋白質的胺基和羧基的離子性質，因此，酶所催化的化學反應也受 pH 值的影響。以 pH 值變化和反應速率變化所作的曲線圖如圖 2，圖中顯示反應速率有最適宜的 pH，亦即在某一 pH 範圍內，某種酵素的反應速率最高。由於 pH 值影響酶所催化的化學反應，因而維持細胞內穩定的酸鹼值，對細胞內的代謝反應非常重要。例如消化道中，唾液為微酸性，pH 值約為 6.7，胃液具強酸性，pH 值在 0.8 左右，與食物混合後，pH 值在 2.0 左右；小腸及胰液則在鹼性環境下 (表九)。胃蛋白酶作用的最適宜 pH 在 2.0 左右，在 pH 高於 6 以上時則失去其活性 (圖 3)；膽胺酯解酶 (cholinesterase) 的活性在 pH 4.0 到 8.0 之間連續升高，在 pH 7.0 以上是最適宜的酸鹼值；木瓜酶在 pH 4.0 到 9.0 之間均能維持穩定的活性，不受酸鹼變化的影響。

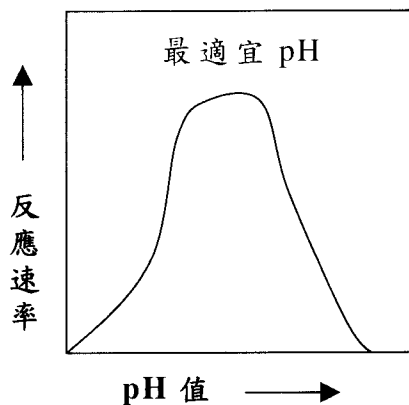


圖 2 酸鹼值對酵素催化反應的影響

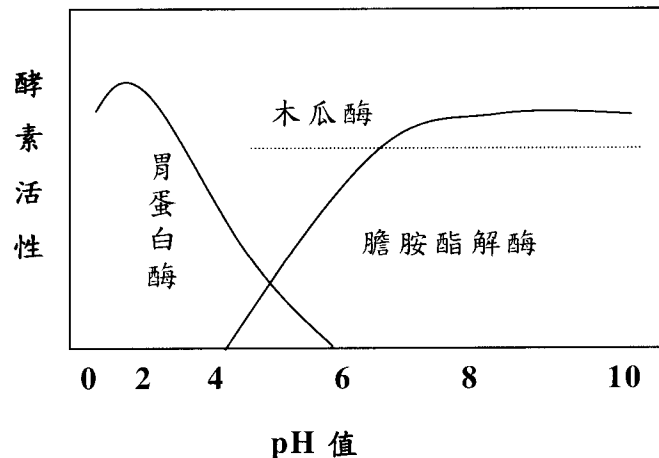


圖 3 不同酵素在不同酸鹼值下的活性不同

表九、幾種重要的消化酵素最適宜的酸鹼值

酵 素	最適宜 pH 值
唾液澱粉酶(amylase)	微酸性
胃蛋白酶(pepsin)	酸性
胃凝乳酶(rennin)	酸性
胰蛋白酶(trypsin)	鹼性
胰凝乳蛋白酶(chymotrypsin)	鹼性
胰脂肪酶(lipase)	鹼性
胰澱粉酶(amylase)	鹼性
小腸羧基酶(carboxypeptidase)	鹼性
小腸胺基酶(aminopeptidase)	鹼性
腸激酶(enterokinase)	鹼性
小腸麥芽糖酶(maltase)	鹼性

(參) 生命科學細胞學教學網路資源

高級中學生命科學課程標準自民國 85 年公佈實施後，教材由民間編輯，與往年不同的是教學用的教科書不再是國立編譯館編審發行的唯一版本，教師在選擇教科書上，有更多的彈性及自主空間。然而，多樣化的教科書將使教師在教學上無法達到齊一的教學水準，為了提升教學效果，教師勢必無法以唯一的教科書為唯一的教材。由多樣性的教科書中選擇適合的教材及廣泛收集並應用豐富的教學資源，將是高中生命科學教師在教學上亟需改進的地方。

傳播媒體日漸普及，可用的教學資源也日益多樣化。網路科技普及，在教學的應用上也將益形重要。尤其，網路資源增長快速，搜尋工具檢索功能不僅益加增強而且在使用上也更加便利（卜小蝶，民 85）。因此，現在的中學教師勢將面臨這些新資訊的強烈衝擊，教師必須能善加利用源源不絕的網路資源，不再執著於往日的教科書教學或僅能應用圖書館有限的館藏，才能超越這一波網路科技的衝擊（梁少鳳，民 87）。

(一) <http://www.educities.edu.tw/>亞卓市教學資源

亞卓市網站成立的宗旨誠如中央研究院院長李遠哲在全民學校開課致詞上所揭櫫的「-----如果大家都認同終身學習的觀念，那我們也應該有終身教導的觀念，這兩者是相輔相成的-----我們自小期許自己是一位好學生，你也可以期許自己是一位網路上好的教導者-----」（李遠哲，民 89）。換言之，發展終身學習理念，使社會上每一個想學習的人都可以在網路上獲得學習的機會；此外，提供網路空間，使學有專精的學校或社會人士都可以在網路上成為教學者，這是亞卓市網站上全民學校成立及所呈現的型態。在亞卓市網站內的全民學校中，共計有 301 門不同課程，分屬於 50 個分站，內容非常豐富且多樣化，是全民進修或教師獲取教學資源的優良網站。

由亞卓市網站「全民學校」選單進入後，點選「課程選單」，再由「2000 年課程分類表」選取「生物」，生物相關的課程共有 14 門，計有生物、高中生物補給站、藥物學應試技巧磨練、國中生物教室、奇妙的昆蟲、鯨豚探索、生物放課後、大家一起來收服神奇寶貝吧、生命科學的奧秘—漫談細胞與基因、國中生物教室、臺灣東部地區鯨豚與鳥類之保育、黑面琵鷺、DNA 的奧秘、6500 萬年前的奇蹟等。

「生命科學的奧秘—漫談細胞與基因」是由葛茂豐老師提供，課程的目的「在於提供學員基本的生命科學知識，藉著由簡入深的課程安排，把生活中可能會遇到有關細胞與基因研究方面的問題，依序以專題的方式一一呈現」（葛茂豐，民 89）。內容專題分為八個單元，即（1）虎克的軟木塞—漫談細胞，（2）細胞的一生—細胞週期與細胞分裂，（3）種瓜得瓜、種豆得豆—遺傳學概念，（4）DNA 的語言—分子遺傳概念，（5）免於一死—基礎免疫學，（6）身體內的螃蟹—淺談癌症，（7）操控生命—分子生物科技，（8）大未來—生物科技的前景等八個單元。由這八個單元主題來看，本課程較著重於細胞學、遺傳學及分子生物學領域，因此，在本課程內容中可發現許多資料均可提供高中生命科學細胞學教材教學之參考。

以「細胞的一生—細胞週期與細胞分裂」這個主題來看，講義中

所提供的主題含前言、原核細胞分裂、真核細胞分裂、真核細胞週期、有絲分裂、減數分裂等五項，這些主題均與高中生命科學細胞學教材有關，講義內容圖文並茂，除文字敘述外，也附加清晰的繪圖加註解說，對高中教師教學及學生學習都會有所幫助。

(二) <http://campus.hfjh.tp.edu.tw/bio/> 國中生物網路自我學習網站

「國中生物網路自我學習網站」是由廖玉圓老師指導設置的校園學習網站，是臺北市興福國民中學「興福校園網」的分站，網站主題包括(1)各章節學習單，內含各章節重點整理及線上單元測驗；(2)深入探討，內容為流行疾病介紹，如狂犬病、感冒、登革熱、腸病毒等；(3)生物學家簡介，目前僅收錄林奈及虎克兩位生物學家的介紹；(4)歷屆段考試題等。

本站設立的宗旨在於提供學生自我學習的園地，在首頁「生物新聞報馬仔」中提供生物科技介紹，內容豐富，對學生吸收新知有非常大的幫助。

(三) http://www.bio.ncue.edu.tw/biology_f.htm 國立彰化師範大學生物學系普通生物學網站

本站是彰化師大生物系於八十五學年度一年級普通生物學課程教授講授及學生口頭報告內容所完成的「普通生物學筆記」，使用之教科書為 Campbell N.A.(1996) Biology (4th ed.) .The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc., C.A. U.S.A.。內容分普通生物學筆記(上)及普通生物學筆記(下)兩部份，普通生物學筆記(上)記錄第一至第二十三章教學重點，普通生物學筆記(下)則介紹第二十四章至第五十章教學重點。網站內容屬於學生筆記型態，所以內容為綱要及條列式說明。

(四) <http://140.122.143.143/NSC/bionetwork/> 生物科資源網站

生物科資源網站是由國立臺灣師範大學生物學系及國立羅東高中

合作製作的教學資源網站，教材資料內含一般、進階及生活三部份，在一般教材「第一章 生命世界中的交互作用」「第二節 構成生物體的物質」中條列式介紹生物體內的物質，如水、醣類、蛋白質、脂質和核酸等，是與高中生命科學細胞學教學相關的課題。

(五) <http://www.ntjh.kh.edu.tw/b/b7> 楠梓國中國中生物科
教材資源網站

這是高雄市楠梓國中網頁上的一個生物教材資源網站，這個網站從國中生物上、下冊的教材中，挑出曾提及的生物學家，希望透過簡單的介紹，可以讓學生或使用者的了解，一位偉大的生物學者背面的一些故事。所介紹的生物科學家包括虎克、孟德爾、達爾文、林奈、莫根等。

(六) <http://ind.ntou.edu.tw/~wsy/ckshbc.htm> 成功高中生物
社

本站由成功高中生物社所架設，網站內容仍延續成功高中以往的傳統，即較專長於昆蟲學的研究，所以網站內容以昆蟲的報導為主，主要的內容包括生研寒訓、昆蟲館簡介、生物參考資料、自然觀察路線等。「生物參考資料」中介紹昆蟲的採集與標本製作、烏來兩棲爬蟲類名錄、透明魚骨骼標本製作、巴拉卡春假行等。

(七) <http://ind.ntou.edu.tw/~b0232> 陳衍昌藻類網址

這是國立海洋大學陳衍昌教授自己所架設的網站，主要內容為藻類的研究，如藻類生物技術、微細藻養殖學講義、藻類的微小體、藻類原生質體等。

肆、結論

細胞是構成生物體的基本單位，也是執行細胞生理、代謝、遺傳的場所，因此，想要充分瞭解生命現象的奧秘，則必須先瞭解細胞學的內容。

目前高中生命科學課程內容，與細胞學相關的教材均分布在第壹章。第壹章「細胞和生物體」，共分四節及一個探討活動。主要內容在說明細胞的基本構造及生理功能，並由細胞發展出個體組成的不同層次。細胞的構造在敘述細胞胞器、原核與真核細胞的構造；細胞的生理則敘述細胞的化學組成、擴散、滲透、膨壓、酵素的性質和活性，影響酵素活動的因素等。高中生命科學有關細胞學的教學內容已較國中階段深入，部分細胞胞器的微細構造已非僅靠光學顯微鏡可以觀察，而必須藉助於電子顯微鏡的觀察。細胞生理部分也較具體地說明膨壓、滲透作用等現象。當然，與大學細胞學比較時，高中生命科學所涉及的細胞學內容仍相當有限。

高級中學生命科學課程標準自民國 85 年公佈實施後，教師在選擇教科書上，有更多的彈性及自主空間。然而，教師在教學上，必須比以往更積極地去收集及應用豐富的教學資源，才能發揮教學成效。網路科技普及後，網路資源增長快速，在教學的應用上也將益形重要，如何善用網路資源，勢必成為影響教學效果的重要因素。

伍、參考文獻

- Beckett, B. S. 1990. *Biology, A Modern Introduction*(GCSE Edition). Oxford University Press, U.S.A..
- Brum, G. D. and L. K. McKane. 1989. Cell structures and functions. In "Biology: Exploring Life"(Brum and McKane Eds.). pp.74-97. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.
- In "Curriculum and Instruction", pp.166-198. MacMillan Pub. Ltd., Hong Kong。
- Kwan, L. P. and B. A. Martin. 1989. *Comprehensive Biology, A Course for "O" Level*. Federal Publications, Singapore.
- Mackean, D. G. 1988. *GCSE Biology*. John Murray Pub., Ltd., London.
- Weier, T.E. , C. R. Stocking, M. G. Barbour and T. L. Rost. 1982. The metabolic plant cell. In "Botany, An Introduction to Plant Biology"(Weier, Stocking, Barbour and Rost Eds., 6th ed.).臺北：歐亞書局。
- 卜小蝶 (民 85)：網際網路的資源發掘與搜尋。國立成功大學圖書館通訊，第二十三期，7 - 14 頁。
- 戶田盛和等(民 81)：中學校理科(2 分野上)。日本東京：大日本圖書株式會社。
- 王文科 (民 79)：內容分析研究法。教育研究法，第 12 章，411 - 434 頁。臺北：五南圖書。
- 史金濤、廖達珊及許正瑛 (民 86)：大陸高中生物科教育政策與教育內容之研究。教育研究資訊，5(1)：97-116。
- 自然科學聯編組(民 78)：自然科學概論。臺北：新學識文教出版中心。
- 李遠哲 (民 89)：亞卓市全民學校致詞稿。
<http://www.educities.edu.tw/EduClasses/lireport.shtml>
- 林良平等 (民 73)：細胞分子生物學。(E.De Roberti and E.M De Robertis,Jr 原著：Cell and Molecular Biology.)。台北：茂昌圖書

公司。

容軒，民 79：生物學圖解。臺北：臺灣珠海出版有限公司。

徐行(民 77)：自然科學概要。北京：宇航出版社。

教育部(民 87)：國民教育階段課程總綱綱要。臺北：康軒文教事業。

教育部高級中學課程標準編輯審查小組(民 85)：高級中學課程標準。臺北：教育部。

梁少鳳(民 87)：高中圖書館網路資源利用—以北一女中為例。臺北市立圖書館館訊，第十五卷第四期，78-89 頁。

許元昱等譯(民 78)：Villey 生物學(上、下冊)。臺北：合記圖書出版社。

楊啟祥(民 64)：生物化學精要(E.Conn and P.K.Stumpf 原著)。臺北：正文書局。

楊榮祥(民 78)：近二十年我國國民中學自然科學課程之發展。教育資料集刊第十四集，135-156 頁。

葛茂豐(民 89)：生命科學的奧秘—漫談細胞與基因。

<http://residence.educities.edu.tw/mendel/>

廖玉圓(民 89)：國中生物網路自我學習網站

(<http://campus.hfjh.tp.edu.tw/bio/>)

潘永祥等(民 79)：自然科學概論。臺北：五南圖書出版社。

譚天錫、郝道猛、林瑞萍、王振添、曾萬年及鍾虎雲(民 67)：普通動物學。臺北：環球書社。