

# 利用呼吸作用來找碳

**本** 小節第一部分，學生兩兩分組，以水或糖水餵養酵母菌樣本，蒐集觀察結果並回答問題：「攝食與二氧化碳的產生，有什麼關係？」透過討論以及示範，學生將學習到：許多生物包括酵母菌，攝食固態含碳化合物（糖），然後釋放出氣態的二氧化碳。往後學生還將學到：這樣的呼吸過程，只是地球上的碳從一地轉移到另一地的其中一種方式而已。本單元學生的學習將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 大部分的生物取得能量以及物質，用含碳的分子建造身體。生物分解分子並且釋放出二氧化碳氣體，就是呼吸作用。

學生也將學到：

- 有些動物也會透過甲烷釋放出碳。
- 所有碳儲存庫的碳總量，是固定不變的；但是個別儲存庫的含碳量，因為碳從這個儲存庫流動到另一個儲存庫，是會改變的。

利用呼吸作用來找碳	預計時間
執行酵母菌的調查	15 分鐘
解釋調查結果	10 分鐘
討論碳的進出	5 分鐘
碳循環的起始圖	15 分鐘
<b>總計</b>	<b>45 分鐘</b>

## 單元目標

### 科學內容

- 碳循環

### 科學應用

- 從證據提出解釋
- 解釋並創造圖表

### 科學本質

- 科學解釋根基於證據
- 在蒐集新的證據方面，科技扮演重要角色

### 科學語言

- 利用科學字彙
- 參加以證據為基礎的討論

## 你要準備以下項目

### 全班需求

- 投影設備 \*
- 水 \*
- 連結網路的電腦或教學資源光碟 \*
- 2-2 小節的八張投影片
- 1 盎司乾燥活性酵母菌
- 16 盎司蒸餾水或其他水源  
(確定不會改變 BTB\* 的顏色即可)
- 1/4 茶匙量匙
- 3/4 茶匙小蘇打
- 1 個測量用水壺，500 毫升
- 影印包
- 3 根定量滴管
- 2 根試管
- 可密封的塑膠容器
- 1 罐 (18.75 公克) 葡萄糖粉末
- 1 根塑膠吸管
- 1 把剪刀 \*
- 1 個透明塑膠杯 (9 盎司)
- 1 瓶溴瑞香草藍 (BTB)
- 1 根試管刷

### 每組學生需求 (兩對學生)

- 1 個自助餐餐盤
- 2 個透明塑膠杯 (9 盎司)
- 4 根試管，內含培養的酵母菌
- 1 罐 15 毫升的 BTB (濃度為 0.04%)
- 2 個小塑膠杯 (1 盎司)，加入兩滴測試過的水
- 2 個小塑膠杯 (1 盎司)，加入兩滴葡萄糖溶液
- 裝入信封袋的碳卡 \* (2-1 小節)
- 4 根定量滴管
- 2 個測試碟 (test trays)
- 4 根攪拌棒
- (選擇利用) 色鉛筆

### 每個學生需求

- 調查筆記本：p.3, 6-7; (選擇利用) p.5(每日書面反思)
  - 影印包：碳循環圖
- \* 不包含於教材

## 準備上課

### 上課前一天的準備工作

1. **架設好投影或視聽設備：**架設完成並且進行測試，確保學生上課時能夠看到投影資訊。花幾分鐘檢視需要的教具以及補充資料，請參考 [mare.lawrencehallofscience.org/oss68](http://mare.lawrencehallofscience.org/oss68) 或是資源光碟。
2. **準備學生學習單：**從影印包影印下列資料——
  - \_ 碳循環圖 (每個學生一人一份)
3. **標示酵母菌：**利用油性麥克筆，以第 158 頁圖 2-1 當作操作指引，然後——
  - (a) 一半的試管標記“S”；(b) 另一半的試管標記“NS”；(c) 一半的定量滴管標記“S”，另一半的定量滴管標記“NS”；(d) 一半的 1 盎司塑膠杯標記“葡萄糖”，另一半的塑膠杯標記“NS”；(e) 所有測試碟的左邊標記“S”，右邊標記“NS”。
4. **準備盆子：**每個盆子，放置下列器材，讓兩對學生運用——
  - \_ 2 個透明杯子，內裝 1 根“S”試管以及 1 根“NS”試管
  - \_ 4 根攪拌棒
  - \_ 2 個標示“水”的小杯子
  - \_ 2 個標示“葡萄糖”的小杯子
  - \_ 2 根標示“NS”的定量滴管以及 2 根標示“S”的定量滴管
  - \_ 1 罐 BTB
  - \_ 2 個標示過的測試碟
  - \_ (選擇利用) 黃色、藍色以及綠色的色鉛筆

## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO2  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

### 科學論證

你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？

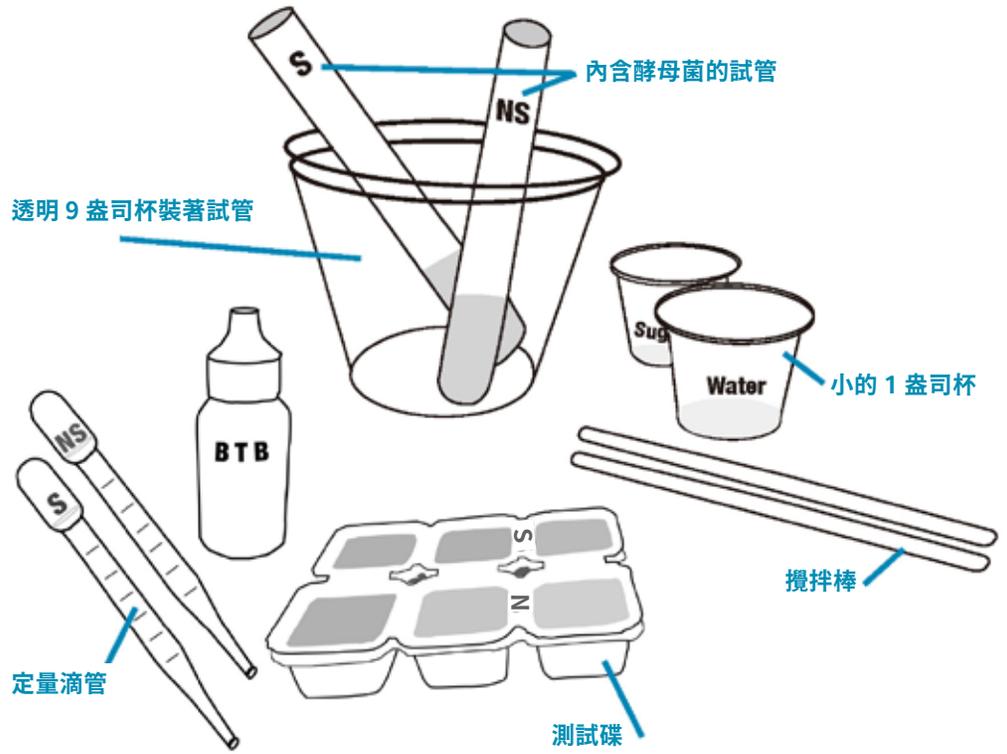


圖 2-1 上圖是一套酵母菌測試器材（一對學生用），請將兩套放在自助餐盤上，以便把所需器材分配到實驗桌

## 教師注意事項

5. **準備實驗用吸管：**在靠近吸管末端用剪刀剪出小型、鑽石形狀的開口（長度約 1 公分）。開口的用處是防止志願者意外吸到液體。

### 開始上課前的準備

1. **準備酵母菌培養：**以下材料，足夠一個班級 32 名學生運用——
  - a. 至少在課程開始前 1 小時，準備可密封的容器讓乾燥活性酵母與 4 盎司（125 毫升）的測試水（請見下方）混合（溫度與體溫相同，約華氏 99 度）。此時容器不加蓋，讓內容物接觸到空氣，靜置至少 1 小時
  - b. 加入 3/4 茶匙小蘇打，輕輕與內容物混和。小蘇打的作用是讓 pH 值稍微增高，這樣產生的二氧化碳會讓藍色的 BTB 變成黃色
2. **備置葡萄糖溶液：**以下材料，足夠兩個班級 64 個學生運用——把 6 盎司測試過的水（請見下方），倒進測量用的水壺。將葡萄糖粉末灑在水中，並且持續攪拌到葡萄糖溶解為止。
3. **把個別液體倒進盤子上的試管、水杯與糖水杯：**
  - a. 利用 1 根定量滴管，讓學生的 32 根試管，都注入兩管（請見下方）的培養酵母。（目測酵母的量，加到試管的高度約 3.5 公分）
  - b. 利用另 1 根定量滴管，讓每個水杯都注入兩管的測試水
  - c. 利用第 3 根定量試管，讓每個糖杯都注入兩管的葡萄糖水
4. **準備學生試範杯：**加大約 5 盎司的測試水，到容量為 9 盎司的透明塑膠杯。杯中加入足量的 BTB，讓水變成深藍色。備妥吸管，擺在杯子旁邊，到課程需要時再用。
5. **準備 BTB 試範試管（控制組）：**加兩管的測試水到 1 根標示為“NS”的試管。加兩管糖水到另一根標示為“S”的試管。

### 實驗成功的要素

- ◇ 用幾滴 BTB，測試待會實驗用的水，它應該要呈現深藍色。如果水色為綠色，請改用其他水源。有些瓶裝水或自來水會讓 BTB 變色，因此推薦使用蒸餾水，避免實驗過程誤判
- ◇ 定量滴管有刻度，捏住頂端然後放手，滴管內應該有 2.5 到 3 毫升的液體。因此，剛剛提到的「兩管」，可接受的量為 5-6 毫升
- ◇ 備置的酵母菌，可以保存一天半左右，因此若是給許多班級運用，可以事先視情況依照比例增加酵母菌的量
- ◇ 如果酵母菌要放過夜，請將酵母培養加蓋再置於冰箱。進行實驗前，預留 1-2 個小時讓酵母培養回復到室溫
- ◇ 避免用「速發」（rapid rise）以及「活性」（highly active）酵母菌。這樣的酵母菌添加了糖分以及維生素 C，會干擾 BTB 的指示效果

## 科學語言

### 科學字彙

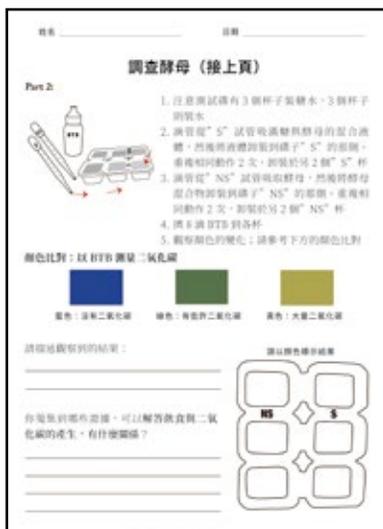
吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

### 科學論證

你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本第 6 頁



調查筆記本第 7 頁

## 執行酵母菌的調查

1. **播放小節標題投影片** 讓學生了解：生物攝食或消耗食物，碳會發生怎樣的變化？



2. **介紹生物** 在白板寫下「生物」(organism)；植物、藻類、動物、真菌、植物性浮游生物、有殼動物以及其他一切生物。



3. **播放新的引導提問投影片** 教師請一位學生大聲讀出引導問題，並向學生解釋：接下來幾個小節，班級將要調查這個問題。

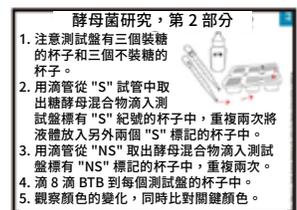
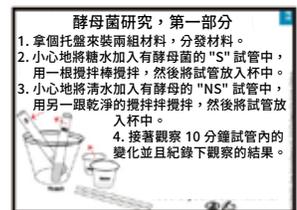
4. **介紹酵母菌** 教師向學生解釋：待會要用到

酵母菌。酵母菌是單細胞真菌，並且告訴他們：酵母菌用於製作麵包以及其他產品，我們要用酵母菌調查生物會如何處理食物。將水加進去乾燥酵母菌 (dry and dormant yeasts) 後，乾燥酵母菌會重新產生活性。

5. **複習證據** 提醒學生：「證據」，是一種可以解決科學問題的線索。(下個小節，會更深入討論證據)

6. **播放「酵母菌調查」投影片第一部分與第二部分；示範步驟** 教師告訴學生：每對

學生都要執行調查、蒐集觀察結果以及證據，並回答「二氧化碳的產生與攝食有什麼關係？」的問題。教師描述投影片上的步驟，發下調查筆記本，請學生翻到第 6-7 頁。教師向學生指出：筆記本上的資訊與投影片的資訊相同。教師告訴學生：待會要和夥伴一起進行調查，但是每個人都要完成各自調查筆記本的任務。



7. **解釋多重測試** 請教師告訴學生：每組都要測試兩種酵母菌樣本 3 次。多重的測試有助於證實結果達到一致性與可靠性；也就是每次的結果都是一樣的，如此可提供堅實的證據，以回答所研究的問題。

## 教師注意事項

### 每日書面反思

「每日書面反思」是選擇性運用的提示，教師可以用來啟動每個小節的內容。教師可以讓學生寫下想法，或者把提示當成班級討論議題或回家作業。這樣的提示，可以鼓勵學生反思他們學到的點滴，或是活化往後課程所需的預備知識。提示給學生機會，讓他們運用科學語彙產生連結並且澄清想法。每個提示都收錄於調查筆記本，裡面都設計了底線讓學生書寫，也有空間讓學生畫圖。請教師告訴學生：這樣的寫作類型，重點在寫出自己的想法，而不是完美的拼字。這樣的反思，設定在短短的篇幅——讓學生在 5-10 分鐘的時間完成。**請注意：**書寫反思的時間，不包括在小節授課的時間內。

**食物中含有的碳，在你吃下食物後，會發生什麼事？** 這則提示收錄於筆記本第 5 頁。關於食物中的碳水化合物如何被分解並且變成二氧化碳逸散於大氣，本則提示可以活化相關的預備知識。在本小節學生會學到：攝食與呼吸的時候，碳水化合物經歷怎樣的過程。

### 科學註記

**關於酵母菌** 我們稱之為「酵母菌」的生物，屬於微小、單細胞的真菌類。真菌常出現於水果表面，是一大類生物的統稱，包括香菇與黴菌，既不是植物也不是動物。酵母菌的種類，約有 500 種。乾燥的酵母菌細胞常被壓成餅狀或小顆粒狀（常伴隨著澱粉），當成烘焙材料販售。乾燥酵母菌接觸到水和糖分，會非常快速地繁殖。氧氣足夠的條件下，酵母菌細胞會採用有氧呼吸（也就是呼吸空氣），藉此得到足夠的能量以分解糖分。要是氧氣受限，如同麵團中的酵母菌，酵母菌則進行發酵作用（無氧呼吸）。酵母菌在發酵的過程，會把碳水化合物分解為二氧化碳以及乙醇。二氧化碳的氣泡可讓麵包膨脹並且在內部生成空洞（在烘焙的過程中，酵母菌製造的乙醇會揮發掉）。

### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

#### 科學論證

你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？

- 8. 解釋 BTB 與二氧化碳的反應** 向學生解釋：“BTB”是「溴瑞香草藍」(bromothymol blue) 的縮寫，這種化學試劑碰到酸性，會變成綠色或黃色。二氧化碳溶於水，會變成碳酸。如果 BTB 變綠或變黃，就是二氧化碳可能存在的證據。
- 9. 介紹控制組** 讓學生看看兩根示範用試管，一根含有測試水，另一根含有糖水，告訴他們：待會調查的過程，就會用到同樣的裝置。教師在兩根試管內都加入 8 滴的 BTB，並且告訴學生：控制組的目的，是讓我們看到沒有酵母菌的情況下 BTB 的顏色。教師這樣說：「在科學調查的過程裡，控制組常常用來幫助我們理解現象改變的原因是什麼。我們掌握 BTB 對水與糖水的反應，加入酵母菌後，也會釐清變化的原因。」
- 10. 組織小組、分派任務** 讓學生兩兩配對，兩隊共用一張桌子，並且要同桌的一位學生取回裝了兩對需要器材的盆子。請教師再次播放「調查酵母」第一張投影片。
- 11. 各對執行調查活動** 學生取得器材，就開始調查。請教師在學生間來回走動，必要時伸出援手，提醒學生要根據學習單或投影片記載的步驟進行。大部分學生完成第一部分後，就可開始播放第二部分的投影片。
- 12. 重新拾回注意力** 讓學生放下手中器材，再花最後一分鐘完成筆記本的作業，以準備全班討論觀察結果以及解題的證據。在這裡學生要回答的問題是：「攝食與二氧化碳的產生，有怎樣的關係呢？」

## 教師注意事項

### 教學方針

**學習碳循環的目標** 若要理解地球系統與氣候變遷，碳循環的初步理解，是非常重要的。但是碳循環的每個步驟都複雜難懂，就算是最簡單的步驟也是。本單元的目標，並不是讓學生都理解碳循環（呼吸作用、光合作用、燃燒、分解等等）的每種流動，而是以整體角度審視碳循環，以及儲存庫與流動的交互作用。

**為什麼先教呼吸作用、再教光合作用** 光合作用的原理——就是植物把氣態二氧化碳和液態的水，轉化為固態植物組織的過程——在許多學生看來，是需要經過一番學習的，甚至成人也不例外。在本小節，學生先學習呼吸作用的生化過程，也就是包含於食物的固態碳，如何轉換為氣態的二氧化碳，然後二氧化碳會被生物呼出體外。光合作用的過程與呼吸過程恰好相反——二氧化碳和水被轉換為固態的葡萄糖分子——而理解呼吸作用，卻是理解光合作用的基礎。在這個階段，若是學生無法完全掌握呼吸作用，教師也不需擔憂。本小節協助學生跟隨碳的蹤跡，從固態碳化合物追蹤到氣態。雖然本小節的主角是既可以有氧呼吸（需要氧氣）也可以進行發酵作用（不需要氧氣、過程類似呼吸作用）的酵母菌，但內容的重點還是有氧呼吸。

### 教學建議

**在班級討論的同時，管理分裝教具的盆子** 班級進行有意義的討論或是調查過程裡，器材擺在桌上是有幫助的，因為學生可以隨時取用或參考。萬一學生因為桌上的器材而分心，教師可請一名學生把盆子拿到指定區域，再進行討論。

### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

#### 科學論證

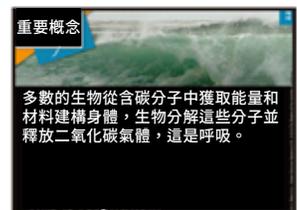
你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本第 3 頁

### 解釋調查結果

- 1. 分享觀察結果** 請幾位學生分享觀察結果（發現氣泡；BTB 加入酵母後，顏色變了）。教師可以這樣問學生：「**有葡萄糖的試管產生了二氧化碳，你的證據是什麼？**」（氣泡；顏色改變）
- 2. 二氧化碳從哪裡來** 確定裝葡萄糖的試管產生的氣體是二氧化碳。可以問問學生：「**二氧化碳從哪裡來的？**」教師聽過幾個回答後，逐一問學生：「**你這樣想的理由是什麼？**」教師向學生解釋：「酵母菌與大部分的動物，包括我們自己，都需要攝食固態的碳水化合物，然後呼氣時釋放出氣體的碳，也就是二氧化碳。」教師告訴學生：昨晚的晚餐所包含的碳，可能就是我們現在正在呼出的碳。
- 3. 志願者把來自食物的二氧化碳吹進 BTB 裡** 讓一位志願者上前，向全班分享昨晚的晚餐吃了什麼。然後讓志願者用吸管輕輕吹氣，把氣體吹進裝 BTB 的杯子（確定安全洞的位置，就是志願者吹氣的位置）。此時 BTB 變成黃色或綠色，教師向學生們解釋：呼氣的二氧化碳造成顏色的改變；呼出的二氧化碳，其碳原子來自先前吃掉的固體食物。
- 4. 定義呼吸作用** 教師告訴學生：大部分的人認為，呼吸作用就是單純的吸氣和呼氣。教師向學生解釋：而在本單元，呼吸作用指的是生物體分解含碳物質（例如葡萄糖），以取得能量並且合成身體組織的作用，而這個過程也會把部分的碳以二氧化碳的形式，藉由呼氣的方式把二氧化碳排放到大氣。
- 5. 播放投影片；學生記錄重要概念** 播放重要概念投影片，讓學生們朗讀。教師發下調查筆記本，請學生翻到第 3 頁「重要概念」，在引導問題 #2 下方欄位抄寫下來。如果時間許可，請學生加上註記，以本小節學到的知識回答引導問題 #1 或引導問題 #2。



## 教師注意事項

### 安全註記

**小心使用 BTB** BTB 沒有傷害性且化學性質穩定，在課室使用是安全的。但是 BTB 與所有化學藥品一樣，要避免誤食或長期接觸。學生使用 BTB 或其他化學藥品時，可能需要配戴安全護目鏡。BTB 也可能沾到衣服，請小心使用。吸管上的安全孔，就是預防學生不小心吸入 BTB。教師也可以當自願者，這樣會更安全；或者教師可以讓學生以吸管吹汽球，把吸管的另一端放進 BTB 溶液中，這樣氣體就會進入到溶液中。

### 科學註記

**關於 BTB 與酸** BTB 是酸性指示劑，遇到弱酸時變成黃色，遇到鹼則變成鮮豔藍色。二氧化碳加到水中，會形成碳酸。酵母菌細胞透過發酵作用，產生的二氧化碳進入水中而生成碳酸，還會產生多樣的酸性產物，因此會改變 BTB 的顏色。

**關於呼吸作用** 廣義來說，「呼吸作用」(respiration) 泛指生物體的氣體交換，常常與「呼吸」(breathing) 混淆。在本單元，呼吸作用指的是：細胞層級的新陳代謝過程，可將葡萄糖之類的含碳化合物分解，將二氧化碳釋放到大氣，讓生物體藉此得到能量。生物體利用有氧細胞呼吸（需要氧氣），把氧和葡萄糖轉換為二氧化碳和水，藉此取得能量。我們吸入的氧氣，參與一系列的化學反應，最後把攝入的葡萄糖分解，並且合成 ATP 分子（腺嘌呤核苷三磷酸，adenosine triphosphate）。ATP 可以儲存並運送能量，提供所有細胞反應所需。我們呼出的二氧化碳，就是細胞反應後的產物之一。呼吸作用發生於所有細胞，是生物體取得能量的方式，如此生物體才能成長並執行正常功能。本小節之後的兩個小節，學生將會探討植物呼吸作用的過程。

**呼吸作用與發酵作用的比較** 生物取得能量，才能成長並維持正常功能。而取得能量有幾種方式，包括呼吸作用與發酵作用。呼吸作用在無氧和有氧的狀態都可能發生，但是發酵作用只在無氧狀態發生。酵母菌可以運用有氧呼吸與發酵作用，以滿足能量的需求。透過有氧呼吸，細胞製造儲能分子（ATP）的量，是發酵作用的 8 倍。

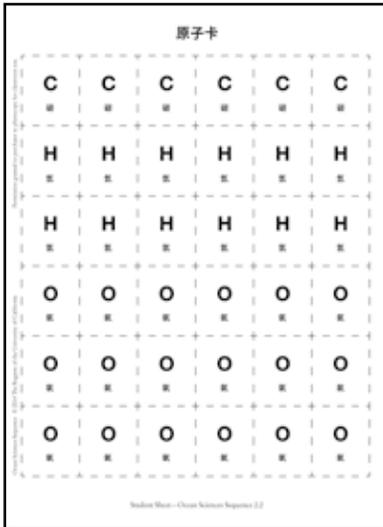
## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

### 科學論證

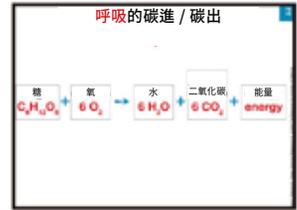
你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？



(選擇利用) 學生學習單

## 討論碳的進出

1. 播放「碳的進出」投影片並解釋 教師向學生提及：固態的碳會變成氣體，這就是呼吸作用的現象。接著請向學生解釋：在我們身體內，要進行呼吸作用，氧氣有絕對的必要。在呼吸作用的過程中，醣類的原子和氧原子重新排列，產生二氧化碳和水。透過這樣的過程，我們從食物取得了能量。



2. 指出化學式兩邊的原子數目相同 教師向學生解釋：投影片的化學式，左右兩邊的原子數目是相同的。再進一步說明，葡萄糖的 6 個碳與 6 個氧分子反應，生成了 6 個二氧化碳分子。並向學生強調：在呼吸作用的過程中，原子不會被摧毀，而是重新排列，變成不同的化學物質（教師如要示範這個概念，可彈性運用第 167 頁的原子卡活動）。

3. 播放「釋出二氧化碳與甲烷氣體」投影片並解釋 教師告訴學生：除了呼出二氧化碳，有些動物在腸胃脹氣的狀況下也會排出甲烷 (CH<sub>4</sub>)。牛隻等動物，打嗝時也會排出甲烷。



## 教師注意事項

### 科學註記

**牛與甲烷** 地球上的十五億頭牛以及上百億計的草食性動物，會排出幾十種氣體，包括甲烷。牛打嗝的時候會排出甲烷，腸胃脹氣的時候，也會排出少量的甲烷。有專家說每頭牛每天排放 100-200 公升，也有專家說將近 500 公升（132 加侖）。牛為什麼會排出這麼多甲烷呢？牛就向其他反芻動物一樣，共有四個胃。牠們的胃裡充滿幫助消化的細菌，這樣的過程也會產生甲烷（並非二氧化碳，這是因為胃裡缺少氧氣）。研究者正在找尋管道改變牲畜的飼料，以減少甲烷的排放量。

**植物體內的醣類** 光合作用產生葡萄糖，是植物能量的來源。葡萄糖是一種構造簡單的醣類，化學式為  $C_6H_{12}O_6$ ，果糖也是簡單的醣類，化學式的樣子和葡萄糖一樣；兩者相異之處，在於原子排列的方式。

### 提供更多經驗

**延伸：原子卡活動** 為了探索物質守恆定律（呼吸作用的過程中，原子如何重新排列），讓學生分組操作原子卡（收錄於影印包）。教師引印卡片，並把卡片剪開裝進信封，發給各組，告訴學生：每張卡片代表一種原子，例如 C 表示碳、O 表示氧，H 表示氫。然後讓學生以卡片組合成 (a) 氧分子（兩張氧卡）、(b) 水分子（兩張 H 卡以及 1 張 O 卡）與 (c) 二氧化碳分子（1 張碳卡與 2 張氧卡）。教師播放「碳的進出」投影片，或者在白板寫下呼吸作用的化學式，讓小組以原子卡排出左邊式子（ $C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ），並向學生指出：化學式左邊有兩種不同分子，也就是 1 個葡萄糖分子與 6 個氧分子。

接下來，小組再重新組合卡片，排列成化學式的右邊。再請學生注意：化學式右邊也有兩種分子，也就是 6 個水分子以及 6 個二氧化碳分子。請教師確定：學生理解化學式左右兩邊的每種原子數目都一樣。教師向學生強調：在反應的過程中，原子不會被毀滅，但是會重新組合成新的分子。

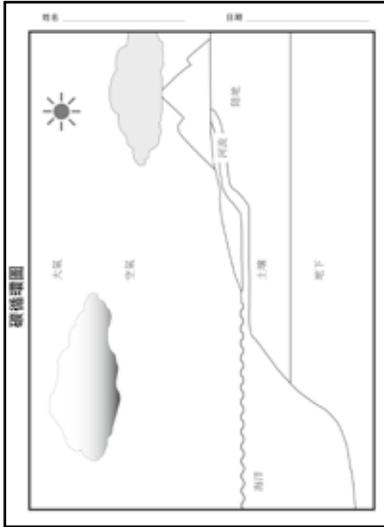
### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /  $CO_2$   
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

#### 科學論證

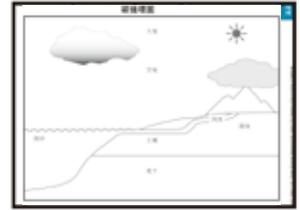
你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？



學生學習單

### 碳循環的起始圖

1. **播放「碳循環圖」投影片** 教師告訴學生：他們將有幾分鐘時間繪製碳循環圖，在往後的課程中，可以增添新的資料。



2. **解說大氣** 教師向學生指出：地球的海洋、陸地與大氣，都要呈現在圖上。教師要讓學生知道：包圍著地球表面的空氣，就是大氣。大氣從地面向上，高度可達 62 哩（100 公里）。教師向學生強調：我們都居住在大氣層「裡面」，我們呼吸空氣的時候，等於在大氣層裡面呼吸。

3. **解釋碳循環圖的繪圖準則** 教師告訴學生：可以在碳循環圖上面，添加任何碳儲存庫；碳卡可以提供些許想法。學生不需要花太多時間畫出細緻的畫面，只要加上標示就可以。例如畫出簡單的盒子當身體、加上四條腿，標示「牛」，就可以表達想法了。

4. **發下卡片與學習單；學生繪圖** 把碳循環圖學習單發給每個學生，告訴他們：老師發下的學習單的設計和投影片上的學習單一模一樣。學生一組使用一套碳卡當成繪圖的參考，讓學生開始畫圖。

5. **總結繪圖活動** 繪圖活動結束前 5 分鐘讓學生們拾回注意力，請他們準備停止繪圖。教師可讓他們了解：往後小節還有更多時間，可以繼續繪圖。然後教師收回碳卡與碳循環圖。

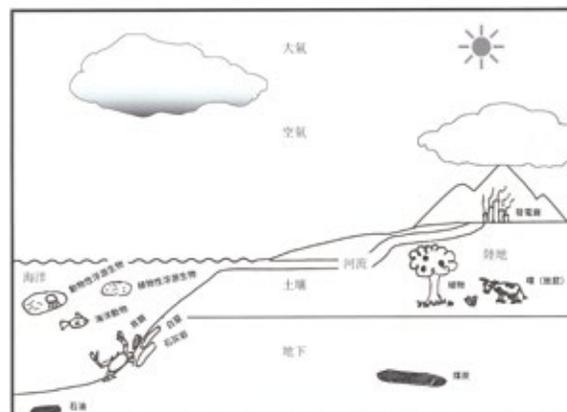


圖 2-2 影印包提供碳循環圖的教師參考資料範例

## 教師注意事項

### 教學建議

#### 關於大氣的另類觀點

學生可能會認為大氣的所在位置「高高在上」，因此請學生們注意大氣層是從地面向上延伸到外太空的。請教師確定學生們都了解：我們是住在大氣層底層的範圍裡。

**教學示範選擇：** 如果教師可以取得文件提示機，可以提供簡單繪圖，示範如何繪製碳循環圖。

**學生完成的碳循環圖** 本單元最後，學生可以把碳循環圖成品貼在筆記本最末頁；最末頁的設計，就是為了貼這張圖。

### 英文學習者

**額外練習** 因為英文學習者要應付科學內容以及英文理解的挑戰，額外的練習時間通常有其必要。可能的話，請教師另找時間和英文學習者討論碳儲存庫的涵義，或討論一些例子。此外，也請另找時間和他們一同探討碳卡，提出相關的問題。

### 提供更多經驗

**準備：BTB 與植物** 下一小節，學生將會檢視植物放進容器後，BTB/水溶液變色狀況的彩色圖片。教師也可以直接調查，不需要檢視圖片。先前的「執行酵母菌的調查」（第 164 頁）剩下的 BTB 溶液可以再次利用，以一天的時間讓 BTB 再次變色。教師需要一個透明、有蓋的水瓶，以及一小截水族館可取得的水生植物，例如蘊藻（Elodea）。水瓶先裝滿 BTB 黃色或綠色溶液，將水生植物放進水瓶並且旋緊蓋子，放在窗邊，越多陽光照射越好。**請注意：** 蘊藻是北美洲原生植物，請勿隨意野放到戶外，這可能導致意想不到的後果，這點相當重要。因此，請將用完的植物送回水族館，或是當成綠色廢棄物處理。

### 延伸：小節反思的提示

- 為什麼畜養較多牛隻，會影響大氣層的二氧化碳濃度？請解釋。
- 地球上最小與最大的碳儲存庫，分別是什麼？請解釋你的理由。

### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
碳流動  
碳儲存庫  
燃燒  
分解 / 分解作用  
證據  
化石燃料  
物質  
模型  
分子  
生物體  
光合作用  
呼吸

#### 科學論證

你的想法是什麼？  
你為什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？為什麼？  
你不同意嗎？為什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？