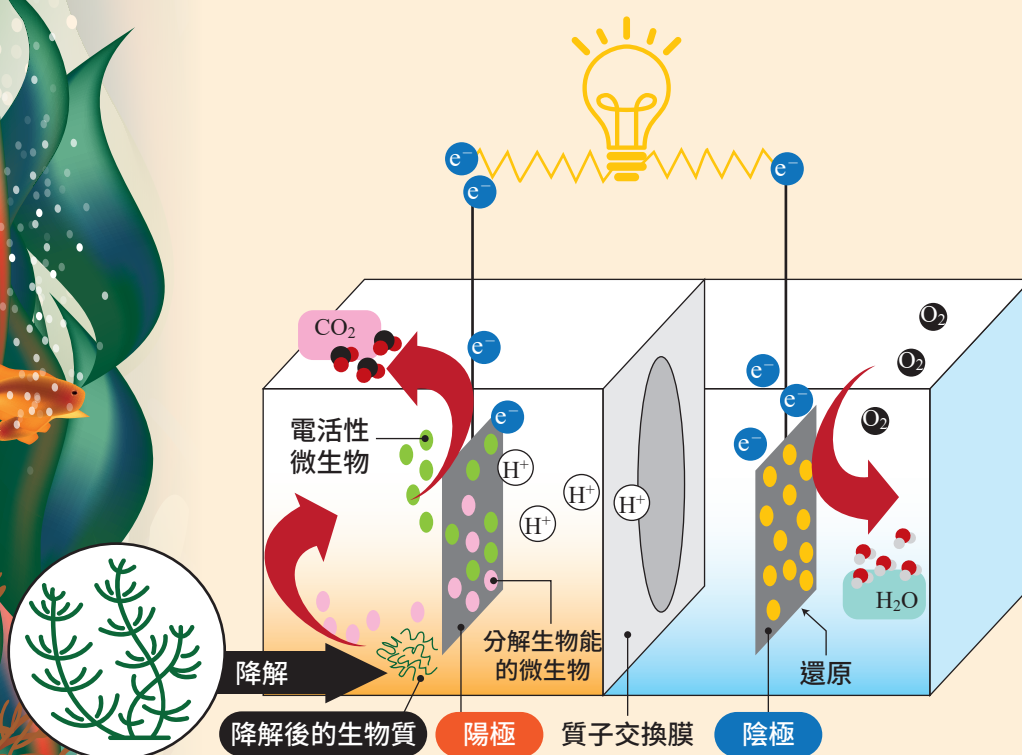


微生物燃料電池

生物的發酵作用、有氧呼吸等過程會釋出電子與氫離子，進而促使生物體內 ATP 的產生。

電池利用化學反應產生電能。1911 年，英國植物學家發現大腸桿菌可將有機物中的化學能轉化為電能。他以鉑做為電極，利用大腸桿菌和酵母菌的培養液，製作了世界第一個細菌電池。



Chapter/
2**細胞的
代謝與能量**

本章學習重點

2-1 生物中的化學反應酵素與代謝作用 | 酵素與輔因子
影響酵素作用的因素**2-2 能量流轉與生命維持的關係****2-3 呼吸作用**

有氧呼吸 | 無氧呼吸 | 發酵作用

此種利用微生物的代謝將生質能源（有機化合物）的化學能直接轉化為電能的電池稱為微生物燃料電池，它可以通過微生物的代謝途徑分解有機物，將微生物釋放的電子通過外部電路轉移到陰極，並產生電傳遞到陽極電極上，進而產生電流，未來可開發為方便可廣泛應用又乾淨的能源。

? 問題思考

1. 微生物進行有氧呼吸，要放在電池的哪一極，才能將化學能轉換成電池的電能？
2. 承上題，其原因為何？



| 2-1 |

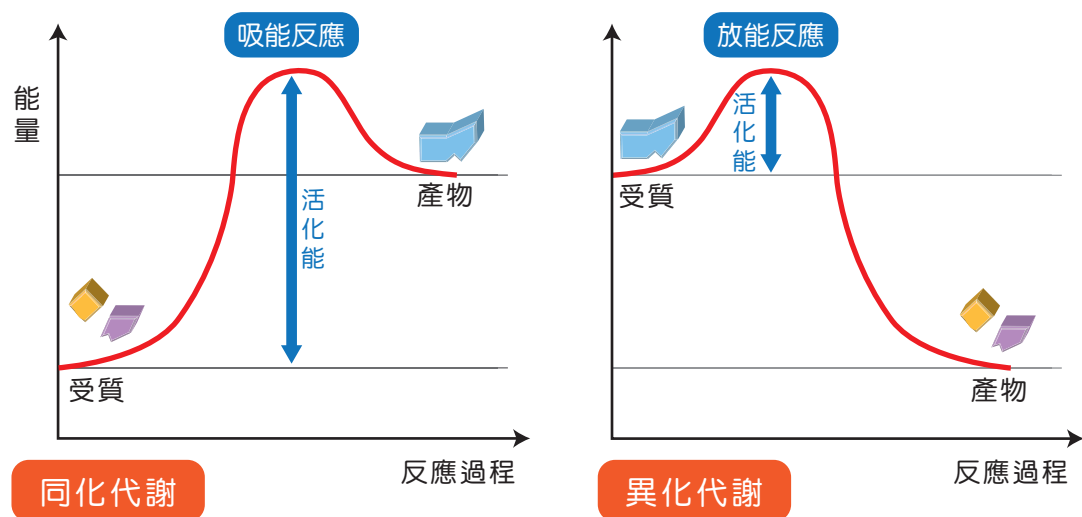
生物中的化學反應

生物體內所進行的化學反應可稱為代謝作用，藉由代謝作用可促進體內物質與能量的轉換，進而影響生長、發育、感應、繁殖等生命現象的表現。生物體內常見的代謝反應包括同化代謝與異化代謝等。

同化代謝是指將小分子合成為大分子的作用，例如：光合作用將二氧化碳和水合成為葡萄糖、生物細胞將胺基酸合成為蛋白質以形成體質等，均屬於同化代謝；同化代謝通常需要能量的供應，並將所獲得的能量累積於產物中，屬於吸能反應（endergonic reaction）。

異化代謝是指將大分子分解為小分子的過程，例如：消化作用將大分子有機物分解為小分子有機物、呼吸作用將葡萄糖分解為二氧化碳和水等，均屬於異化代謝；進行異化代謝時，常會釋出反應物中所儲存的能量，故屬於放能反應（exergonic reaction）（圖 2-1）。

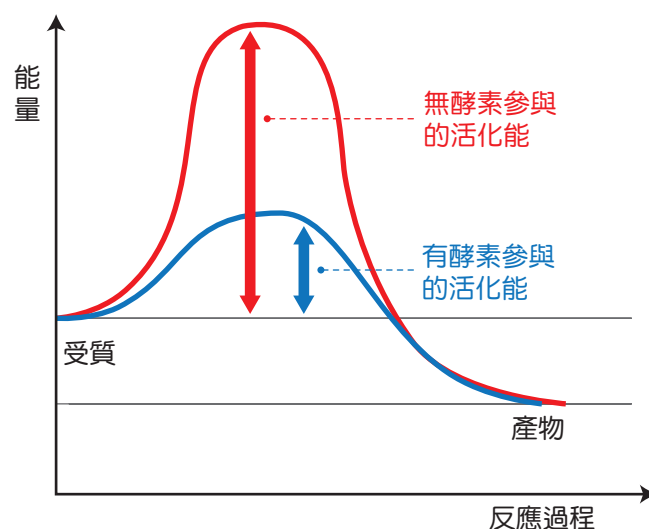
無論是同化代謝或是異化代謝，在化學反應進行時，均需先提供足夠的能量以活化反應物，才能推動反應的進行。活化反應物所需的最低能量值，稱為該反應的活化能。若將紙張中的纖維素藉由燃燒作用產生二氧化碳和水時，便需先加熱提供活化能，使紙張的溫度達到燃點，才能促進其內纖維素的氧化反應並放能。



▲ 圖 2-1 同化代謝與異化代謝

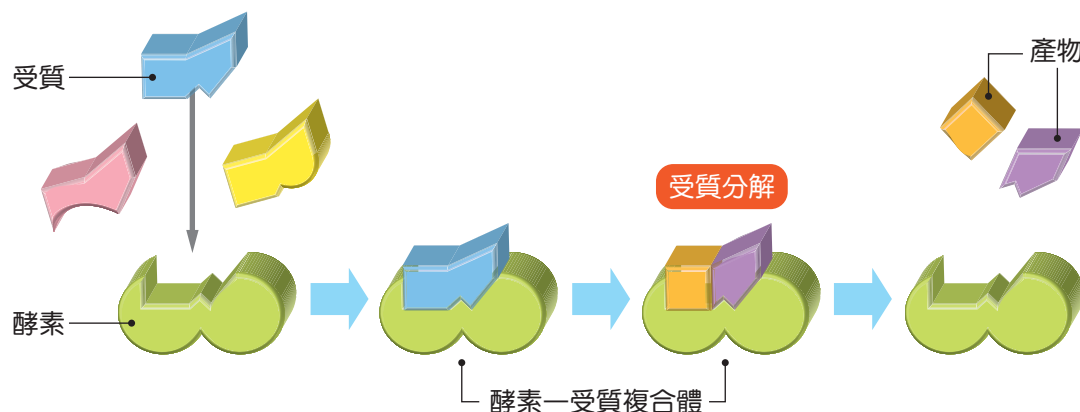
2-1.1 酵素與代謝作用

在生物體內進行代謝反應大多需要酵素的參與，以利反應的進行。酵素又稱為酶，是生物體內的催化劑，主要由蛋白質所組成，與參與反應的受質間具有專一性。在化學反應進行的過程中，酵素可用於降低活化能，使化學反應在生物體內較容易進行，進而達到催化反應、提高反應速率的功能（圖 2-2）。



▲ 圖 2-2 有無酵素參與時之反應能量變化圖

酵素具有特定的立體結構，可對特定的受質產生作用。受質為被酵素所催化的反應物，在酵素分子中，可與受質結合的部位稱為「活化位」。酵素的活化位與受質間常具有形狀互補、電性相反的特性，因此可彼此吸引，互相配對，藉此催化特定反應的進行。在進行反應的過程中，酵素會先與受質結合，形成一種不穩定的「酵素－受質複合體」；形成產物後，產物會脫離酵素，使酵素恢復為原本的形態，此時的酵素又可與其他的受質結合，連續催化多次反應，直到酵素被破壞為止（圖 2-3）。



▲ 圖 2-3 酵素作用模式圖



如上所述，酵素的作用具有下列特性：

1 提高反應速率

有酵素參與時，可降低反應的活化能，加快反應的進行。

2 受質專一性

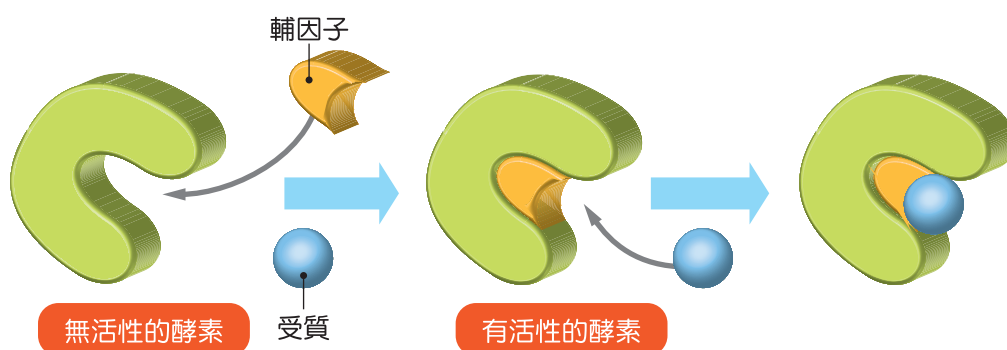
每種酵素只能與特定的受質結合，催化特定的化學反應，例如：蔗糖酶只能分解蔗糖、不能分解乳糖；澱粉酶只能分解澱粉和肝糖、不能分解纖維素。酵素對受質具有專一性，因此科學家常以受質的種類為酵素命名，例如：胰液中的蛋白酶和脂酶分別為分解蛋白質和脂質的酵素。

3 重覆利用性

酵素作用後，其結構並未改變，可重覆催化反應的進行。

2-1.2 酵素與輔因子

許多酵素需要其他輔因子（cofactor）的協助，才能發揮功能。輔因子是一群輔助酵素進行催化作用的化學物質，包括金屬離子與輔酶（coenzyme）兩大類，鈣、鎂、鋅、錳等金屬離子可結合於活化位上，以提高酵素對受質的親合性；**輔酶**則是由維生素（如：B 群）及核苷酸等小分子有機物所構成，可協助攜帶或傳遞物質，以利酵素的作用（圖 2-4）。光合作用中所使用的 NADPH，以及呼吸作用中所使用的 NADH、FADH₂ 等均可作為輔酶，攜帶氫和電子來參與反應、傳遞能量。



▲ 圖 2-4 酵素與輔因子



● 生物 LINE 一下

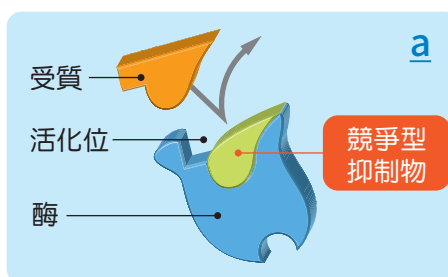
酵素抑制物的作用

除了受質或輔因子之外，某些化學物質亦能與酵素結合，影響酵素的作用。若此類化學物質與酵素結合後，會抑制或降低酵素的活性，則可稱為酵素抑制物。

酵素抑制物的作用方式可分為兩類：

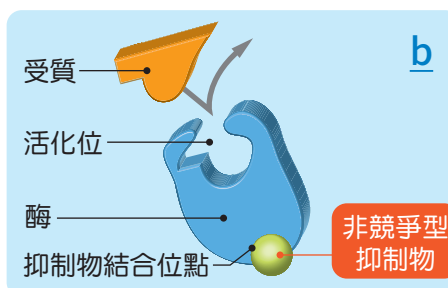
1 競爭性酵素抑制物

結構與受質相近，可附著於酵素活化位上，阻擋受質的進入，因而抑制反應的進行；常用來抑制細菌生長、減緩發炎反應的磺胺類藥物，便屬於此種酵素抑制物（圖 2-5 (a)）。



2 非競爭性酵素抑制物

結構與受質不同，與酵素結合的部位為活化位以外的區域，當其接上酵素後，會改變酵素的立體結構，因而影響酵素的活性。例如：抑制細菌細胞壁合成的青黴素，便屬於此類抑制物（圖 2-5 (b)）。

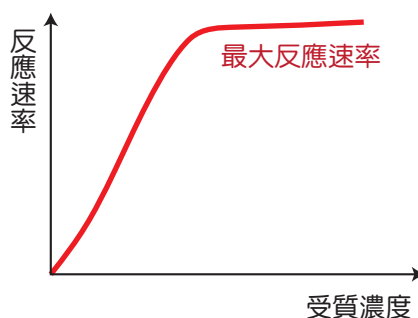


▲ 圖 2-5 兩種抑制物



2-1.3 影響酵素作用的因素

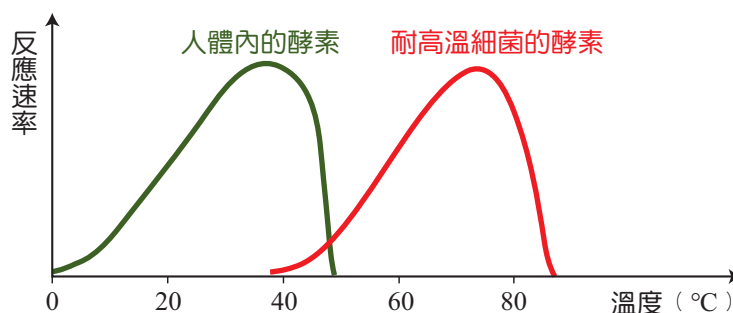
生物體內代謝反應之反應速率，在一定範圍內會隨著受質或酵素濃度的增加而提高（圖 2-6）。此外，因生物體內的酵素大部分由蛋白質所組成，因此，凡是能影響蛋白質活性的因素，例如：溫度、酸鹼度和金屬離子等，亦會影響酵素的活性。



▲ 圖 2-6 在酵素濃度固定的情況下，受質濃度對酵素反應速率的影響

溫度對酵素活性的影響

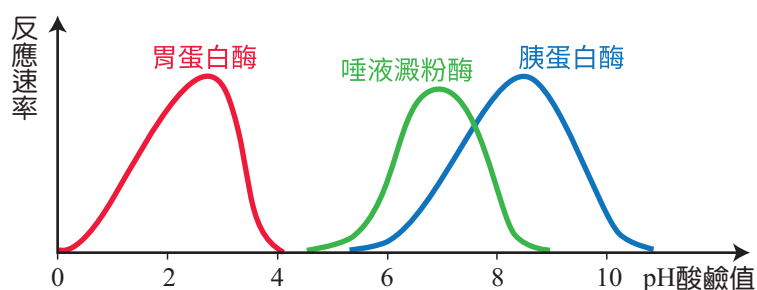
每一種酵素都有它最適合的作用溫度，一般而言，生物體內酵素的的作用溫度多介於 $0 \sim 45^{\circ}\text{C}$ 之間。在此範圍內，當溫度較低時，因分子動能較低，反應發生速率也較低；而當溫度上升時，酵素與受質分子間的碰撞機會增加，反應速率也會隨之增加。但是，當環境溫度超過酵素可容忍的範圍時，過高的溫度會破壞蛋白質的結構，使酵素失去催化反應的能力（圖 2-7）。此外，生長於溫泉或火山口附近的細菌，為了適應高溫環境，細胞中酵素對熱的耐受性通常會較大。



▲ 圖 2-7 溫度對酵素活性（以反應速率表示之）的影響

酸鹼度對酵素活性的影響

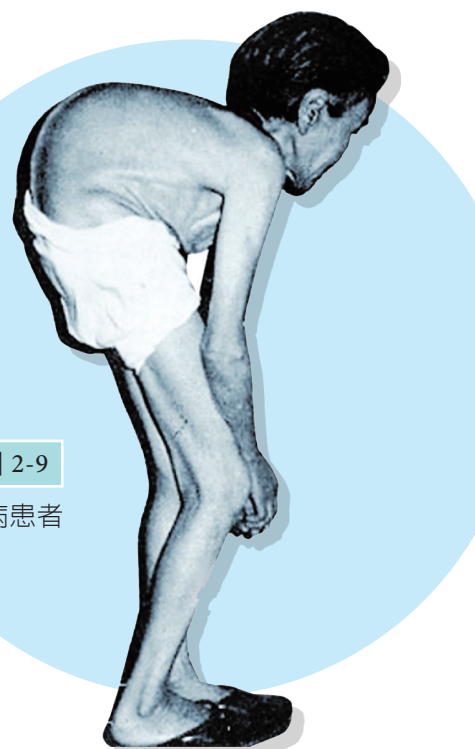
酵素需在適合的酸鹼度下，才能發揮最佳的催化功能。不同酵素適合的酸鹼度各不相同，例如：人體胃腺所分泌的胃蛋白酶適合在強酸中，才能發揮分解蛋白質的功能；胰臟所分泌的胰蛋白酶，則需於鹼性環境中作用。大部分的酵素則適合接近中性的環境，例如：唾腺所分泌的唾液澱粉酶在接近中性的環境中活性最強（圖 2-8）。



▲ 圖 2-8 酵素活性（以反應速率表示）

金屬離子對酵素活性的影響

有些金屬離子可作為輔因子，協助酵素催化反應，例如：鋅、鎂等；有些重金屬離子，例如：汞、鉛、鎘等，卻會與蛋白質結合，造成酵素的變性，抑制酵素活性、進而威脅人體的健康。臺灣曾因工廠排放廢水，使得鎘流入下游農田，引發鎘米污染事件；食入鎘米的民眾會產生鎘中毒的症狀，影響腸道對鈣離子的吸收、降低骨骼的強度並表現出關節疼痛的症狀，因此又稱為「痛痛病」（圖 2-9）。



▲ 圖 2-9

痛痛病患者

Question 想一想 ▶

若想增加酵素的最大反應速率，你可以怎麼做？

③ 酵素活性的測定

在食品工業中，常會用酸、鹼或高溫等環境因子來降低細菌的活性，延長食品的保存期限；而這些環境因子主要是藉由影響細菌中的酵素活性，進而達到抑制細菌孳生的效果。環境因子是如何影響酵素的活性，我們可藉由以下實驗探討之。

〔目的〕

以細胞中的過氧化氫酶為實驗材料，探究環境因子（如酸、鹼、熱、重金屬等）對酵素的影響。

〔說明〕

酵素是一群用來催化化學反應的物質，而過氧化氫酶則是生物細胞中最容易取得的酵素之一。過氧化氫酶分布於細胞的過氧化體內，會催化過氧化氫分解產生水及氧氣。不同的溫度、酸鹼度及重金屬等會影響酵素的構形，而酵素活化位的構形決定酵素的作用，因而影響酵素活性。

本實驗的酵素溶液取自於生鮮的馬鈴薯，其內含有過氧化氫酶，可催化雙氧水產生氧氣和水的反應。在本實驗的操作過程中，可藉由測定特定時間內氧氣的產生量，作為判斷過氧化氫酶活性的指標（以試管內的氣泡產生高度作為量化的指標），藉此探討不同環境因子（如酸、鹼、熱、重金屬等）對馬鈴薯萃取液中過氧化氫酶活性的影響。

〔實驗材料與器具〕

1. 馬鈴薯	1 個
2. 砧板	1 塊
3. 水果刀	1 把
4. 500 ml 燒杯	1 個
5. 100 ml 量筒	1 個
6. 蒸餾水	1 瓶
7. 果汁機	1 臺
8. 雙層紗布	1 塊
9. 加熱板（如加熱攪拌）	1 臺
10. 15ml 試管（直徑相同）	5 支 / 組
11. 滴管（其上具有刻度）	6 支
12. pH 5 緩衝液	1 瓶
13. pH 7 緩衝液	1 瓶
14. pH 9 緩衝液	1 瓶
15. 10% 硝酸鉛溶液	1 瓶
16. 3% 雙氧水	1 瓶

〔步驟〕

酵素液（過氧化氫酶）的製備

- 1 將馬鈴薯洗淨，秤取 200 公克，置於砧板上，以水果刀切成小塊。
- 2 將馬鈴薯塊倒入果汁機中，加入 600 ml 蒸餾水，以低速攪打 20 秒。
- 3 以雙層紗布過濾馬鈴薯泥，將濾液置於燒杯中備用，此即「新鮮酵素液」。
- 4 取 150 ml 新鮮酵素液置於燒杯中，以加熱板煮沸後冷卻，以製成「熱處理酵素液」。

實驗設計與操作

1 配製待測溶液：取 5 根試管，以油性筆標示 A ~ E 後，參照下表依序加入反應溶液。

溶液種類	試管編號				
	A	B	C	D	E
pH 5 緩衝液	2 ml				
pH 7 緩衝液		2 ml		2 ml	2 ml
pH 9 緩衝液			2 ml		
10% 硝酸鉛溶液				1 ml	
新鮮酵素液	0.5 ml	0.5 ml	0.5 ml	0.5 ml	
熱處理酵素液					0.5 ml
水	1 ml	1 ml	1 ml		1 ml

2 將酵素溶液與緩衝溶液混合均勻後，靜置 5 分鐘，待酵素作用完成後，再進行下一個步驟。

3 於 A ~ E 5 根試管中，分別加入 1ml 3% 雙氧水（ H_2O_2 ），輕輕搖晃試管，使雙氧水與酵素液混合均勻。

4 每隔 2 分鐘，量測各組試管中氣泡生成情形，並將試管內的氣泡高度記錄於紀錄本中，共記錄 10 分鐘。

5 請根據④的實驗結果，以反應時間為橫軸、產氣量（氣泡產生高度）為縱軸繪製折線圖，以呈現出反應過程中的酵素活性變化情形。

6 請各組將步驟④於 10 分鐘時的量測結果統整於黑板上，比較各組的差異，並計算各組於 10 分鐘時，A ~ E 各管產氣體的平均值，記錄於紀錄本中。

〔問題與討論〕

1. 在以上的實驗設計中，可探討的問題有哪些？不同問題的操縱變因分別為何？並寫出各組實驗的實驗組與對照組分別為何？
2. 在實驗設計表中，於試管 A、B、C、E 中各加入 1ml 水，而試管 D 不加水的原因為何？
3. 在實驗操作步驟 3 中，將反應溶液靜置 5 分鐘的目的為何？
4. 請問本組的實驗結果是否符合預期？造成這些差異的可能原因為何？
5. 各組的實驗結果是否相同？為何要進行跨組的比較？若各組所得的結果不同，有哪些因素可能會影響實驗結果的判定與詮釋。
6. 請根據以上實驗結果，寫出本實驗的結論（至少 100 字）。

| 2-2 |

能量流轉與生命維持的關係

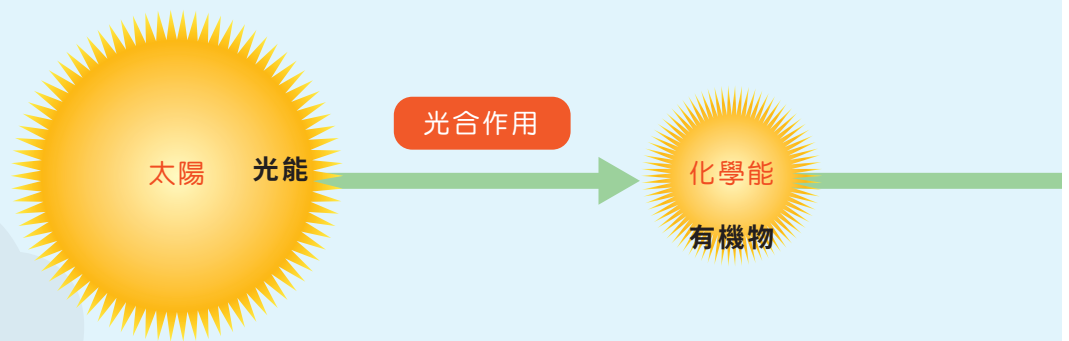
生物體需要能量，以進行各種生理活動來維持生命，醣類等有機養分是主要的供能物質，但是這些有機物中的能量不能直接被生物體利用，需經呼吸作用分解才能將有機養分所蘊藏的部分能量轉移到 ATP 分子中，其餘則轉換為熱能散失，ATP 分子的化學能是大多數的細胞完成生理功能所需能量的直接來源。

太陽是地球生物能量的主要來源，太陽的光能經由光合作用的轉換，儲存於有機物中，經由食物鏈傳遞，在生物體內轉變為化學能、機械能等各種形式的能以維持生命。生物體通常都是以醣類、脂質等大分子的形式儲存養分，當細胞需要能量時，大分子分解為單醣或脂肪酸等小分子後，然後再進行細胞呼吸作用，將這些小分子氧化分解，以釋出能量供細胞利用。這些能量轉換的過程是一系列由酵素所催化的同化代謝和異化代謝。光合作用可將光能轉化為化學能，儲存於葡萄糖、澱粉、脂質等有機化合物中，提供自身及其他生物的能量利用。生物藉呼吸作用將有機化合物中的化學能轉存於 ATP，再經由 ATP 轉變成其他光能、電能、化學能、機械能等形式的能量釋出，以進行生理代謝（圖 2-10）。

► 圖 2-10

生命世界的能量流轉：

自營生物的光合作用可將光能或化學能轉換成儲存於醣類等有機物中的化學能；所有生物的呼吸作用則將有機物中的化學能轉換成 ATP 的化學能，ATP 直接用於維持細胞的生理功能

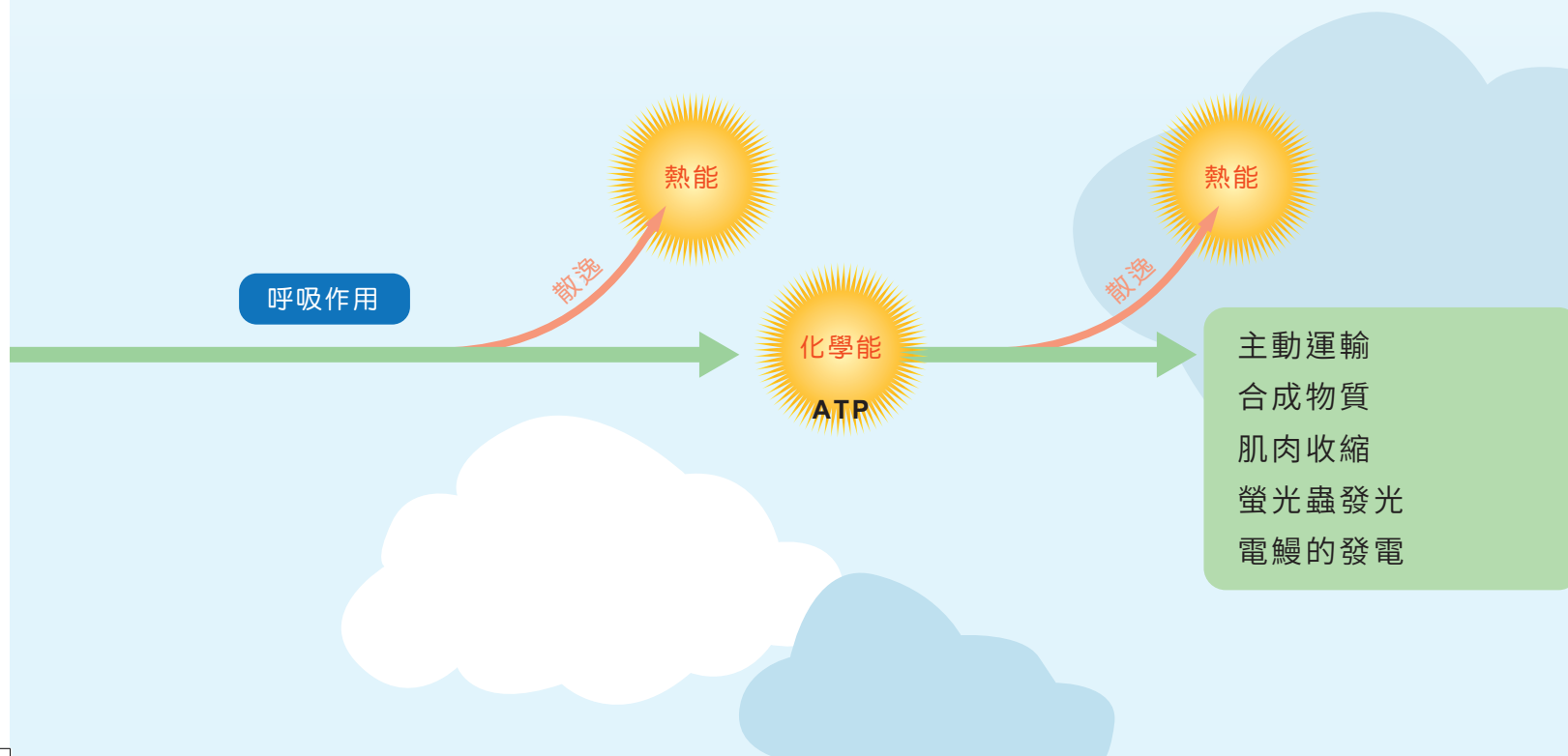




● 生物 LINE 一下

蛋白質是否為細胞氧化產生 ATP 的來源

細胞攝入的胺基酸，會經由轉譯作用合成生物體所需的各種結構蛋白與功能蛋白，或是在醣類供應不足時轉換成葡萄糖，以維持血糖的濃度。但是細胞中的胺基酸只會合成結構或具生理功能的蛋白質，過量的胺基酸會在肝臟進行脫胺反應及被轉成脂肪送到脂肪細胞儲存。當熱量攝取不足時，肌肉等體組織之蛋白質可以分解產生胺基酸，胺基酸進入有氧呼吸過程產生 ATP。故蛋白質只有當細胞飢餓狀態時才會作為細胞氧化產生 ATP 的來源，正常情況下不會作為能量的利用與儲存形式。



| 2-3 |

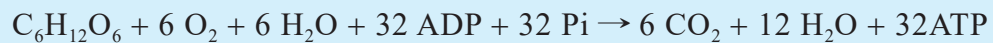
呼吸作用

呼吸作用是指細胞經由酵素催化一系列的氧化還原反應，將葡萄糖、脂肪酸等有機物分解，釋出的能量，一部分以熱能的形式散失，一部分以化學能的形式儲存在 ATP 中過程。呼吸作用包括有氧呼吸、無氧呼吸及發酵作用等三種類型（圖 2-20）。

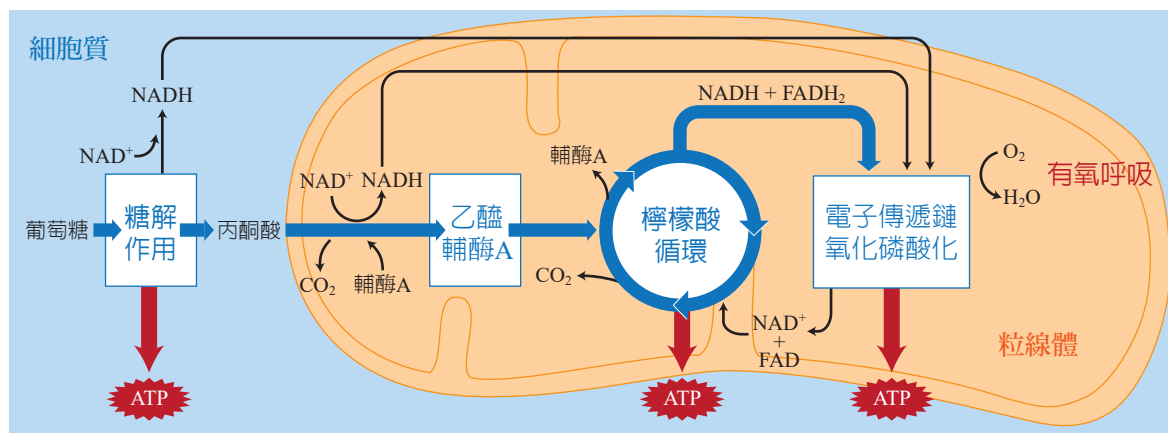
ATP 水解生成 ADP 與 Pi 時，釋出的能量可供細胞驅動許多需能的反應。其他磷酸核苷如 GTP、CTP 與 UTP 等，與 ATP 有類似的功能，分別在細胞合成蛋白質、脂質與醣類時提供能量。

2-3.1 有氧呼吸

大部分細胞活動時所需要的能量，其主要來源為葡萄糖的氧化。在氧氣供應充足時，葡萄糖可以完全氧化，產生二氧化碳、水及 ATP。此種有氧參與並作為最終電子接受者的呼吸作用過程稱為有氧呼吸。總反應式如下：



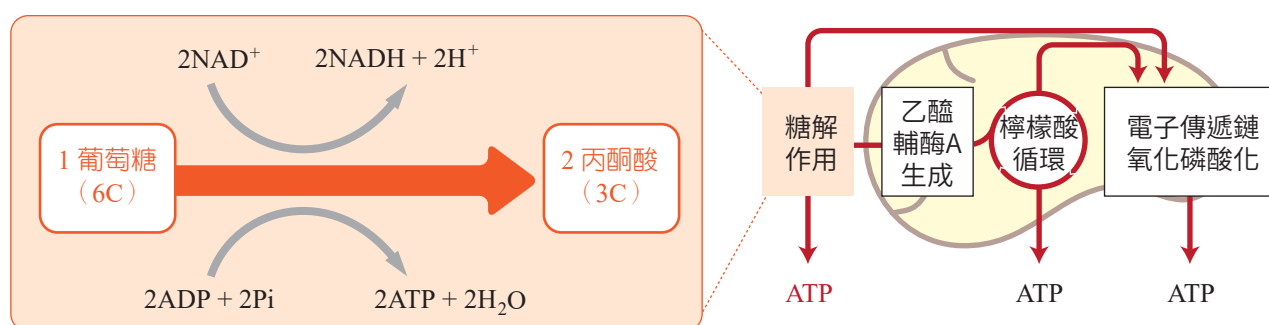
有氧呼吸的反應依序可分為糖解作用、乙醯輔酶 A 的形成（丙酮酸的氧化）、檸檬酸循環（又稱為克氏循環）和氧化磷酸化作用（含電子傳遞鏈）（圖 2-11）。



▲ 圖 2-11 有氧呼吸的過程

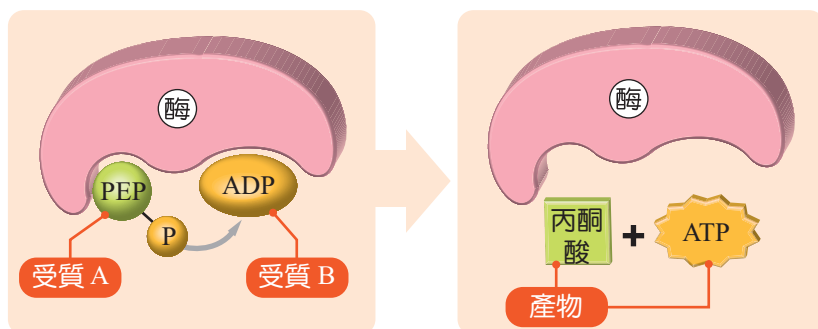
糖解作用

糖解作用在細胞質進行，此時不需要 O_2 參與，過程中葡萄糖被分解為三碳的丙酮酸，所釋出的能量一部分用來使 ADP 轉變為 ATP，另一部分則用於將 NAD^+ （氧化態輔酶）還原為 NADH（還原態輔酶）（圖 2-12）。



▲ 圖 2-12 糖解作用

糖解作用中 ATP 的產生是利用葡萄糖分解產生的磷酸烯醇丙酮酸（PEP），經由酵素催化，將其磷酸基（ P_i ）轉移給 ADP 而形成 ATP，PEP 則形成丙酮酸，這種合成 ATP 的方式稱為受質層次磷酸化（圖 2-13）。



▲ 圖 2-13 受質層次磷酸化：

磷酸基（ P_i ）透過酵素催化由受質 A（PEP）轉移至受質 B（ADP）。



生物 LINE 一下

30ATP \ 32ATP

1 分子的葡萄糖經有氧呼吸可產生 30 或 32 分子的 ATP，此數量差異來自於細胞質中糖解作用所產生的 NADH，進入粒線體時需要藉由特殊的運輸系統轉換進入。不同細胞中轉換方式不同，大部分細胞會將 NADH 轉換為 $FADH_2$ ，故 ATP 總產量為 30ATP。少部分細胞，如心臟、肝臟、腎臟細胞，NADH 轉換為 $NADH$ ，ATP 總產量為 32ATP。



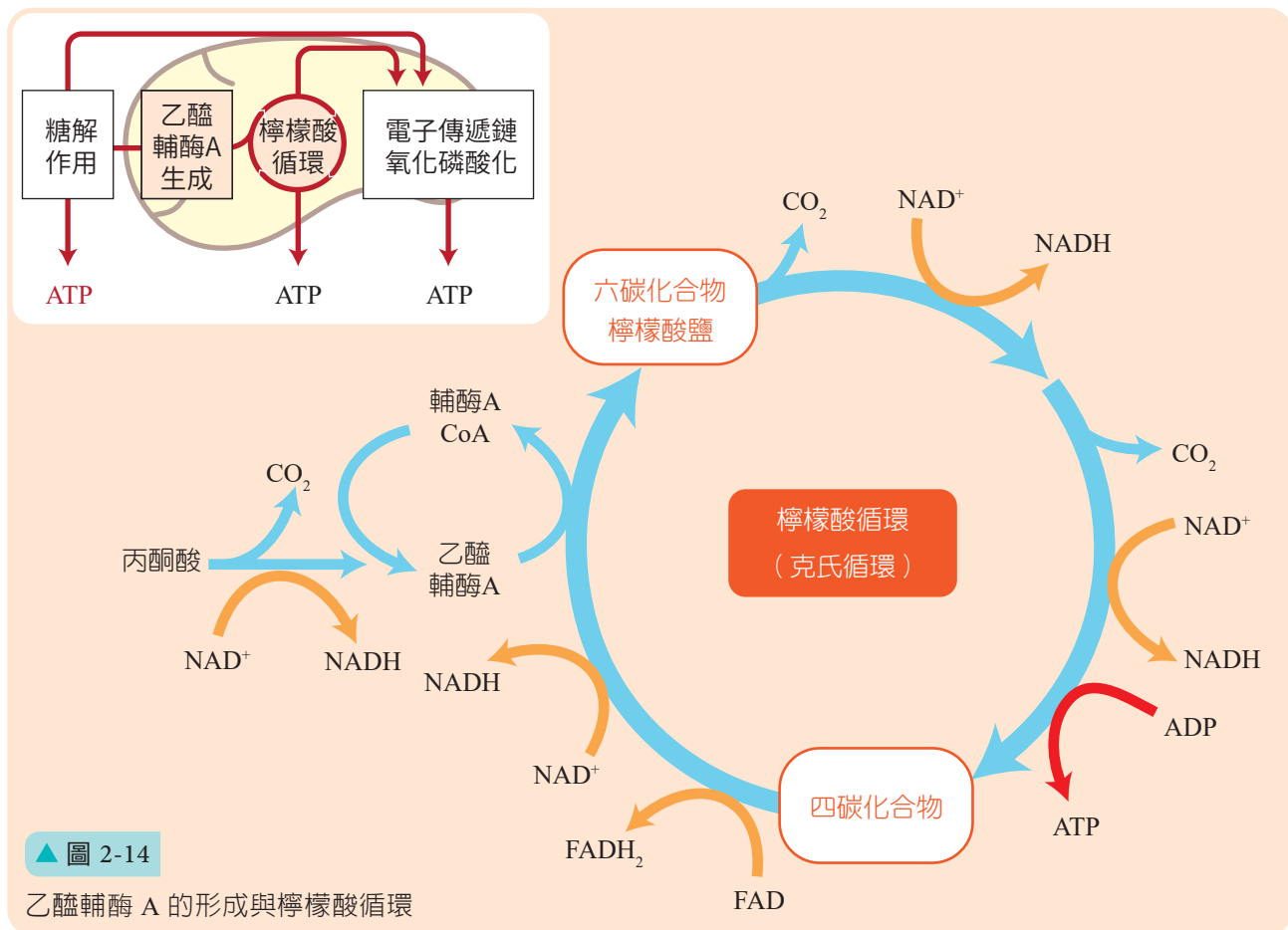
生物 LINE 一下

檸檬酸循環、克氏循環

由英國生物學家克瑞布斯 (Hans Adolf Krebs, 1900 ~ 1981) 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。

乙醯輔酶 A 的形成與檸檬酸循環

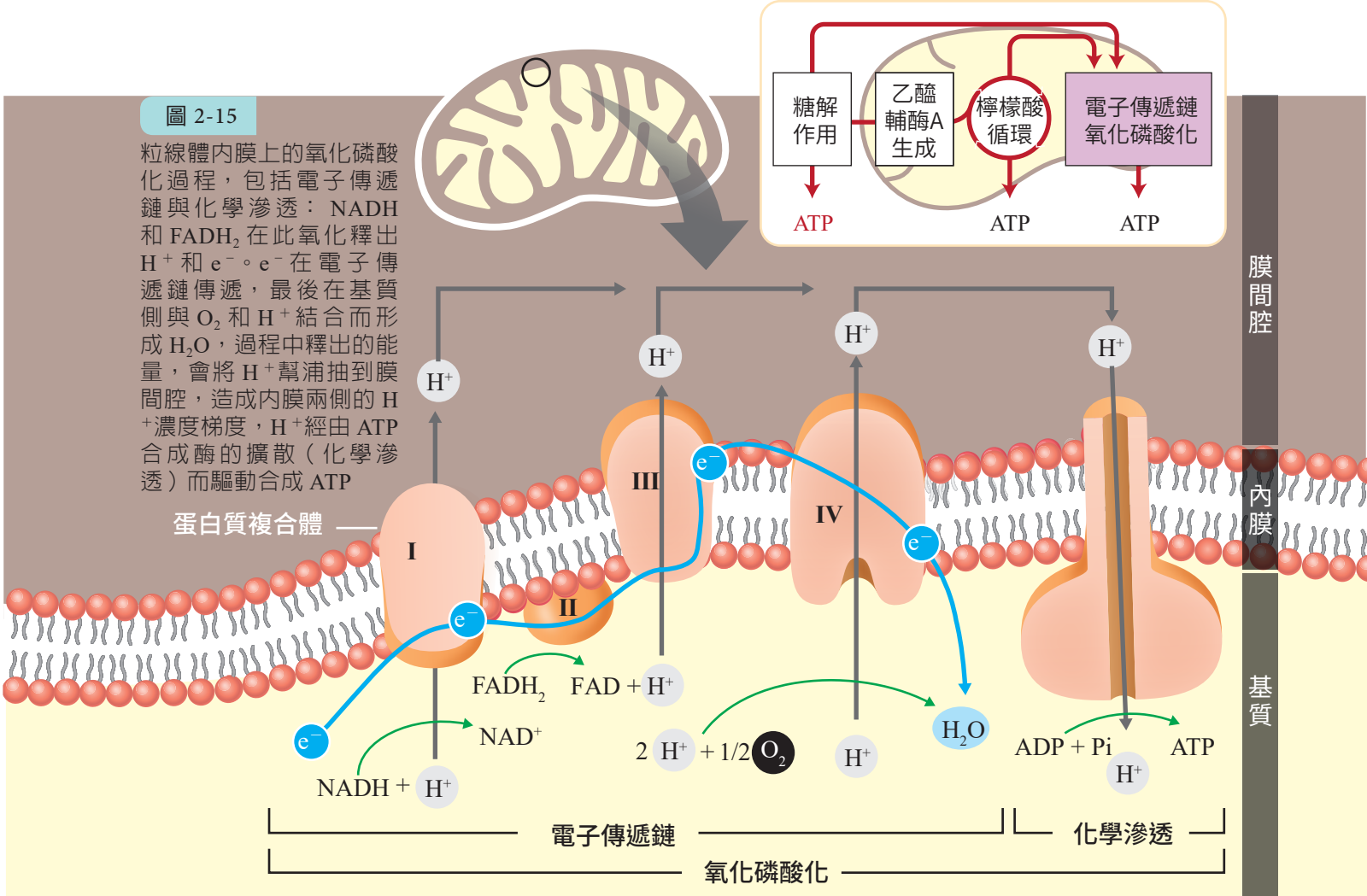
在有 O_2 的情況下，細胞質中糖解作用產生的丙酮酸會藉由粒線體膜上的主動運輸蛋白進入粒線體基質中。在粒線體基質中，丙酮酸與 NAD^+ 、輔酶 A 反應，生成二碳的乙醯輔酶 A、 $NADH$ 和 CO_2 。乙醯輔酶 A 隨即進入檸檬酸循環，與四碳化合物結合產生六碳的檸檬酸，再經一系列的反應，釋出兩分子的 CO_2 再形成可以與乙醯輔酶 A 結合的四碳化合物。反應過程會釋出能量，一部分能量用以形成 ATP，另一部分能量將 NAD^+ 和 FAD 還原為 $NADH$ 和 $FADH_2$ (圖 2-14)。



電子傳遞鏈

電子傳遞鏈發生於粒線體內膜，內膜上有多種電子載體，電子載體是位於膜上傳遞電子的蛋白質複合體，可以接受來自糖解作用和檸檬酸循環的還原態輔酶 NADH 與 FADH_2 在此釋出電子 (e^-) 和質子 (H^+)。電子 (e^-) 在載體傳遞的過程中釋出能量，並以氧化磷酸化作用產生大量的 ATP，電子 (e^-) 最後在基質中由 O_2 接受，並和 H^+ 結合而形成 H_2O (圖 2-15)。

由於有氧呼吸電子傳遞鏈的過程最終的電子 (e^-) 接受者為 O_2 ，因此在有 O_2 的情況下，丙酮酸才能進入粒線體被完全分解。大部分 ATP 來自此階段，因此 O_2 的供給決定細胞產生能量的多寡。



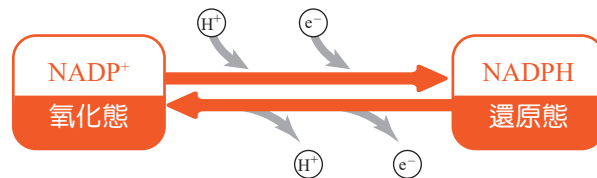


生物 LINE 一下

NADPH \ NADP⁺ \ FAD⁺ \ FADH₂



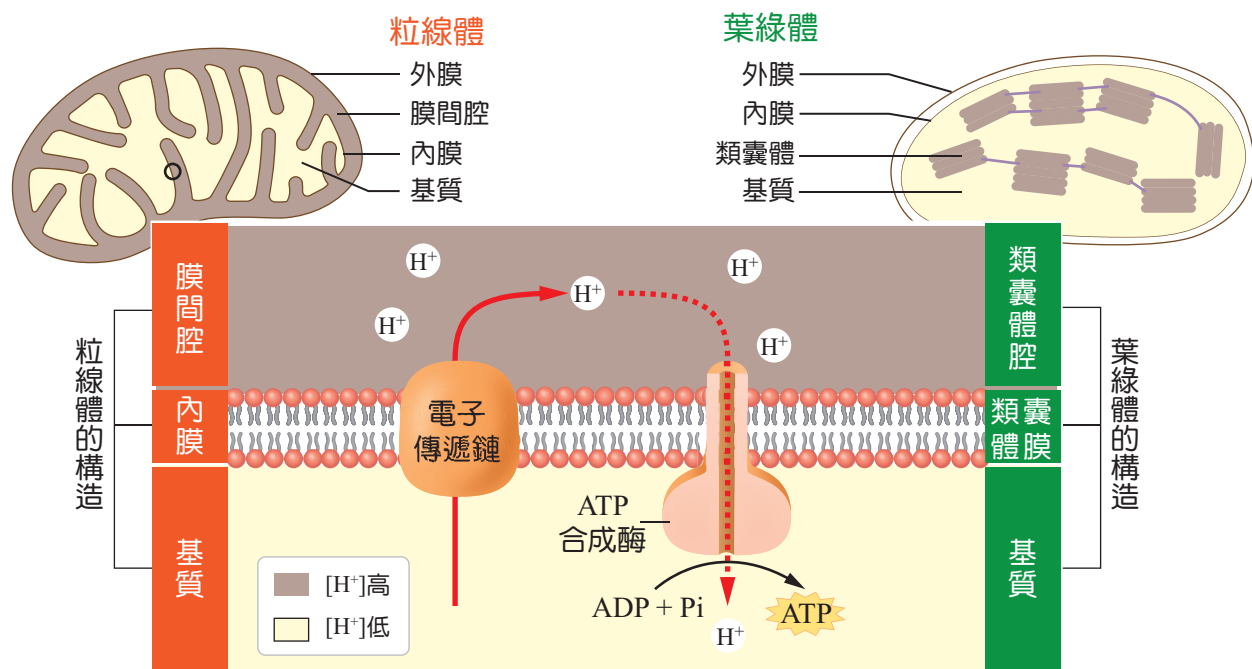
NADPH \ NADP⁺ \ FAD⁺ \ FADH₂ 是一種核苷酸，也是一種維生素 B，更是一種重要的輔酶，參與多種代謝反應，其還原態以 NADPH、FADH₂ 表示，氧化態則以 NADP⁺、FAD⁺ 表示，兩者在代謝作用的轉換關係如下（以 NADPH、NADP⁺ 為例）（圖 2-16）：



▲ 圖 2-16 NADPH、NADP⁺ 的轉換關係

氧化磷酸化作用（oxidative phosphorylation）

發生於有氧呼吸作用，該過程在粒線體內膜或原核生物的細胞膜上的電子傳遞鏈發生，包括電子傳遞鏈與化學滲透，糖解作用與克氏循環所產生的 NADH 及 FADH₂ 等高能量的物質，藉由電子傳遞一系列的氧化還原反應，過程中釋出的能量，造成膜內外的 H⁺ 濃度差，再經由 H⁺ 的化學滲透而驅動 ATP 合成的方式（如圖 2-17）。此機制是由英國生物化學家米契爾（Peter Mitchell, 1920 ~ 1992）在 1961 年提出「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。



▲ 圖 2-17 粒線體內膜和葉綠體之類囊體膜上的 ATP 合成酶，均由 H⁺ 的化學滲透活化而合成 ATP

2-3.2 無氧呼吸

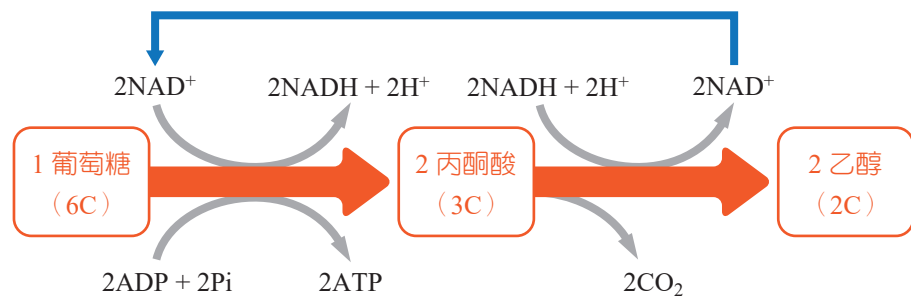
無氧呼吸是指氧化有機物以合成 ATP 的過程中，不以氧氣作為電子接受者的呼吸作用。其過程與有氧呼吸相似，皆會進行糖解作用、檸檬酸循環、電子傳遞鏈，最終也是以氧化磷酸化作用合成 ATP 分子。某些生活在無氧環境或厭氧性的原核生物即是以無氧呼吸作為主要的呼吸作用類型。在無氧呼吸中，最終的電子接收者是其氧化性物質，包括：硝酸根離子（ NO_3^- ）、硫酸根離子（ SO_4^{2-} ）、碳酸根離子（ CO_3^{2-} ）、硫元素（S），以及許多氧化性金屬離子（如 Fe^{3+} 、 Mn^{4+} 、 Co^{3+} ）等。這些氧化性的化合物或離子接受電子之後，被還原成為氧化態較低的化合物與離子，例如：硫酸鹽接受電子之後，被還原成硫化氫（ H_2S ）；三價鐵離子（ Fe^{3+} ）接受電子之後，被還原成二價鐵離子（ Fe^{2+} ）。由於這些氧化性分子或離子的還原電位通常低於氧氣，因此釋放出的能量也比有氧呼吸低，亦即其產生 ATP 的效率略低於有氧呼吸，但是仍遠高於沒有電子傳遞系統的發酵作用。

2-3.3 發酵作用

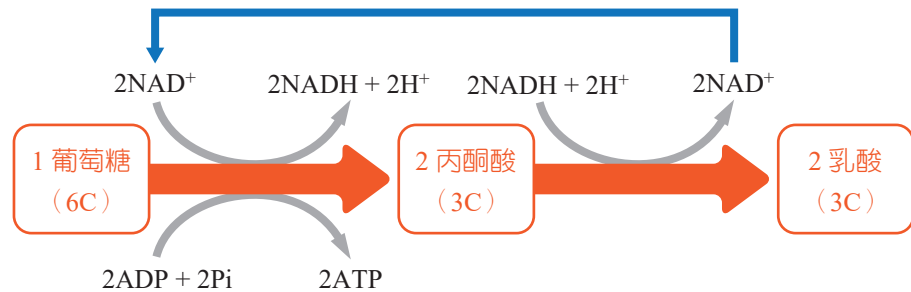
若 O_2 供應不足，則電子傳遞鏈的功能會因無 O_2 接受 e^- 而受到阻礙，甚至完全停止，使糖解作用與檸檬酸循環生成的 NADH 或 FADH_2 無法進入電子傳遞鏈而逐漸堆積，導致糖解作用與檸檬酸循環因無氧化態輔酶 NAD^+ 或 FAD 供應而停止。葡萄糖經糖解作用所產生的丙酮酸無法進入粒線體中，丙酮酸在細胞質中被還原為乙醇（酒精）或乳酸，以再生 NAD^+ ，故葡萄糖並未被完全分解，能量大多仍蘊藏在最終產物中，如：乙醇、乳酸。

若丙酮酸被還原成乙醇並釋出 CO_2 ，則此反應稱為酒精發酵（圖 2-18），常見於在缺氧的環境下的植物或酵母菌。若丙酮酸被還原為乳酸稱為乳酸發酵；乳酸發酵沒有 CO_2 的釋出（圖 2-19），常見於在缺氧的環境下的乳酸菌或動物的骨骼肌細胞中。

與有氧呼吸相較，發酵作用是一個效率較差的產能反應。但是在缺氧的環境下，它能移除糖解作用產生的丙酮酸，使之不會累積下來，還有使 NAD^+ 的再生，使反應持續，因此可使醣類持續進行糖解作用而產生 ATP。這是生物在缺乏氧氣與氧化性物質時所發展出的一種特殊能力，使生物可以適應缺氧的環境。



▲ 圖 2-18 酒精發酵



▲ 圖 2-19 乳酸發酵

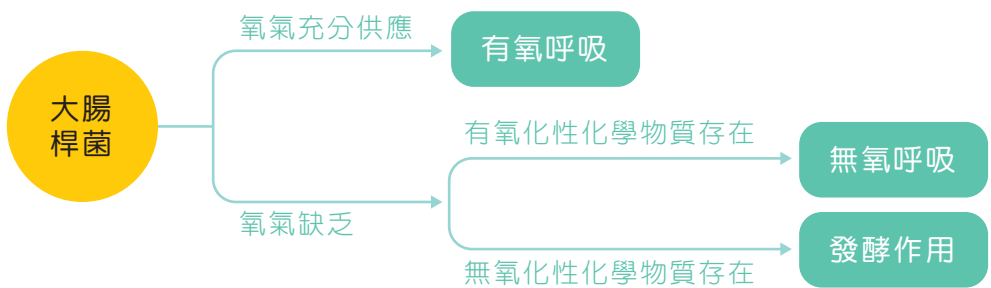


● 生物 LINE 一下

同一種生物細胞是否只能進行一種呼吸作用？



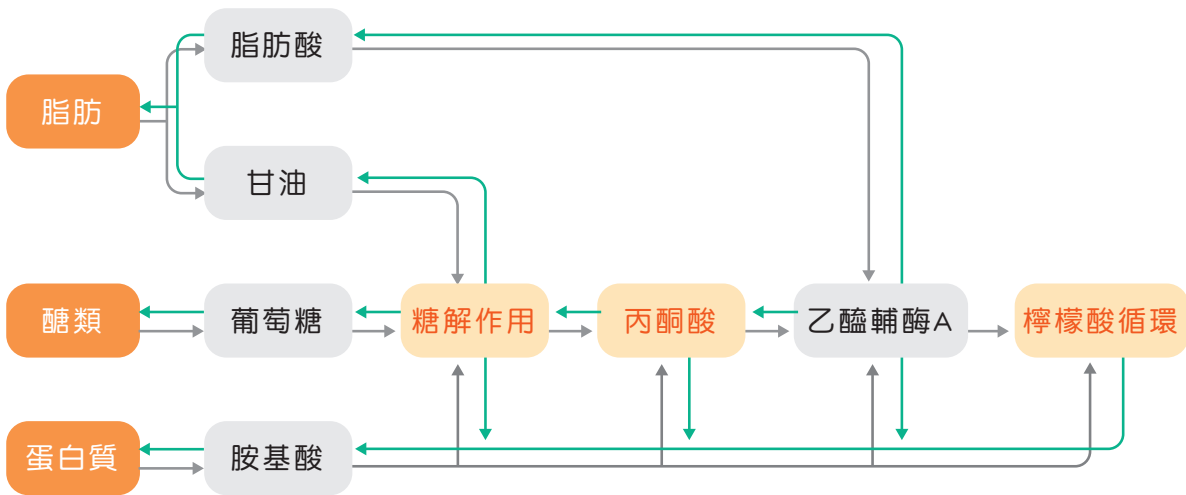
許多自然界中的微生物必須適應瞬息萬變的環境，因此在對氧氣的需求上也演化出許多對策。以常見的大腸桿菌為例，當其在氧氣充分供應的情況下，則進行一般的有氧呼吸；當氧氣缺乏又有氧化性化學物質存在時，則進行無氧呼吸；而當這些氧化性化學物質用完之後，還可進行發酵作用來獲取能量（圖 2-20）。



▲ 圖 2-20 大腸桿菌如何因應不同的環境

呼吸作用與細胞內有機物的新陳代謝密切相關

葡萄糖是細胞內供應能量的主要物質；脂肪酸、甘油與胺基酸也可經由不同代謝路徑，參與有氧呼吸，產生 ATP；而呼吸作用的中間產物也能轉換成合成各種有機物的原料，醣類、蛋白質、脂肪三者之間可以互相轉變（圖 2-21）。



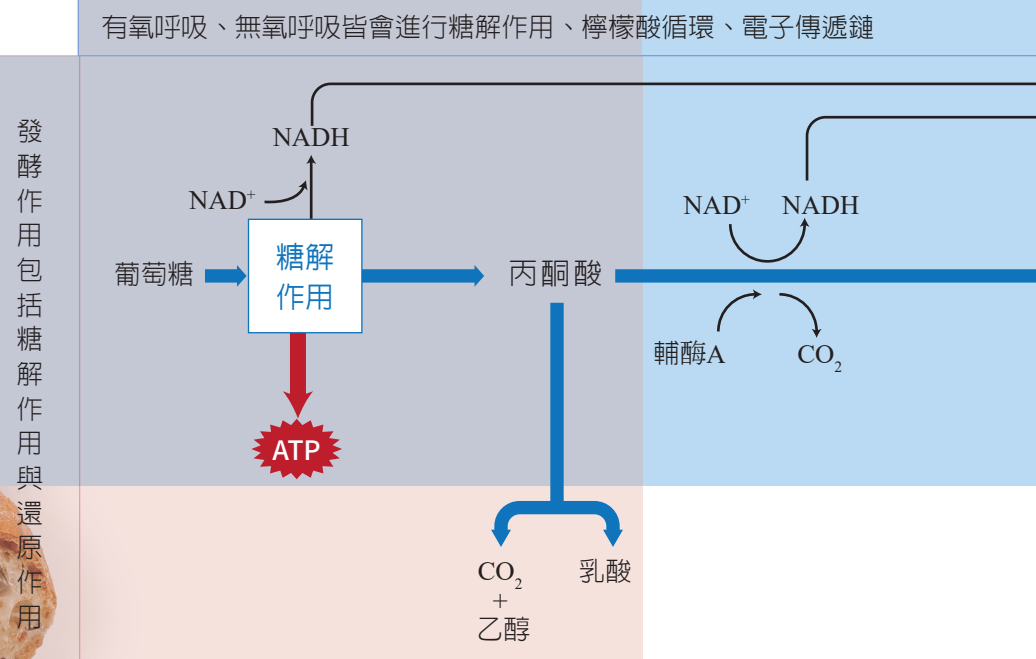
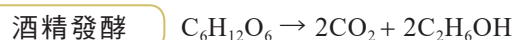
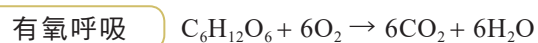
▲ 圖 2-21 呼吸作用與細胞內醣類、蛋白質、脂肪的代謝



生物 LINE 一下

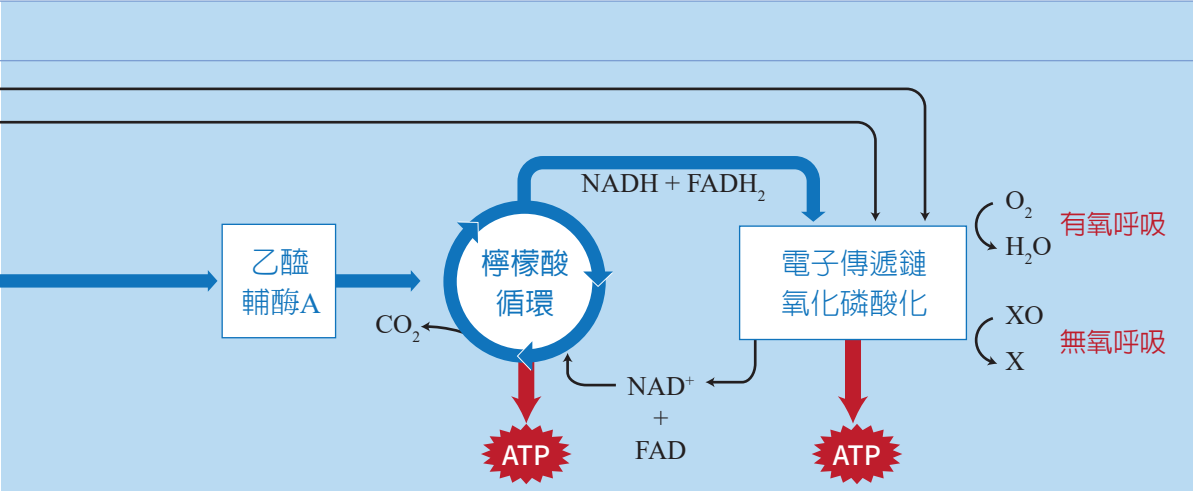
發酵作用是否等同於無氧呼吸？

不同，因為有氧呼吸、無氧呼吸的最終產物均為無機物，過程中均有電子傳遞過程，最終的電子接受者為 O_2 的稱為有氧呼吸，最終的電子接受者為其他無機物如 S 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等的稱為無氧呼吸（圖 2-21）。發酵作用最終產物為酒精或乳酸等有機物，且過程中沒有檸檬酸循環與電子傳遞（圖 2-22），因此不同於無氧呼吸。發酵作用僅在糖解時可產生 2 個 ATP，故產能效率比無氧呼吸更低。下列為三者的化學反應式比較：



▼ 表 2-1 有氧呼吸、無氧呼吸、發酵作用之比較

特性 / 類別	有氧呼吸	無氧呼吸	發酵作用
氧氣需求	+	-	-
糖解作用	+	+	+
檸檬酸循環	+	+	-
電子傳遞鏈	+	+	-
電子傳遞鏈終端電子接受者與最終產物	$O_2 \rightarrow H_2O$	$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$ $SO_4^{2-} \rightarrow H_2S$ $CO_3^{2-} \rightarrow CH_4$ $CO_3^{2-} \rightarrow CH_3COOH$ $S \rightarrow H_2S$ $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$ $Co^{3+} \rightarrow Co^{2+}$	無電子傳遞鏈，最終產物為酒精、乳酸等有機分子
1 分子葡萄糖反應後產生之能量	$O_2 \rightarrow H_2O$ 30 ~ 32 ATP	略低於有氧呼吸	2 ATP



▲ 圖 2-22

呼吸作用包括有氧呼吸、無氧呼吸及發酵作用等三種類型的過程。
 有氧呼吸、無氧呼吸皆會進行糖解作用、克氏循環及電子傳遞鏈；發酵作用則是進行糖解作用、還原作用。

④ 酵母菌的發酵

日常所吃的麵包饅頭等食品，都是由酵母菌發酵製成，其風味往往與加入的糖種類與濃度、烤箱的溫度控制等因素相關，下列實驗便是探討酵母菌發酵速率的相關因素。

〔目的〕

觀察酵母菌的發酵，並探討醣類及酵母菌濃度對發酵速率的影響。

〔說明〕

酵母菌（如圖①）是一種單細胞真菌，被廣泛地應用於釀酒及烘焙麵製品。酵母菌在有氧的環境下生長時，可利用氧氣進行有氧呼吸，將糖轉化成大量能量及二氧化碳，以快速進行細胞的生長與繁殖。在缺氧的環境下，酵母菌可行發酵作用，將醣類轉化成酒精與二氧化碳，同時可釋放出少量的能量以進行必須的基本代謝作用。



〔探究的問題〕

1. 糖種類對發酵速率的影響：酵母菌在葡萄糖、果糖、蔗糖等三種糖液中，其發酵的速率是否相同？
2. 葡萄糖濃度對發酵速率的影響：葡萄糖濃度愈高，發酵速率是否會愈快？酵母菌在哪一種葡萄糖濃度下的發酵速率最快？
3. 酵母菌濃度對發酵速率的影響：酵母菌濃度愈高，發酵速率是否會愈快？哪一種酵母菌濃度下的發酵速率最快？

〔發酵速率檢測及原理〕

本實驗藉由酒精發酵會產生 CO_2 的特性，以發酵測量計測量 CO_2 產生的多寡來代表發酵作用的相對速率，當酵母菌發酵產生的 CO_2 氣體釋出後會占據溶液的空間，產生的壓力會把試管內溶液的液面壓向下，只要量測液面下降的變化量，即可代表發酵作用的相對速率。

〔將結果數據繪製圖表的方式〕

本實驗會產生很多數據，為了能直觀的看出實驗數據的變化趨勢，將實驗數據製作成圖表，以便尋找規律，得出結果，一般有下列兩種方式：

1 長條圖

- (1) 強調每個時間點或是物理量，兩組數據有什麼不同。
- (2) 適合比較各操縱變因造成應變變因的差異量，或是單一應變變因隨操縱變因而變化。例如：表①及圖①(a)、表②及圖②(a)。

2 折線圖

- (1) 強調數據隨時間 / 物理量變化的趨勢。
- (2) 適合用操縱變因是「連續變項」時，著重在資料的趨勢。例如：表①及圖①(b)、表②及圖②(b)。

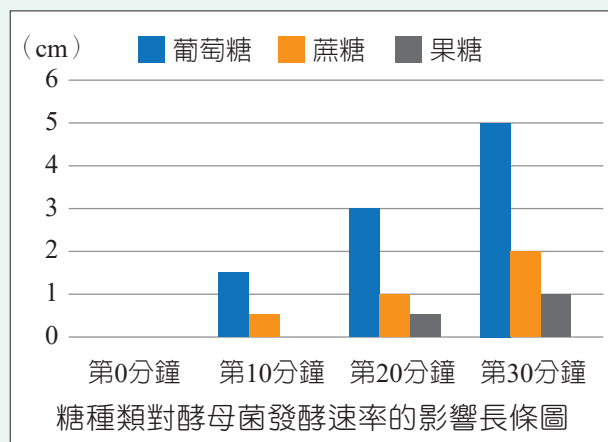
例 ①

0.5 克 / 10 ml 的酵母菌分別在濃度 0.5 克 / 10 ml 的葡萄糖、果糖及蔗糖溶液的發酵速率：

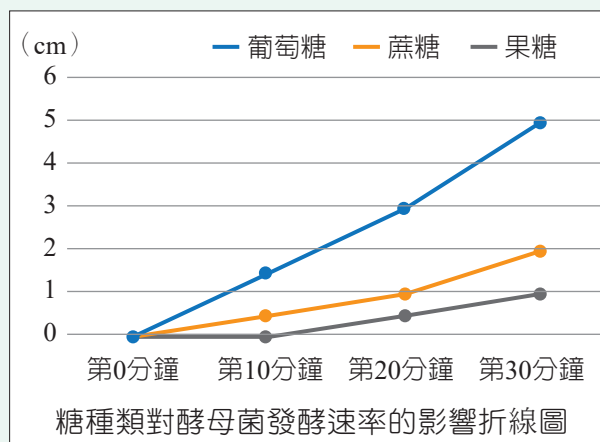
表① 糖種類對酵母菌發酵速率的實驗數據

時間	葡萄糖	蔗糖	果糖
第 0 分鐘	0	0	0
第 10 分鐘	1.5	0.5	0
第 20 分鐘	3	1	0.5
第 30 分鐘	5	2	1

(註：發酵速率以氣體空間高度降低量測定，單位：cm)



圖①(a) 以表①數據繪製的長條圖



圖①(b) 以表①數據繪製的折線圖

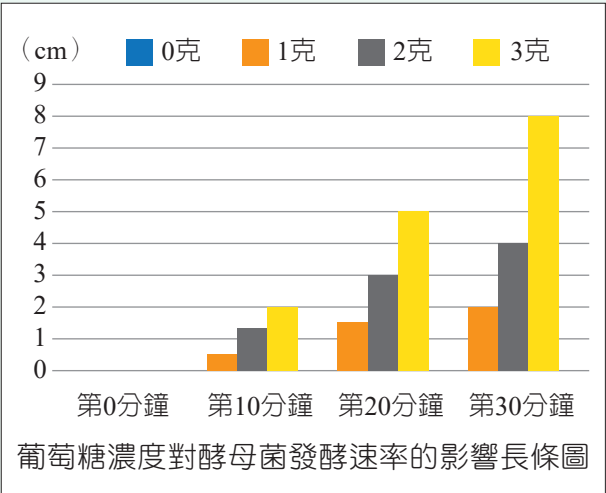
例 ②

0.5 克 / 10 ml 的酵母菌分別在葡萄糖濃度 1 克 / 10 ml、2 克 / 10 ml 及 3 克 / 10 ml 的發酵速率：

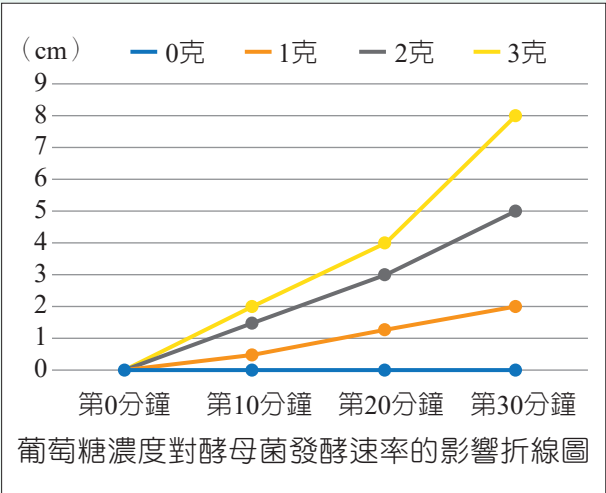
表② 葡萄糖濃度對酵母菌發酵速率的實驗數據

時間	葡萄糖	蔗糖	果糖
第 0 分鐘	0	0	0
第 10 分鐘	1.5	0.5	0
第 20 分鐘	3	1	0.5
第 30 分鐘	5	2	1

(註：發酵速率以氣體空間高度降低量測定，單位：cm)



②① 以表②數據繪製的長條圖



②② 以表②數據繪製的折線圖

〔實驗材料與器具〕

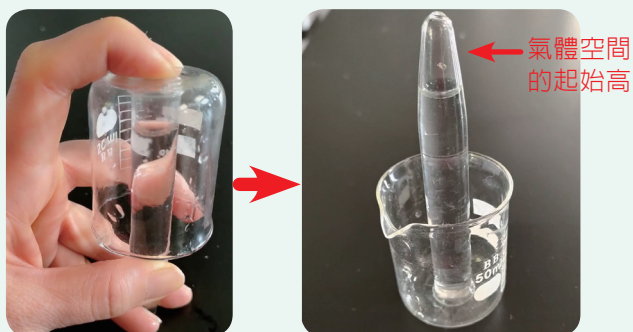
- | | | | |
|----------------------------|------|---------------------|------------|
| 1. 電子秤 | 6 臺 | 8. 50 ml 小燒杯、可套入試管的 | 12 個或 12 支 |
| 2. 活性酵母菌（粉） | 1 包 | 管的大試管或培養皿 | |
| 3. 葡萄糖（粉） | 1 包 | 9. 標籤紙 | 數張 |
| 4. 果糖（粉） | 1 包 | 10. 油性筆 | 1 隻 |
| 5. 蔗糖（粉） | 1 包 | 11. 試管架（視情況而定） | |
| 6. 刮勺 | 4 支 | | |
| 7. 10 ml 試管、離心管（附刻度更好）或發酵管 | 12 支 | | |

〔步驟〕

發酵測量計的製備

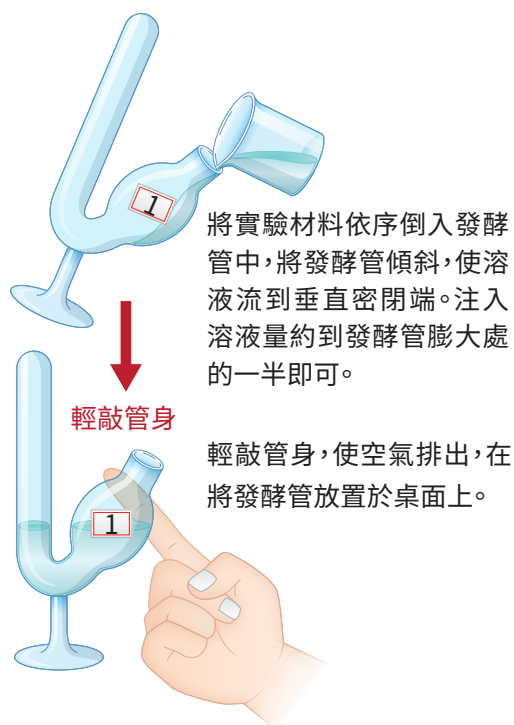
1 將要測定發酵速率的試管（或離心管）用 50 ml 小燒杯（或大試管、培養皿）倒轉套著，將試管底部向上推，直至試管管口接觸到小燒杯的底部。

2 接著緊握住試管與小燒杯，快速地倒轉，即完成發酵測量計。



❗ 勿讓試管口離開小燒杯的底部，並盡量減少試管內產生的氣泡。

若使用 **發酵管**，倒入溶液方式如下：



〔實驗設計〕

探討糖種類對發酵速率的影響

操縱變因	葡萄糖、果糖、蔗糖等三種糖
自變數	時間
應變變因	酵母菌發酵速率
控制變因	酵母菌的濃度、糖的濃度、溫度等

- 取四支 10 ml 試管，標註 1、2、3、4，分別於四支試管加入 2 克酵母粉。
- 接著分別在試管 1、2、3 各加入 2 克葡萄糖、果糖、蔗糖，試管 4 則不加任何糖，試管 4 作為對照組。
- 接著將試管 1、2、3、4 分別注入蒸餾水，直至達到管口為止。
- 依前述之發酵測量計的製備方式分別製備試管 1、2、3、4 的發酵測量計。
- 將四個發酵測量計平穩放置，量度每個發酵測量計內氣體空間的起始高。
- 每 10 分鐘，量度發酵測量計內氣體空間的高度，計算和記錄氣體容量的淨變化（即液面下降淨值）。記錄到 30 分鐘即停止實驗。
- 將此次結果的數據，記錄在探討活動紀錄簿內「探討糖種類對發酵速率的影響」的第一次表格。
- 上列步驟 1～6 重複二次，並將第二次及第三次結果的數據，分別記錄在探討活動紀錄簿內「探討糖種類對發酵速率的影響」的第二次及第三次表格。
- 完成步驟 1～8 後，將探討活動紀錄簿內三次表格的數據算出平均值，再將平均值繪出探討活動紀錄簿內所附的折線圖及長條圖中，或選用適當軟體輸入數據，再轉繪出折線圖及長條圖，黏貼於探討活動紀錄簿內。

探討葡萄糖濃度對發酵速率的影響

操縱變因	葡萄糖 1 克 / 10 ml、2 克 / 10 ml、3 克 / 10 ml 等三種不同濃度
自變數	時間
應變變因	酵母菌發酵速率
控制變因	酵母菌的濃度、糖的濃度、溫度等

1 取四支 10 ml 試管，標註 5、6、7、8，分別於四支試管加入 2 克酵母粉。

2 接著分別在試管 5、6、7 加入葡萄糖 1 克、2 克、3 克，試管 8 則不加任何糖，試管 8 作為對照組。

3 接著將試管 5、6、7、8 分別注入蒸餾水，直至達到管口為止。

4 依前述之發酵測量計的製備方式分別製備試管 5、6、7、8 的發酵測量計。

5 將四個發酵測量計平穩放置，量度每個發酵測量計內氣體空間的起始高。

6 每 10 分鐘，量度發酵測量計內氣體空間的高度，計算和記錄氣體容量的淨變化（即液面下降淨值）。記錄到 30 分鐘即停止實驗。

7 將此次結果的數據，記錄在探討活動紀錄簿內「探討葡萄糖濃度對發酵速率的影響」的第一次表格。

8 上列步驟 1～6 重複二次，並將第二次及第三次結果的數據，分別記錄在探討活動紀錄簿內「探討葡萄糖濃度對發酵速率的影響」的第二次及第三次表格。

9 完成步驟 1～8 後，將探討活動紀錄簿內三次表格的數據算出平均值，再將平均值繪出探討活動紀錄簿內所附的折線圖及長條圖中，或選用適當軟體輸入數據，再轉繪出折線圖及長條圖，黏貼於探討活動紀錄簿內。

探討酵母菌濃度對發酵速率的影響

操縱變因	酵母菌 1 克 / 10 ml、2 克 / 10 ml、3 克 / 10 ml 等三種不同濃度
自變數	時間
應變變因	酵母菌發酵速率
控制變因	糖的種類與濃度、溫度等

- 1 四支 10 ml 試管，標註 9、10、11、12，分別於四支試管加入上一個實驗中發酵速率最好的葡萄糖克數。
- 2 接著分別在試管 9、10、11 各加入酵母菌 1 克、2 克、3 克，試管 12 則不加任何酵母菌，試管 12 作為對照組。
- 3 接著將試管 9、10、11、12 分別注入蒸餾水，直至達到管口為止。
- 4 依前述之發酵測量計的製備方式分別製備試管 9、10、11、12 的發酵測量計。
- 5 將四個發酵測量計平穩放置，量度每個發酵測量計內氣體空間的起始高度。
- 6 每 10 分鐘，量度發酵測量計內氣體空間的高度，計算和記錄氣體容量的淨變化（即液面下降淨值）。記錄到 30 分鐘即停止實驗。
- 7 將此次結果的數據，記錄在探討活動紀錄簿內「探討酵母菌濃度對發酵速率的影響」的第一次表格。
- 8 上列步驟 1～6 重複二次，並將第二次及第三次結果的數據，分別記錄在探討活動紀錄簿內「探討酵母菌濃度對發酵速率的影響」的第二次及第三次表格。
- 9 完成步驟 1～8 後，將探討活動紀錄簿內三次表格的數據算出平均值，再將平均值繪出探討活動紀錄簿內所附的折線

圖及長條圖中，或選用適當軟體輸入數據，再轉繪出折線圖及長條圖，黏貼於探討活動紀錄簿內。

〔問題與討論〕

1. 由「探討糖種類對發酵速率的影響」的記錄結果轉繪的圖表中，2 克的葡萄糖、果糖、蔗糖，發酵結果最佳及最差的分別為哪一種（或哪些）？葡萄糖、果糖、蔗糖分別為單糖或雙糖？單糖雙糖是否會影響發酵速率？酵母菌對於糖類的利用喜好順序為何？為什麼？
2. 由「探討葡萄糖濃度對發酵速率的影響」的記錄結果轉繪的圖表中，1 克、2 克、3 克葡萄糖，發酵結果最佳及最差的分別為哪一種（或哪些）？葡萄糖濃度是否愈高發酵速率愈快？為什麼？
3. 由「探討酵母菌濃度對發酵速率的影響」的結果紀錄轉繪的圖表中，1 克、2 克、3 克酵母菌，發酵結果最佳及最差的分別為哪一種（或哪些）？酵母菌濃度是否愈高發酵速率愈快？為什麼？
4. 請設計實驗探討其他影響發酵作用的因子，如：溫度、pH 值等。

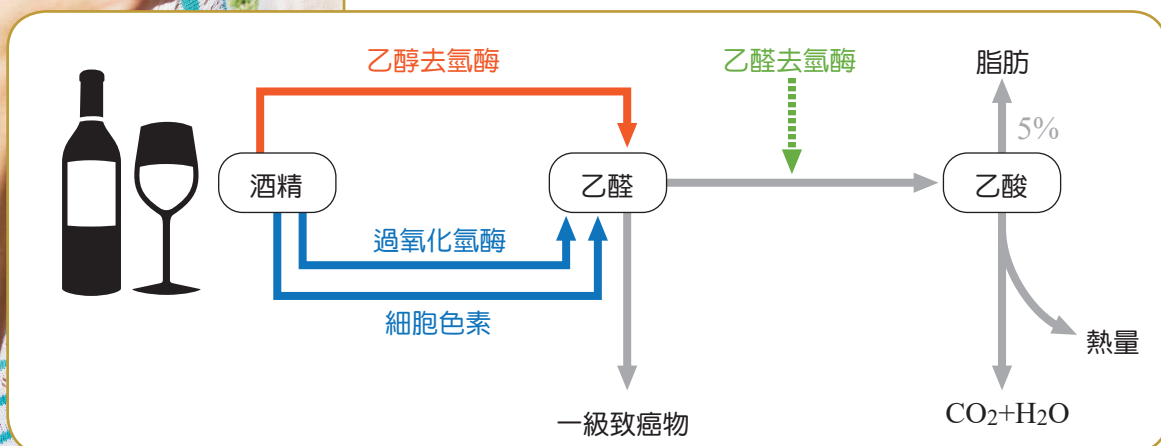


喝酒 為什麼會 臉紅？

早 在 10000 年前的石器時代，人類便已開始釀酒；無論在東方或西方，都有著極為豐富的飲酒文化。酒，豐富了人類的生活，但飲酒過度，也會對人體造成傷害；因此，對人類而言，酒可算是一種讓人又愛又懼的飲品。

每個人對酒的耐受度不同，酒量不同、喝酒後的反應也不相同；有些人只要淺酌，就會滿臉通紅，有些人就算喝個酩酊大醉，也能面不改色，這是人體內酵素表現量的差異所致。

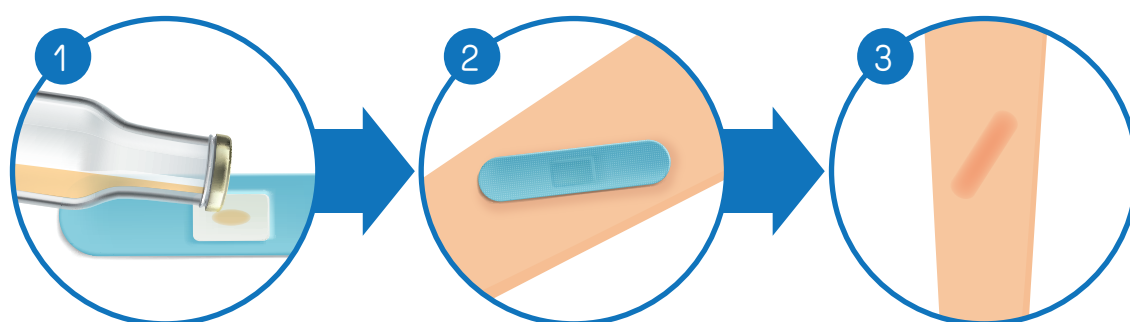
在正常人的酒精代謝過程中，進入人體的酒精會先被肝細胞中的酵素——乙醇去氫酶（ADH）催化，將酒精（乙醇）代謝為乙醛，再由乙醛去氫酶（ALDH₂）繼續反應，將乙醛代謝為乙酸，最終轉化成水和二氧化碳，由排泄器官所排除，藉此降低酒精對人體的傷害（圖①）。然而，喝酒會臉紅的人，細胞中缺乏 ALDH₂，無法及時分解乙醛；當乙醛過度堆積時，會刺激微血管，促使血管擴張，因此產生臉部或全身泛紅的症狀；此外，乙醛也會刺激神經，產生頭暈、眼花、噁心等醉酒的反應，甚至增加罹癌的風險。



圖① 肝臟「解酒」過程

相較於西方人，亞洲人體內 ALDH_2 基因有缺陷的比例較高；在臺灣，缺乏者的比例更高達 47%，位居世界之冠。我們無法改變基因的缺陷，但能改變生活習慣，降低健康上的風險。

如何得知自己的 ALDH_2 基因是否有缺陷？可藉由以下方法來檢測（圖②）：此種方法的檢測準確度可達 70%，在飲酒之前，不妨先了解一下自己的身體狀況。



1 取一塊OK繃，於中央棉紗處滴加酒精。

2 將OK繃貼在皮膚內側角質層較薄的區域。

3 20分鐘後，取下OK繃，觀察該處皮膚的變化；若皮膚出現紅色斑塊，表示體內可能缺乏 ALDH_2 的表現。

圖② ALDH_2 基因缺陷檢測

DO YOU KNOW?

Q¹

1. 在人體內進行酒精代謝的主要器官為下列何者？

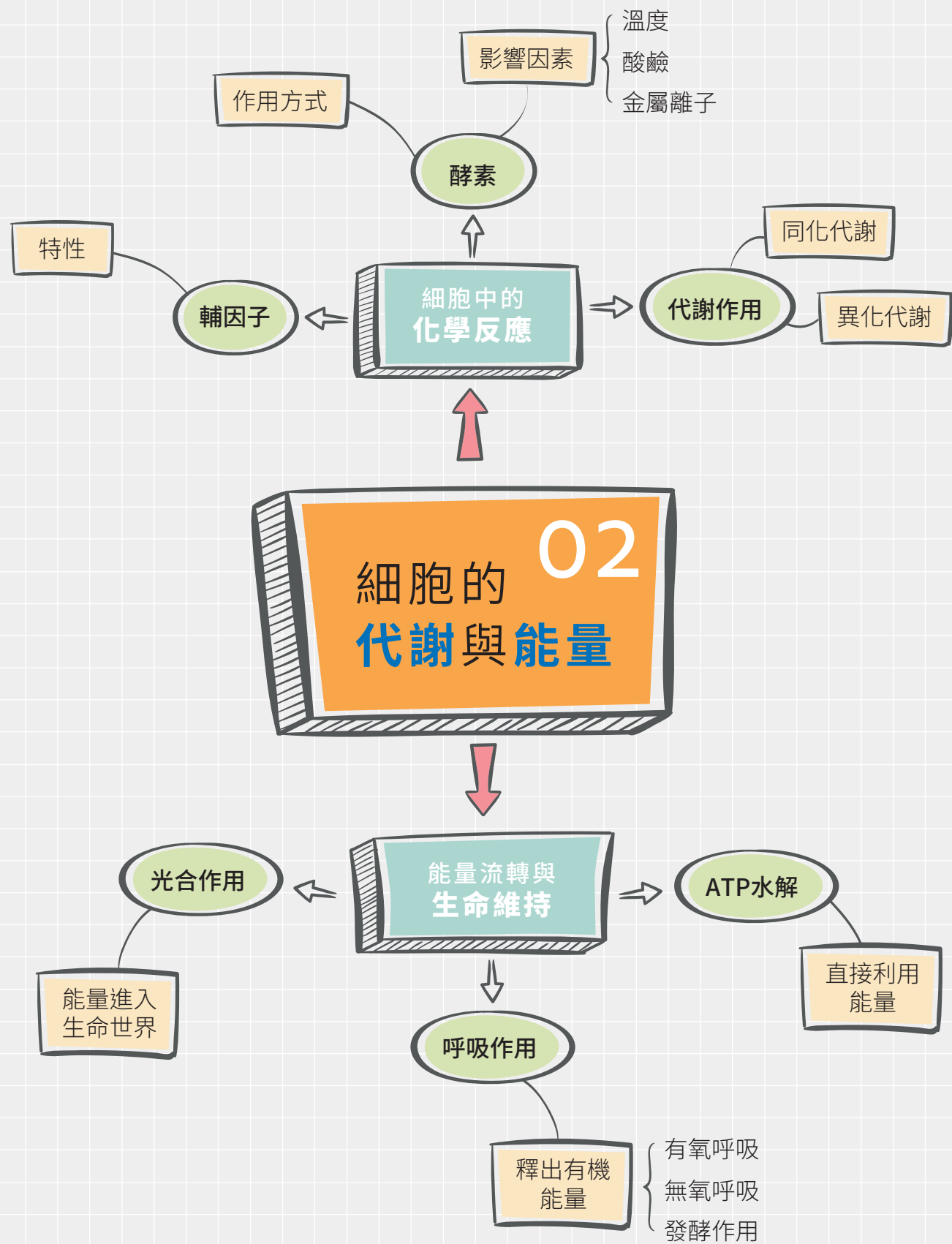
☐ 皮膚 ☐ 肝臟 ☐ 消化道 ☐ 腎臟

Q²

2. 下列何者為 ALDH_2 基因缺陷的患者可能表現的症狀？

☐ 酒量較好 ☐ 喝酒後不易臉紅 ☐ 體內乙酸濃度較高
☐ 罹癌機率大





重點摘要

Biology Summary

2-1 細胞的化學反應

1. 生物體內所進行的化學反應可稱為代謝作用，同化代謝和異化代謝為細胞中常見的兩種化學反應。
2. 在化學反應進行時，需先提供活化能才能推動反應的進行。
3. 酵素又稱為酶，是生物體內的催化劑，主要由蛋白質所組成，可用於降低化學反應所需的活化能。
4. 酵素具有特定的立體結構；在酵素分子中，可與受質結合的部位稱為「活化位」；在進行反應時，酵素會先與受質結合，形成一種不穩定的「酵素－受質複合體」，進而催化反應的進行。
5. 每種酵素只能與特定的受質結合，以催化特定的化學反應，此種特性稱為「專一性」。
6. 許多酵素需要其他輔因子的協助，才能發揮功能；酵素所需的輔因子包括金屬離子與輔酶兩大類。
7. 生物體內代謝反應之反應速率，會隨著受質或酵素濃度的增加而提高。此外，凡是能影響蛋白質活性的因素，如：溫度、酸鹼度和金屬離子等，亦會影響酵素的活性。

2-2 能量流轉與生命維持的關係

1. 生命世界中，能量取得與轉換主要包括三種類型：
 - (1) 光合作用：來自太陽的光能被轉變為有機物的化學能。
 - (2) 呼吸作用：有機物的化學能被轉變為 ATP 的化學能。
 - (3) 細胞進行合成反應或作功：由 ATP 的化學能提供能量。
2. ATP 的構造與功能：
 - (1) 構造：由腺嘌呤、核糖與三個磷酸基構成，磷酸基之間具有高能鍵，水解時可釋出能量。
 - (2) 功能：當細胞進行需能反應時，ATP 水解成 ADP 與 Pi，釋出的能量可供利用；當細胞進行釋能反應時，細胞可利用釋出的能量，使 ADP 加上 Pi 而生成 ATP，暫時儲存能量。

2-3 呼吸作用

1. 有氧呼吸（以葡萄糖為例）

階段	進行部位	反應特色
第一階段：不需 O ₂ 參與	細胞質液	糖解作用：葡萄糖分解為丙酮酸，釋出的能量一部分生成 ATP，一部分由 NADH 攜帶
第二階段：需 O ₂ 參與	粒線體	丙酮酸轉變成乙醯輔酶 A，再經由檸檬酸循環和內膜上的電子傳遞鏈，釋出 CO ₂ 和 H ₂ O，並合成 ATP

2. 無氧呼吸（以葡萄糖為例）

階段	進行部位	反應特色
第一階段：不需 O_2 參與	細胞質液	糖解作用：葡萄糖分解為丙酮酸，釋出的能量一部分生成 ATP，一部分由 NADH 攜帶
第二階段：不需 O_2 參與	細胞膜	丙酮酸轉變成乙醯輔酶 A，再經由檸檬酸循環和內膜上的電子傳遞鏈，釋出 CO_2 和 H_2O ，並合成 ATP

3. 發酵作用

發酵作用	O_2 供給不足時，電子傳遞受阻，NADH 或 $FADH_2$ 堆積，導致糖解作用與檸檬酸循環無 NAD^+ 或 FAD 的供應而停止，細胞轉而在細胞質液中代謝丙酮酸以再生 NAD^+ 的過程
酒精發酵	植物、酵母菌及一些細菌在無氧的情況下，丙酮酸被轉變為乙醇、釋出 CO_2 ，並使 NADH 氧化成 NAD^+
乳酸發酵	乳酸菌等微生物及動物的骨骼肌細胞在 O_2 供應不足時，丙酮酸被還原成乳酸，並使 NADH 氧化成 NAD^+

4. 有氧呼吸與發酵作用的比較

有氧呼吸		葡萄糖 $\rightarrow$ 2 丙酮酸 $\rightarrow$ $6CO_2 + 6H_2O +$ 大量能量
發酵作用	酒精發酵	葡萄糖 $\rightarrow$ 2 丙酮酸 $\rightarrow$ $2CO_2 + 2$ 乙醇 + 少量能量
	乳酸發酵	葡萄糖 $\rightarrow$ 2 丙酮酸 $\rightarrow$ 2 乳酸 + 少量能量

5. 呼吸作用中 ATP 生成的方式

粒線體內 ATP 的生成	在粒線體內，NADH 與 $FADH_2$ 的 e^- 進入內膜的電子傳遞鏈時，傳遞過程釋出的能量可將基質中的 H^+ 輸送至膜間腔，在內膜的兩側形成質子梯度，當 H^+ 經由膜上 ATP 合成酶由膜間腔高濃度處往基質低濃度處擴散時，可使 ADP 磷酸化生成 ATP
糖解作用中 ATP 的生成	糖解作用中，葡萄糖分解產生的磷酸烯醇丙酮酸，在酵素催化下將其磷酸基與能量轉移給 ADP，使生成 ATP



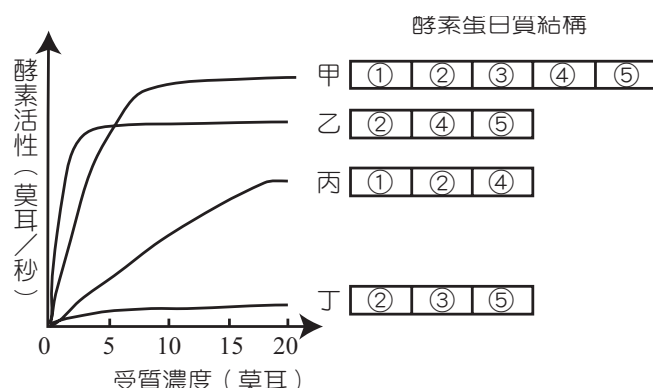
自我評量

Biology Exercise

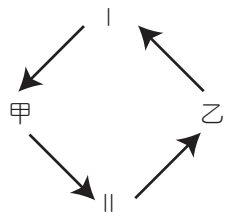
單選題

【題組】某生利用基因工程改變具有①～⑤功能性區域的酵素甲基因，剔除部分區域後，獲得酵素乙～丁。取等量的酵素甲～丁進行酵素活性分析。試依下圖結果回答以下兩題。

- () 1. 下列推論何者正確？
 (A) 酵素甲活性不因酸鹼度變化而有影響
 (B) 酵素乙可與受質相結合
 (C) 提供酵素丙更高濃度的受質，其活性可持續上升
 (D) 酵素丁具有最高活性。



- () 2. 對於酵素活性而言，最重要的功能性區域為何？
 (A) ① (B) ② (C) ③ (D) ④。
- () 3. 某生從泉溫為 $60 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 的陽明山馬槽溫泉分離到一株細菌，該生為了獲知此細菌過氧化酵素活性的最佳作用溫度範圍，下列哪組處理溫度的設計較合理？
 (A) $0、20、40、60、80^{\circ}\text{C}$ (B) $30、40、50、60、70^{\circ}\text{C}$
 (C) $45、60、75、90、100^{\circ}\text{C}$ (D) $80、85、90、95、100^{\circ}\text{C}$ 。 【107 指考】
- () 4. 在離體實驗中，人的胃蛋白酶在室溫 (25°C)、 $\text{pH}7.0$ 的溶液中活性很低，如何改變實驗條件以提昇胃蛋白酶的活性？
 (A) 降低 pH 值，加溫 (B) 降低 pH 值，降溫 (C) 增加 pH 值，加溫 (D) 增加 pH 值，降溫。 【103 指考】
- () 5. 細菌和人體細胞的構造，有共通性也有歧異性，下列有關兩者的比較何者正確？
 (A) 兩者的細胞核中都有粒線體
 (B) 兩者的細胞內都有高基氏體
 (C) 兩者的細胞質中都有核糖體
 (D) 細菌沒有細胞膜，但有細胞壁與外界區隔
 (E) 人體細胞沒有細胞壁，內部的次構造皆用膜包圍。 【108 學測】

- () 6. 下列何者直接供給細胞生物生理活動所需的能量？
(A) 葡萄糖 (B) 胺基酸 (C) ATP (D) DNA。
- () 7. 如附圖簡單圖解中，假如「甲」代表 H_2O 和 CO_2 ，則
(A) 「Ⅱ」是呼吸作用，「乙」是醣類和氧，「Ⅰ」是光合作用
(B) 「Ⅱ」是光合作用，「乙」是醣類和氧，「Ⅰ」是呼吸作用
(C) 「Ⅱ」是光合作用，「乙」是 H_2O 和 CO_2 ，「Ⅰ」是呼吸作用
(D) 「Ⅱ」是光合作用，「乙」是醣類和水，「Ⅰ」是呼吸作用。 【108 學測】
- 
- () 8. 在葡萄糖氧化產生能量的過程中，氧分子 (O_2) 直接參與下列哪一個步驟？
(A) 糖解作用 (B) 將丙酮酸氧化成乙醯輔酶 A (C) 檸檬酸循環 (克氏循環)
(D) 電子傳遞鏈過程。
- () 9. 細菌沒有粒線體，試推測其有氧呼吸的電子傳遞鏈會在何處進行？
(A) 細胞質 (B) 核糖體 (C) 細胞膜 (D) 細胞壁。
- () 10. 比較受質層次磷酸化作用與化學滲透磷酸化作用，下列敘述何者正確？
(A) 皆需要酵素催化 ATP 合成
(B) 皆需要高能量物質提供磷酸根
(C) 需要電子傳遞以造成 H^+ 濃度差異
(D) 粒線體和葉綠體中皆會進行此二種磷酸化作用。

多選題

- () 1. 有關能量流轉的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）
(A) 生命世界的最終能量大多來自太陽輻射能
(B) 能量的流轉可循環利用
(C) 光合作用產生的氧氣可以作為呼吸作用的材料
(D) 物質的轉換過程中常伴隨能量的轉換
(E) 生產者能直接利用光能進行細胞的生理功能。
- () 2. 一個 ATP 的結構包括哪些成分？（應選 3 項）
(A) 胺基酸 (B) 五碳醣 (C) 脂肪酸 (D) 磷酸 (E) 含氮鹼基。
- () 3. ATP 在細胞內扮演能量收支的角色，下列有關生物細胞內 ATP 分子的相關敘述，何者正確？（應選 2 項）
(A) 一分子的 ATP 含有 1 個高能磷酸鍵
(B) 雙醣分子轉變成單醣時需要 ATP 才能進行
(C) 沒有粒線體的細胞不能合成 ATP
(D) 細胞中 ATP 含量多而 ADP 少時，有利於細胞進行生化合成
(E) 粒線體、葉綠體及細胞質都可產生 ATP 分子。 【106 學測修改】

- () 4. 下列何者是有氧呼吸與無氧呼吸的相同點？（應選 3 項）
(A) 皆有糖解作用
(B) 皆在檸檬酸循環產生 CO_2
(C) 皆不需氧氣
(D) 皆以氧化磷酸化作用合成 ATP
(E) 終產物中皆仍含有機物。
- () 5. 下列何者是酵母菌與乳酸菌發酵作用的相同點？（應選 3 項）
(A) 合成 NADH (B) 產生 CO_2 (C) 不需氧氣 (D) 合成 ATP
(E) 終產物中仍含有機物。
- () 6. 下列有關呼吸作用的敘述，何者正確？（應選 3 項）
(A) 缺乏粒線體的細胞，無法進行有氧呼吸
(B) 呼吸作用產生的能量通常以醣類、脂質、蛋白質形式存在
(C) 無論是有氧呼吸或發酵作用的過程中皆有丙酮酸
(D) 無論是有氧呼吸或無氧呼吸的過程中皆有電子傳遞鏈
(E) 無論是有氧呼吸、無氧呼吸或發酵作用，過程中皆發生一系列氧化還原反應。
- () 7. 在細胞的代謝反應中，下列何者可合成 ATP 分子？（應選 4 項）
(A) 糖解作用 (B) 受質層次磷酸化反應 (C) 氧化磷酸化作用 (D) 檸檬酸循環
(E) 固氮作用。