

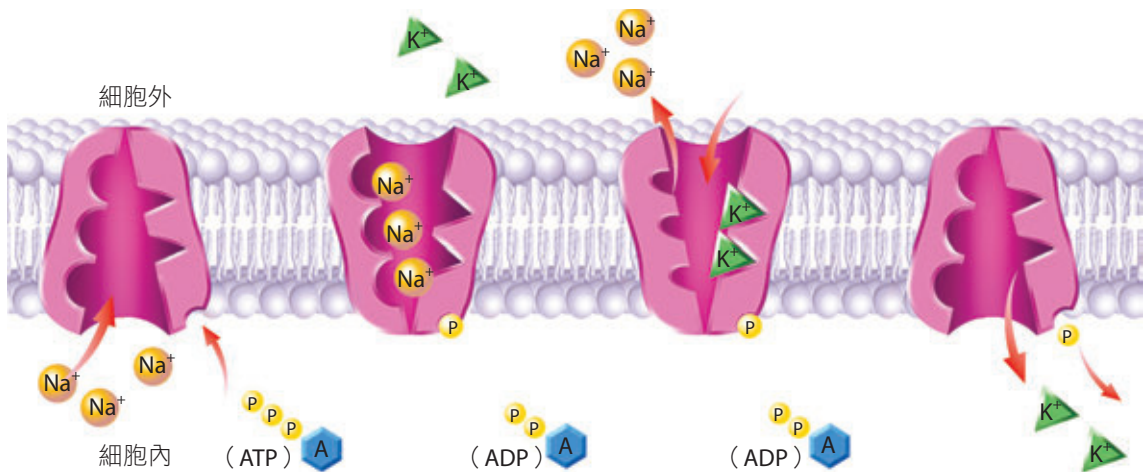
主動運輸

細胞藉細胞膜上的載體蛋白，以消耗能量的運輸，將物質逆著溶質的濃度梯度運送，可由低濃度往高濃度運送，稱為**主動運輸**，例如：植物根部從土壤中吸取無機鹽離子。

主動運輸是用來維持細胞內、外小分子濃度差異的要素之一，例如：動物細胞內的鈉離子濃度都比細胞外低，而鉀離子濃度都比細胞外高，因為細胞膜上有鈉鉀幫浦，可分解ATP釋放能量，不斷地把鈉離子排出，並把鉀離子移進細胞，以維持細胞內、外離子濃度的差異（圖1-33）。

胞吞作用

細胞膜上的運輸蛋白無法運輸蛋白質、多醣類等較大的分子。這些大分子物質進出細胞必須耗能且依賴細胞的胞吞作用或胞吐作用。



- 1 鈉鉀幫浦與ATP及鈉離子結合。藉由ATP水解成ADP，使得鈉鉀幫浦（蛋白質）被磷酸化
- 2 磷酸化導致蛋白質的構形發生變化
- 3 此一構形將鈉離子送至細胞外，並讓細胞外的鉀離子能夠與運輸蛋白結合
- 4 鉀離子的結合促使磷酸基被釋出，構形恢復原狀，運送鉀離子進入細胞內

◀ 圖1-33 鈉鉀幫浦示意圖，進行Na⁺和K⁺的主動運輸

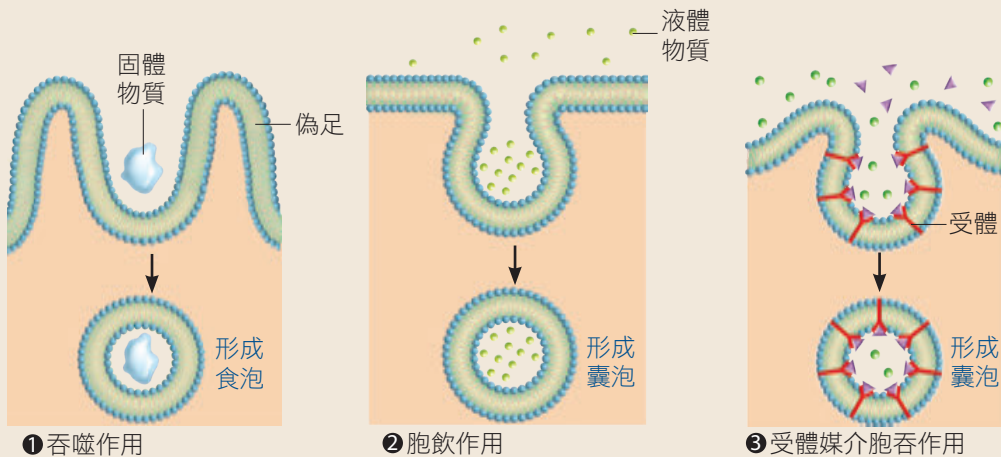
胞吞作用分為三種，簡述如下：

- (1) **吞噬作用**是指細胞吞噬固體或顆粒狀的物質時，細胞膜向外突出伸出偽足，將物質包裹起來，形成食泡進入細胞。此食泡在與含多種水解酶的溶體結合後，其內的物質會被消化掉（圖1-34A①），如白血球吞噬病菌、變形蟲吞噬食物。
- (2) **胞飲作用**是指細胞攝取液體物質時，細胞膜向內凹陷形成囊泡，將這些物質包裹起來送入細胞內（圖1-34A②），如腸壁細胞攝入養分。
- (3) **受體媒介胞吞作用**具有高度的專一性，其細胞膜表面具特殊受體，會與特定的分子結合，然後內陷形成囊泡，將這些分子攝入細胞內（圖1-34A③），如血管管壁細胞攝入血液中的脂蛋白。

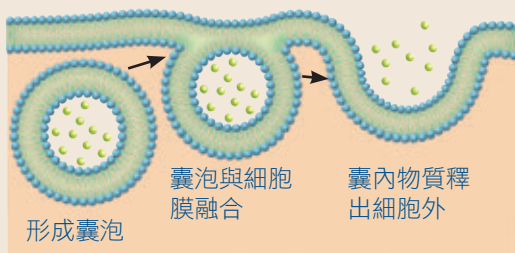
胞吐作用

高基氏體將大分子物質包在囊泡中，囊泡逐漸外移並與細胞膜融合，囊泡內物質因而釋出細胞外，這個過程稱為胞吐作用（圖1-34B），如胰島細胞分泌胰島素。

(A)胞吞作用



(B)胞吐作用



➤ 圖1-34 大分子物質進出細胞膜的方法：胞吞作用與胞吐作用

2-2 細胞呼吸

生物體均須藉細胞呼吸以分解葡萄糖，釋出能量以供應個體的生存、生長和生殖所需。依氧是否存在，細胞呼吸可分為有 O_2 參與的有氧呼吸，以及不需要 O_2 參與的無氧呼吸和發酵作用。

2-2.1 有氧呼吸

細胞分解葡萄糖產生能量的過程中，有氧的參與則稱為有氧呼吸，最後可產生 CO_2 和 H_2O 。其總反應式如下：



有氧呼吸的反應，依序可分為在細胞質進行的糖解作用，及在粒線體進行的**檸檬酸循環**和**電子傳遞鏈**，說明如下（圖2-8）。

1 糖解作用

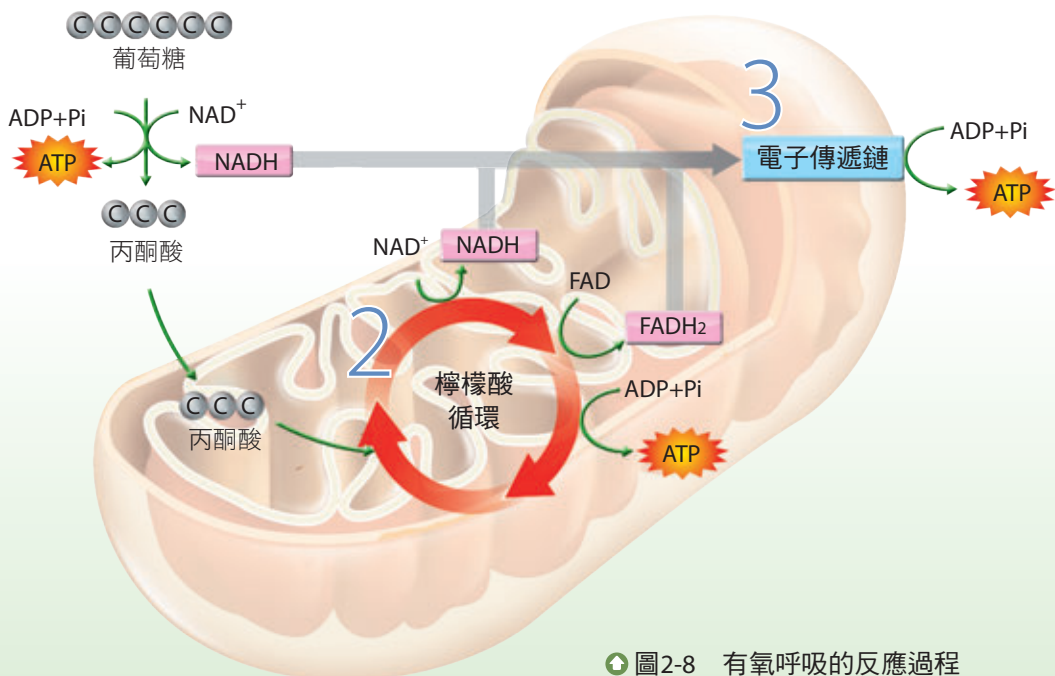


圖2-8 有氧呼吸的反應過程

- (1)糖解作用：在細胞質中，葡萄糖分子經酵素催化而分解產生三碳的**丙酮酸**，並形成ATP和還原態輔酶NADH的過程，稱為糖解作用。此過程不需要 O_2 直接參與。
- (2)檸檬酸循環：當細胞有足夠的 O_2 ，糖解作用產生的丙酮酸會進入粒線體，與基質中輔酶A反應產生雙碳的**乙醯輔酶A**、NADH和 CO_2 。乙醯輔酶A接著與基質中的四碳化合物反應，形成六碳的檸檬酸，經一系列的酵素催化，產生了NADH、 CO_2 、ATP、 $FADH_2$ 和四碳化合物，此反應稱為檸檬酸循環（圖2-9）。檸檬酸循環由英國生物學家克瑞布斯（Hans Adolf Krebs, 1900~1981）（圖2-10）於1937年所發現，並於1953年獲頒諾貝爾生理醫學獎，因此檸檬酸循環亦稱**克氏循環**。

科學探索

受質層次磷酸化

糖解作用產生的ATP是由葡萄糖分解產生的磷酸烯醇丙酮酸（PEP），在酵素的催化下，將其磷酸根（Pi）轉移給ADP而形成的，這種合成ATP的方式稱為受質層次磷酸化。



圖2-10 克瑞布斯

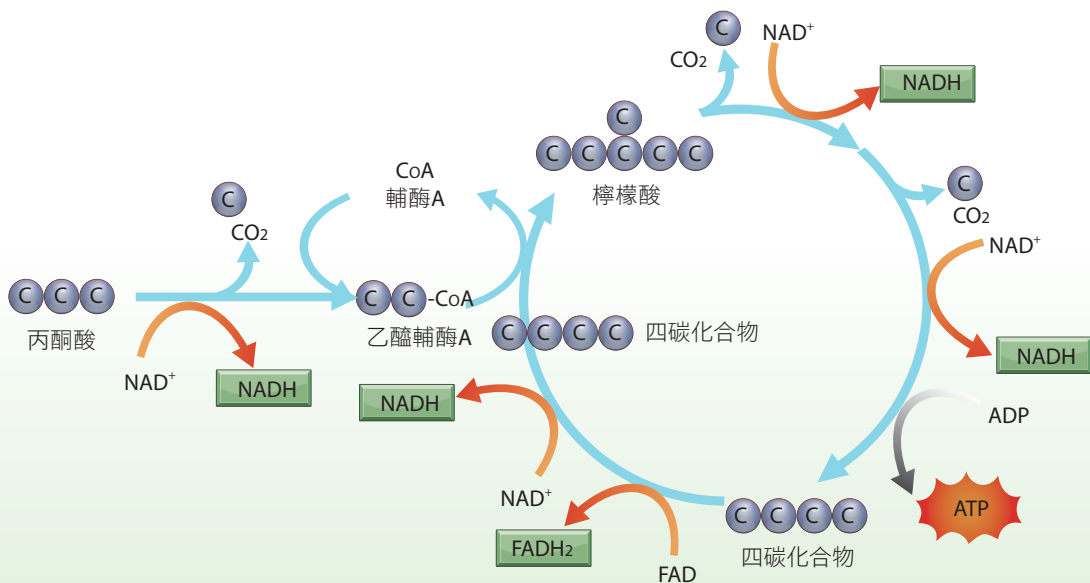


圖2-9 乙醯輔酶A的形成與檸檬酸循環

觀念加碼

電子攜帶者與輔酶

細胞內的 NAD^+ 和 FAD 為氧化態，可以接受 H^+ 和電子成為還原態，是氧化還原反應的電子攜帶者和協助酵素催化反應的輔酶，可重複周轉利用。當氧化態輔酶： NAD^+ 和 FAD 接受 H^+ 和電子後，即成為還原態輔酶： NADH 和 FADH_2 ；還原態輔酶失去 H^+ 和電子後，又氧化為氧化態輔酶。

(3)電子傳遞鏈：糖解作用產生的 NADH 與檸檬酸循環過程中產生的 NADH 、 FADH_2 會進入位於粒線體內膜上的電子傳遞鏈而釋出高能電子，這些電子經過電子傳遞鏈，最後由 O_2 接受，並與 H^+ 結合產生 H_2O （圖2-11）。在粒線體內膜上的運輸蛋白可利用電子傳遞過程中釋出的能量，將 H^+ 主動運輸到膜間腔聚集，造成膜間腔與基質之間的 H^+ 濃度梯度。當 H^+ 由膜間腔向基質移動時，會活化 ATP 合成酶而合成 ATP 。

有氧呼吸的全部反應，糖解作用與檸檬酸循環的階段都只有產生少量的 ATP ，大部分的 ATP 是在電子傳遞鏈的階段合成。倘若細胞缺氧，電子的傳遞便會減緩，甚至停頓，連帶影響檸檬酸循環的進行，產生較少的 ATP 。

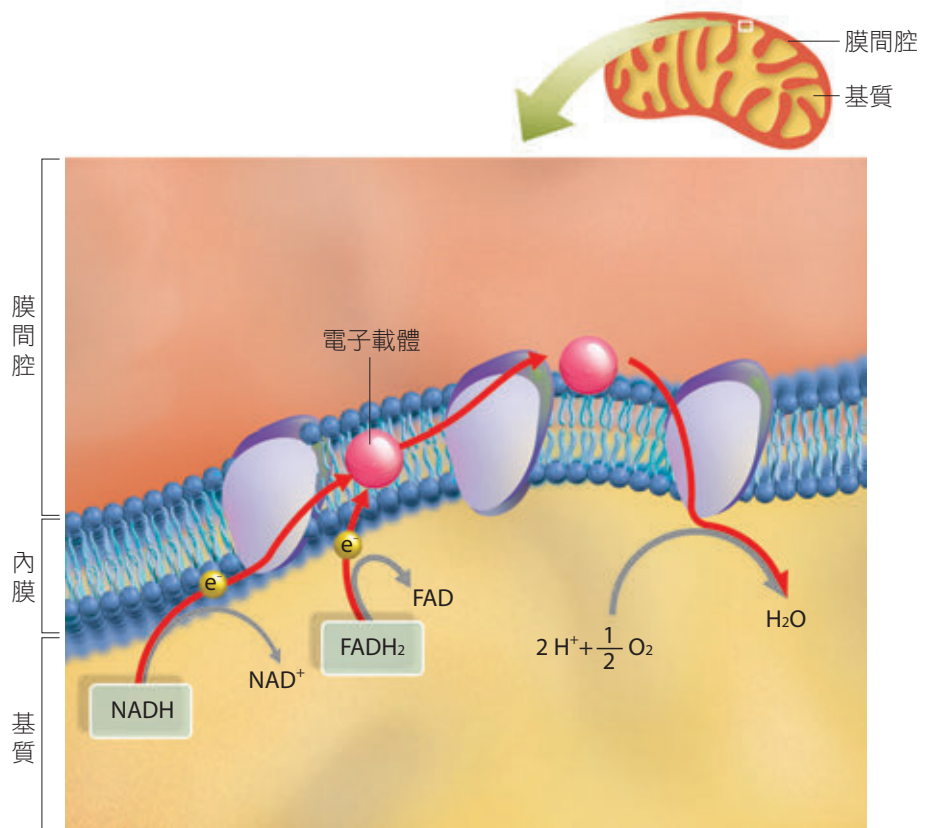
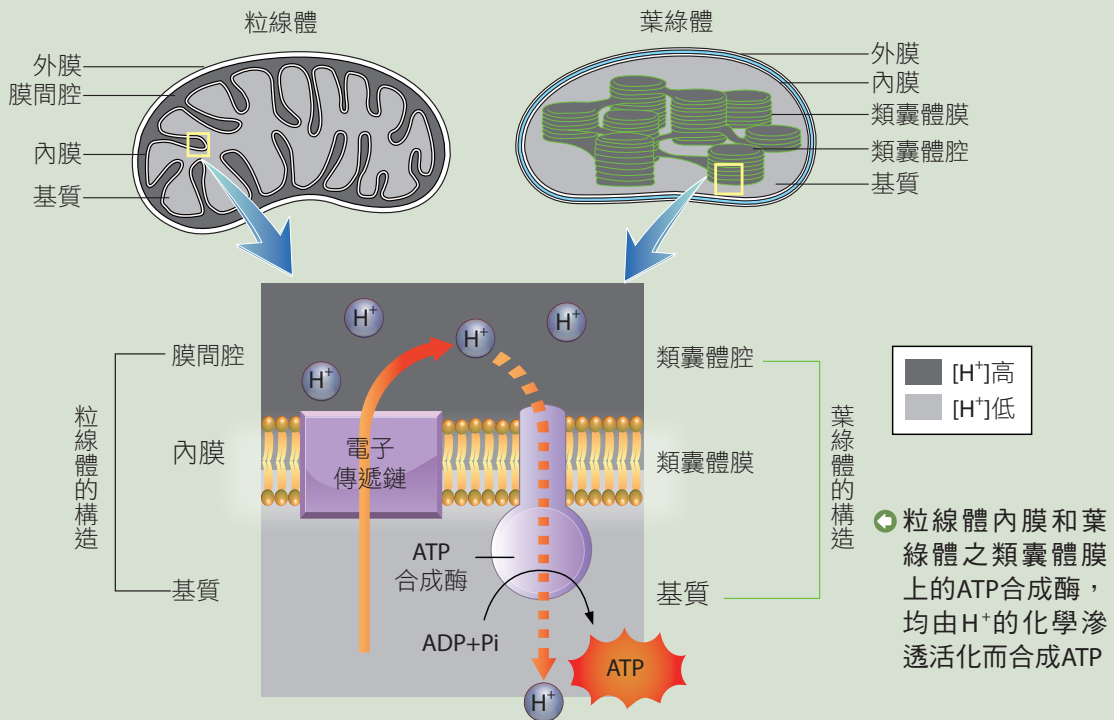


圖2-11 電子傳遞鏈示意圖

科學探索

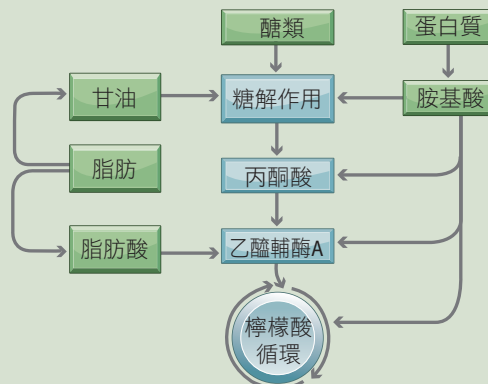
化學滲透作用

為什麼電子經過電子傳遞鏈的傳遞，就可以合成ATP呢？1961年，英國生物化學家米契爾（Peter Mitchell, 1920~1992）提出「化學滲透假說」來解釋經由電子傳遞鏈形成ATP的機制。他認為電子傳遞鏈像一個抽取 H^+ 的幫浦，當電子經由粒線體內膜的電子傳遞鏈傳遞時，會將 H^+ 由基質抽到膜間腔中，使膜間腔的 H^+ 濃度升高，而造成內膜兩側產生氫離子濃度梯度。於是，膜間腔的 H^+ 便順著濃度梯度經由ATP合成酶的 H^+ 通道擴散到基質中，同時釋出能量驅動ADP和Pi合成ATP。米契爾的化學滲透理論為他贏得1978年的諾貝爾化學獎。



有氧呼吸

細胞除了利用葡萄糖進行有氧呼吸產生能量之外，其他有機小分子，如脂肪酸、甘油和胺基酸等，也可以經由不同的代謝路徑參與有氧呼吸產生能量。



2-1 光合作用

1. 生物體需要能量維持代謝、生長、感應、運動和生殖等生命現象。絕大部分的細胞以ATP為直接提供維持生命現象所需的能量。
2. 利用光能或化學能將無機物轉變為有機物的生物，稱為自營生物，是生態系中的生產者；反之，則為異營生物。
3. 光合作用的主要目的在於捕捉太陽光能，轉換為蘊藏於有機物的化學能。
4. 光反應與碳反應

	光反應	碳反應
反應條件	一定要有光才能進行	使用光反應提供的ATP和NADPH進行
反應位置	葉綠體的類囊體	葉綠體的基質
反應物	H ₂ O、ADP、NADP ⁺	CO ₂ 、ATP、NADPH
生成物	O ₂ 、ATP、NADPH	C ₆ H ₁₂ O ₆ 、H ₂ O、ADP、NADP ⁺
能量轉換	太陽能→化學能	化學能→化學能

5. 類囊體的膜上含有類胡蘿蔔素（如葉黃素、胡蘿蔔素）和葉綠素（如葉綠素a、b）等光合色素。
6. 類囊體膜上的光合色素與蛋白質組成PSI和PSII。PSI的反應中心為P700；PSII的反應中心為P680。
7. 卡爾文循環

CO ₂ 的固定	CO ₂ 先與五碳醣結合，形成三碳的有機酸
三碳醣的生成	利用來自光反應的ATP和NADPH提供能量，將三碳的有機酸還原為三碳醣
五碳醣的再生	利用ATP提供的能量，將大部分的三碳醣再轉變為五碳醣，五碳醣可繼續固定CO ₂

8. 固定CO₂的途徑

	C ₃ 循環	C ₄ 循環	CAM
CO ₂ 固定方式	直接進行碳反應	在葉肉細胞內固定成四碳的有機酸	夜間在葉肉細胞內固定成四碳的有機酸，貯存在液泡中
碳反應位置	葉肉細胞	維管束鞘細胞	白天在葉肉細胞進行
環境	一般	乾旱	乾燥炎熱
代表植物	水稻、小麥	玉米、甘蔗	仙人掌、鳳梨

2-2 細胞呼吸

1. 生物須藉細胞呼吸分解葡萄糖，以釋放能量形成ATP。
2. 依氧是否存在，細胞呼吸可分為有O₂參與的有氧呼吸，以及不需要O₂參與的無氧呼吸和發酵作用。
3. 有氧呼吸的反應過程，依序可分為糖解作用、檸檬酸循環和電子傳遞鏈三部分。

	反應場所	反應說明	O ₂ 參與	ATP合成量
糖解作用	細胞質	葡萄糖產生三碳的丙酮酸，並形成ATP和NADH	否	少
檸檬酸循環	粒線體基質	(1) 乙醯輔酶A與粒線體基質中的四碳化合物結合，形成六碳的檸檬酸，經一系列的酵素催化，產生了NADH、CO ₂ 、ATP、FADH ₂ 和四碳化合物 (2) 也稱為克氏循環	否	少
電子傳遞鏈	粒線體內膜	(1) NADH和FADH ₂ 進入位於粒線體內膜上的電子傳遞鏈而釋出高能電子 (2) 電子傳遞鏈所傳送的電子最後由O ₂ 接受，與H ⁺ 結合產生H ₂ O，且合成ATP	是	多