

如何讓中學生理解 ATP 一個類比教學實例

湯偉君

臺北市立萬芳高級中學

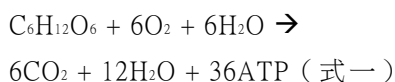
一、前言

ATP 在生物學上的重要性，無須筆者贅言，在談論到生命運作的基本機制時，終要面臨到 ATP 三個大字。台灣的中學生大約在高一或高二，會開始正式接觸到 ATP 這個概念^(註一)，就筆者多年的任教經驗以及個人求學時代的學習經驗可知，ATP 並不是一個容易理解的概念，它屬於抽象的分子層次，看不到摸不著，即使教師給學生看了 ATP 的分子結構式，也難以讓他們在心中建立起具體的形像，畢竟高一甚至高二學生也不熟悉化學物質的分子式。因此 ATP 是何物？ATP 能作何用？ATP 在哪裡？成為一般高中生難以學習的主題，也是生物科教師必須克服的教學問題。筆者最初面對此一教學難題，也一直苦無良方，不過三年前發展出一套類比策略，經過三年的教授，證實可以很有效的讓學生理解 ATP，因此在此呈現給生物教學同儕和先進，以收拋磚引玉之效。本文首先將以某版本教科書的敘述為例談論 ATP 難以理解之因，接著談論 ATP 的類比實例，再以光合作用的過程更精緻化的應用此一類比，最後討論本主題類比教學的優劣點。

二、ATP 為何難以理解

ATP 為何難以理解，除了它屬於肉眼不可見的抽象分子層次外，教科書的編寫

方式，常也是造成學生難以理解的主因，筆者以某一版本教科書高三生物上冊第三章第二節^(註二)，所寫的呼吸作用反應式為例：



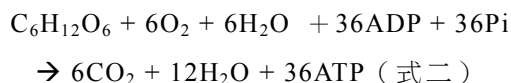
高中學生在經過國中理化課（或自然與生活科技領域）或高一基礎生物「物質循環」概念的洗禮之後，一般程度的學生大概都已有「能量與物質有不同本質」、「物質不滅定律」等基本概念。當擁有這些概念的學生接觸這個反應式時，他們會有什麼想法呢？我們可以推測如下：

「嗯，這個化學式有符合物質不滅定律喔，因為式子兩邊物質有平衡，葡萄糖有 6 個碳，所以產生 6 個二氧化碳，氧原子和氫原子也有平衡，所以有符合物質不滅、、、啊，不對，那 36 個 ATP 哪裡來的？它應該不是物質吧？因為物質不會無中生有，糖和氧氣和水的的所有原子都拿去做二氧化碳和水了啊，所以 ATP 不會是物質，那 ATP 如果不是物質，那會是什麼呢？、、、我想到了，國中有講過：呼吸作用是『糖＋氧→二氧化碳＋水＋能量』，ATP 就是那個能量啦，所以 ATP 就是能量，不是物質」。

上述的模擬說法雖是虛構，但它的推論符合邏輯，我相信一定有許多學生甚至成人有此想法（包括筆者當年高中時），這個想法有何迷思？最重要的便是誤把 ATP 視為非物質。該本教科書舉出這樣的一個化學式，基本上是延伸國中教科書的寫

法，只是把國字改寫成英文化學式，此舉可能是為了避免參雜到 ATP 分子層次的概念，怕學生不易理解呼吸作用，但這種寫法卻可能造成更大的迷思概念：「ATP 是能量不是物質」。這種迷思可能延伸出其它的迷思，包括 ATP 這個「能量」被用了以後會變成什麼？消失了還是轉變成什麼形態？熱能、動能還是位能。熱能、動能可以變成 ATP 嗎？石頭掉下來，消失的位能是否會變成 ATP？又如會認為能量是流轉的，所以 ATP 無法重複使用。

為了避免讓學生誤以為 ATP 是能量而非物質，這個反應式應該至少要改寫成：



如此，可以讓學生知道 ATP 是個物質，它不是無中生有出來的，而且是由 ADP 和 P_i 組合而成，但要向學生介紹式二的寫法，不可避免的要談到分子層次的 ATP，十分的抽象，除了以板書或投影片呈現 ATP、ADP、 P_i 的化學結構式之外，我們還能怎麼做？

三、ATP 的類比實例

在介紹 ATP 和 ADP 的關係和功能時，筆者使用廣為科教界知悉的 TWA (teaching with analogy)，這是由 Harrison & Treagust(1994) 所提出的類比教學模式，其實是修改自 Glynn(1991)的 TWA，不過兩者十分相似，但在此不多加討論兩者異同。TWA 教學流程為：(1) 介紹欲學習的概念(2)喚起學生對類比物的記憶(3)確認類比物的相關特徵(4)對應目標物與類比物兩者的相似性(5)指出類比的限制(6)歸納目標物的重點。所謂的目標物指的是教師欲介紹的概念，例如 ATP，所謂類比物指的是教師為了協助學生瞭解，所使用的比喻。

在本主題教學中所涉及的類比物是「充電電池」，是筆者偶然一個福至心靈所創造出來的，此處先以表一整理出類比物和目標物之間的對應。再以表二整理出應用 TWA 教授 ATP 概念的流程。

表一：類比物和目標物的對應

目標物	類比物
● ATP (或連結起來的 ADP 和 P_i) 是一種高能分子	● 充飽電的充電電池，是帶有電能的一種物體
● ADP	● 用完電的充電電池
● 化學能	● 電能
● ATP 分解所放出的能量，可以供應生物細胞活動需要。例如 ATP 可提供能量讓肌肉收縮。	● 充飽電的充電電池內的電能，可以讓電器產品有功用，例如可以讓機器小兔打鼓，或是讓手機可以使用。
● ATP 能量耗掉之後，變成 ADP ATP -----放能-----→ ADP + P_i	● 充飽電的充電電池，用完電後變成用完電的充電電池
● ADP 得到能量可以變回 ATP ADP + P_i -----吸能-----→ ATP	● 把用完電的充電電池，拿去充電後變成充飽電的充電電池。

表二：ATP 的類比教學

TWA 流程	ATP 類比教學實例
● 介紹欲學習的概念	1. ATP 是一種物質。 2. ATP 是一種含有高能量的分子。 3. ATP 所含有的能量可以供應生物細胞執行各項生理活動。 4. 生物細胞活動所需的能量來自 ATP。 5. ATP 的能量用掉之後變成 ADP。 6. 若 ADP 得到能量，它可以變回 ATP。(註三)
● 喚起學生對類比物的記憶	可充電電池市面上到處都有，譬如你所使用的手機，一定有一個充電電池。
● 確認類比物的相關特徵	充電電池是一個特殊物體，裡面含有一些化學成分，當它充飽電之後，它可以提供出它的能量讓機器（如手機）運作。當它用完電之後，會變成沒電的充電電池。不過只要再拿去充電，又可變回有電的充電電池，再加以使用。
● 對應目標物與類比物兩者的相似性	ATP 可以類比成有電的充電電池，兩者的組成、功能和特性，都有相似之處。詳如表一
● 指出類比的限制	提醒同學，這只是個幫助瞭解的比喻，必須要注意： 1. ATP 所放出的能量並非是電能，而是化學能。 2. 手機只需要一個充電電池，但細胞裡頭有千千万萬的 ATP。 3. Pi 並不一定要和當初那個 ADP 結合，不像充電電池裡的不同化學成分永遠不分開。
● 歸納目標物的重點	再把欲學習的概念整理一次（如欄一）。並以其他的類比衍伸，回答學生的問題。例如「ATP 有壽命嗎？」

四、光合作用和呼吸作用

高中生物課本中最早介紹 ATP，便是在光合作用和呼吸作用中這兩個單元，在此再用充電電池的類比，結合表二，來介紹光合作用和呼吸作用中，ATP 的角色和功能。

1、光合作用（適用程度高二或高三）

A、目標概念^(註四)：

植物進行光合作用最大的目的是為了生成糖類，整個過程可分光反應和暗反應，光反應可以生成 ATP 和 NADPH，暗反應則是把 CO₂ 經過一系列化學反應過程

變成糖類，但暗反應需要能量，這些能量便是由光反應所產生出來 ATP 和 NADPH 所供應，ATP 和 NADPH 一旦把能量提供給暗反應之後，會變成 ADP 和 NADP⁺，而光反應就是，葉綠囊膜利用所吸收的光能，把 ADP 和 NADP⁺ 轉回 ATP 和 NADPH。
B、類比物

當我們買手機時，除了手機、電池還會附一個充電器，手機的最重要目的是講電話，但這個功能必須由充電電池提供能量才能完成，充電電池一旦用完電之後，必須放到充電器上，連上插座，利用電能使充電電池回復滿電狀態，以供手機通話使用。

C、類比物與目標物的詳細對應，如表三：

以手機做為類比，是因它是當前最普及的電子儀器，幾乎每個人都擁有過它或至少接觸過它的經驗，尤其它是高中生必備交友工具，高中生對手機都十分熟悉，

正適合拿來作類比。

2、呼吸作用（適用於高二或高三）

為節省篇幅，不再詳述呼吸作用的目標概念^(註五)和類比物，僅以表四列出類比對應，教學流程則與表二相同。

表三：光合作用的類比對應表

目標物	類比物
● 光合作用的光反應與暗反應	● 手機通話和電池充電的關係
● 光合作用最大目的是合成葡萄糖	● 手機最大功能是通話
● 光反應合成 ATP 和 NADPH	● 充電後得到滿電的電池
● 光能	● 電能
● 葉綠囊膜	● 充電器
● 暗反應合成葡萄糖需要能量	● 手機通話需要電能
● ATP 和 ADP	● 一種充電電池，例如鋰電池，分別在有電和沒電的狀態
● NADPH 和 NADP^+	● 另一種充電電池，例如鎳氫電池，分別在有電和沒電的狀態

表四：呼吸作用的類比對應表

目標物	類比物
● 呼吸作用	● 把電池充電的過程
● 粒線體（或粒線體內膜）	● 充電器
● 葡萄糖分解的化學能	● 電能
● ATP	● 充飽了電的鋰電池
● NADH 和 NAD	● 第三種充電電池，分別在有電和沒電的狀態
● FADH_2 和 FAD	● 第四種充電電池，分別在有電和沒電的狀態
● NADH、 FADH_2 的能量將可使 ADP 變成 ATP	● 第三、四種充電電池的電能，是要讓第一種充電電池（ATP-ADP）充飽電。
● 粒線體生成的 ATP，可讓生物細胞進行各項活動	● 充飽了電的鋰電池，可讓各種電子產品發揮功能。

五、ATP 類比教學的優缺點

「好比說、、、」、「就像是、、、」，這兩個開頭語，想必是許多科學教師在教學過程中常使用的話語，當教師使用這兩字詞時，就可能是在進行類比教學，也就是說類比其實普遍存在於中小學的科學教學中。類比教學的優劣也已經過許多科學教育研究學者的實證研究，相關文獻甚多，在此也不多費言，最主要的好處是可以協助學生瞭解不熟悉的概念，協助他們建立起較為具體的心中圖像。例如本主題教學，可以利用中學生所熟悉的充電電池，來類比較為抽象的 ATP 分子，使學生瞭解 ATP 的組成、功能、和 ADP 的關係，甚至可以把光合作用和呼吸作用的相關概念都納入這個類比系統中，就筆者的教學經驗，每當用這一個類比教學後，大部分學生都會有「喔，原來這樣」的恍然大悟表情。不過文獻也指出，因為類比物和目標物不可能完全的對應，若學生做過度的引伸，可能會導致產生許多迷思概念。此本主題教學為例，生物學科專家輕易的可以看出有一些破綻，例如表二所指出的類比限制（如細胞的 ATP 不像手機電池只有一個，ATP 不是放出電能等），若未提醒學生，恐怕造成其它的迷思（如：一個細胞只有一個 ATP）。這些可能的迷思，筆者通常是藉由學生在當時課堂的發問，以及評量中的非選擇題來發現，一旦發現到學生過度引伸類比產生迷思，則會提醒學生某些角度這個類比是不適用的。

雖然類比教學有些缺點，但它的好處也不可磨滅，筆者僅以淺薄的教學經驗，提供一個有效的類比供各位先進參考，也請不吝指教。

（註一）例如：龍騰版高一基礎生物第一章能量流轉的單元，南一版高二生命科學上冊第三章光合作用，分別是各該版本教科書首度提到 ATP。

（註二）（九十三年版第 62 頁）

（註三）此處教師可根據學生程度，決定是否介紹磷酸根，若要完全符合物質概念，則磷酸根不可遺漏，但為避免一開始概念不明確時的混淆，可以先暫時略過，等把 ADP、ATP 的相關性介紹之後，再加以補充。

（註四）為求本文敘述簡略，在此省略一些細節，如 ATP 水解後應該為 $ADP + Pi$ 等。另外依據不同程度（高二或高三以及不同教科書）會有不同概念豐富度的描述，但在此只取最簡易版本。

（註五）以龍騰版本和南一版高二、高三所提到的呼吸作用概念為基準。

六、參考資料

- 邱美虹(1993). 類比與科學概念的學習。教育研究資訊，1(6)，79-90。
- 高淑芬、邱美虹（1998）類比的檢索與對應。科學教育學刊，6(1)，63-80
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton. (Eds.), The Psychology of Learning Science. (pp. 219-240). New Jersey: Lawence Erlbaum Associates
- Harrison A. G. & Treagust D. F. (1993). Teaching with analogy : A case study in grade-10 optics. Journal of Research in Science Teaching. 30(10), 1291-1307