

利用光合作用來找碳，Part1

教

師簡短向學生說明水瓶中的植物，將學生引導到光合作用的重要概念：植物吸收二氧化碳並釋放出氧氣。討論完之後學生會進一步理解：植物把氣態二氧化碳中的碳，轉換成植物體的構造成分。這樣的方式能協助學生理解碳在光合作用的角色，並且讓他們準備好探索地球上更宏觀的碳流動。學生的學習將聚焦於以下的重要概念：

- 植物行光合作用的時候吸收二氧化碳，釋放出氧氣

學生也學到：

- 植物在行呼吸作用的時候，同樣會釋放出二氧化碳，但是植物吸收的二氧化碳量，比釋放出的要多
- 植物體大部分的組成，來自空氣以及水中的二氧化碳
- 證據就是有助於回答問題或解釋某種現象的線索；符合科學精神的解釋，以證據為基礎

利用光合作用來找碳，Part1	預計時間
討論光合作用	15 分鐘
利用證據來解釋	15 分鐘
理解空氣、碳與植物	15 分鐘
總計	45 分鐘

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 *
- ☐ 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
- ☐ 2-3 小節的 6 張投影片
- ☐ 1-2 小節的科學證據圖表（或者 1 張壁報紙與 1 枝麥克筆）
- ☐ 1 根樹枝 *
- ☐ （選擇利用）裝著蘊藻的水瓶，內含 BTB 溶液 *（2-2 小節的選擇性運用活動）
- ☐ 剪刀或裁紙機 *
- ☐ 影印包

每組學生需求

- ☐ 1 個信封袋，內含「植物調查」B、C 與 D 的描述

每個學生需要

- ☐ 調查筆記本：p.3, 9;（選擇利用）p.8(每日書面反思), 10-13
- * 不包含於教材

準備上課

上課前一天的準備工作

- 1. 架設好投影設備或視聽設備：**架設完成並且進行測試，確保學生上課時能夠看到投影片的資料。花幾分鐘檢視需要的教具以及補充資源，請參考 mare.lawrencehallofscience.org/oss68 或是資源光碟。
- 2. 準備信封：**從影印包影印下列文件——
_ 植物調查（每組 3 人）
將 3 個描述切開，分別裝入 3 個信封袋（每組 1 個）
- 3. 繪製圖表並張貼圖表：**利用麥克筆和壁報紙，繪製以下圖表——
_ 科學證據圖表（請參考第 175 頁的圖 2-3，與第一單元 1-2 小節圖表相同。請張貼圖表，讓全班都看得到，整個單元進行過程都可以參考）
- 4. 取得樹枝：**強烈建議教師把樹枝帶進教室，並與學生討論植物的組成。小樹枝當然也可以，不過具有分量的樹枝可以讓學生注意到重量。

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

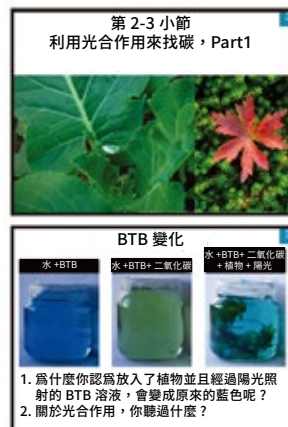
你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本第 3 頁

討論光合作用

1. 播放小節標題投影片 學生進入教室，教師鼓勵他們想想看今天要討論的主題。學生與夥伴簡短討論之後，推測投影片中的葉片，其中的碳是怎麼來的。



2. 播放「BTB 變化」投影片 教師提醒學生：在上一小節的調查中，他們學到許多生物會吸收氧氣、分解葡萄糖，然後釋放出二氧化碳，這整個過程稱為「呼吸作用」。教師利用投影片的照片，複習 BTB 溶液的顏色原本是藍色（左圖）；在酵母菌釋放氣體後轉成綠色（中圖）。這時教師問問學生：「綠色表示什麼？」（溶液中含有二氧化碳）

3. 焦點在第三張照片（如果教師在上個小節已經設置好 BTB/ 植物水瓶，請直接示範實物） 教師請向學生解釋水生植物加到綠色 BTB 溶液的實驗。水瓶放在窗邊幾天後，照片顯示綠色溶液變成了深藍色。

4. 輪流發表 針對投影片中的照片，讓學生與夥伴討論以下兩個問題。教師鼓勵學生們彼此提問，並且解釋問題的原因——

- 為什麼你認為放入了植物並且經過陽光照射的 BTB 溶液，會變成原本的藍色呢？
- 關於光合作用，你聽過什麼？

5. 學生分享想法 小組討論幾分鐘後，請所有學生拾回注意力，讓兩名學生針對兩個問題分享觀點，請全班專心聆聽。

6. 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。發下調查筆記本，請學生翻到第 3 頁「重要概念」，將重要概念抄在引導問題 #2 下方欄位。



7. 教師主持光合作用的討論 給學生幾分鐘時間，分享他們對於光合作用的想法，教師問道：「關於光合作用、氧氣和二氧化碳，你想問什麼問題？」教師可營造好奇、發問以及分享知識的氣氛。

請注意：關於植物體的成分從哪裡來，教師先不要透露。

教師注意事項

每日書面反思

運用上小節所學，說明碳從葡萄糖到大氣的過程 根據學生的調查結果，針對筆記本第 8 頁提示的回應，學生們應該提到：生物體吸收醣類當成食物的其中之一；生物體藉著呼氣，把二氧化碳排到大氣。雖然現階段的學生不必背誦呼吸作用的化學式，但他們也可能熟悉呼吸作用的其他細節，包括氧氣。學生們思索呼吸作用的過程，可幫助他們預習本小節的重點——呼吸作用的反向作用——光合作用。

教學建議

教學示範選擇：BTB 水瓶 如果教師設置好 2-2 小節的選擇性活動，且備妥蘊藻水瓶，就可以展現「真實」的現象，補充投影片的不足，詳見第 169 頁。

英文學習者

修正教師談話內容 教師調整與學生對話的方式，將協助他們更加理解討論的內容。教師解釋或學生討論的過程，請隨時中斷，讓學生總結教師呈現的內容重點。如果課室內大部分學生的母語都相同，邀請志願者以母語總結重點。

評量

快速理解篩檢：光合作用 學生與夥伴討論的時候，教師來回走動並且傾聽學生之間的對話。教師記下他們表達的想法，以了解他們對於光合作用的預備知識。教師可以用評量的資訊，衡量本小節小組們討論的成效。

教學方針

為什麼要精簡討論？ 本小節的討論時間很多，因此需要快速完成第一個討論（BTB 水溶液中的植物），才能省下時間進行後續的主要討論。第一個討論的目的，在於探測光合作用的預備知識與問題。接下來，重點討論的焦點，將會聚焦於第一個討論的許多問題以及迷思和概念。

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？

利用證據來解釋

1. 複習科學證據圖表 教師指向先前張貼的圖表，複習不同種類的證據：

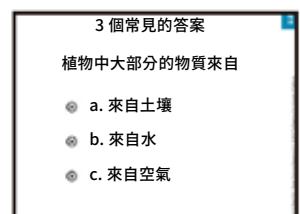
- **證據來自我們的觀察** 以學生執行的酵母菌調查為例，他們目睹酵母菌冒泡，這就是產生氣體的證據。接著，BTB 從藍色變成黃或綠，證據顯示該氣體就是二氧化碳。
- **證據來自他人的觀察** 這樣的證據包括欣賞碳的影集，如同學生在第一小節的經驗，就是從科學家得到證據。閱讀他人的調查結果或是與他人交談，也可以得到證據。
- **證據來自推理、思考、討論** 透過思考或交談，或是先前的經驗，也可以得到證據，這個過程如同學生觀看投影片時一樣。
- **科學解釋要根據證據** 教師向學生解釋：好的科學解釋源自各方證據，並且這些證據可以解釋問題，提供答案背後的緣由。

2. 定義物質 教師把樹枝帶到班上，告訴學生：樹枝由物質組成。只要是有質量並占有體積的，就是物質。樹枝的木頭、葉子與其他樹枝的結構，都由不同的物質組成。

3. 播放投影片「植物體的大部分物質，來自何處？」 給學生 1 分鐘左右時間思考這個問題。接下來，教師請學生分享想法之際，也請學生同時握著樹枝。請教師接受合理的解釋，並避免糾正或提示。教師可以這樣問學生：「**你的想法的理由是什麼？證據是什麼？**」或是「**你有多確定呢？**」告訴學生，待會將要審視證據，用以得到回答問題的科學解釋。



4. 播放投影片「三個常見的答案」 教師向學生解釋：「植物體的大部分物質，來自何處」，一般人遇到這個問題，常見的三個答案是 (1) 來自土壤、(2) 來自水以及 (3) 來自空氣。教師告訴學生：他們將 3 人一組，以分組合作的方式，決定證據最支持哪個答案。



教師注意事項

科學證據

證據有助於回答或解釋我們的問題。

證據來自——

- 我們自己的觀察
- 他人的觀察
- 推理、思考、討論

科學解釋要根據證據而來

圖 2-3

提供更多經驗

準備：更多證據 如果學生沒上過第一單元，他們需要更深入的介紹，以了解證據的意義。教師可以提供一個運用科學證據以解決問題的例子。舉例來說，如果科學家在沙灘上發現一頭死掉的海豹，可能會提出這樣的疑問：「**海豹為什麼會死？**」可能的證據包括體內的有毒物質含量或者海豹的年齡指標。教師接著問學生：「**你認為海豹怎麼死的？還有其他證據嗎？**」（身上的咬痕；教師可參閱關於海豹天敵與危險的文章）教師也可以指出：個人意見或者是非科學性質的來源，都不能算作證據。

科學註記

關於營養 陸地植物以及海洋中能行光合作用的生物，最需要的營養就是氮、磷以及鉀。這些元素土壤裡和海水裡都有。氮是葉綠素的成分之一，而葉綠素讓生物體可以行光合作用，並讓葉子和其他構造變成綠色。氮還有另外重要之處，因為這種元素也是合成蛋白質、酶以及任何牽涉合成與能量轉移等新陳代謝過程的要素。磷是 DNA 組成的成分，因此對於細胞分裂很重要。磷與氮一樣，都是光合作用不可或缺的元素，也是合成植物脂肪、醣類與澱粉的要素，它們可以幫助植物渡過環境壓力；陸地植物則因為磷而促進開花與根的成長。植物抵抗寒冷、燠熱、乾旱與蟲害之際，鉀是重要的營養物質。鉀另一個重要角色，就是水分利用（調節滲透）。海洋性的光合作用生物需要上述所有營養，不過這樣的生物缺少根部，因此身體的大部分都可以直接從海水中吸取所有營養與二氧化碳。

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？

姓名：_____ 日期：_____

評估證據：大部分植物結構的來源

植物體大部分的物質，從哪裡來？
組員決定每個調查的區域以及結果後，請完成下方表格，描述是否發現調查結果與答案的關係。請仔細思考，證據如何和答案產生關聯，或者從證據理由，你是否能夠回答問題，並且說明證據提供答案的理由呢？

如果證據可以支持答案，請寫下「是」；如果不能支持答案，就寫「不是」；若不確定，就寫「有可能」，完成表格後，也請在旁寫下回應。

答案	調查 A 5 年的實驗	調查 B 水耕	調查 C 需要多少水？	調查 D 植物的 二氧化碳
植物體內大部分的物質，來自土壤				
植物體內大部分的物質，來自水				
植物體內大部分的物質，來自空氣				

調查筆記本第 9 頁

植物調查 B—水耕栽培

幾世紀以來，人們就覺得可以在水裡種植物。一千多年前，阿拉伯人就在設計了漂浮在水上的花園。750 年前左右，馬可波羅將這種中國人在水裡種植物；在馬達加斯加不遠半徑，水中種植的歷史可能更久遠。西元 1937 年，在水裡培植蔬菜作物，讓食物能更保持在表面而不至沉入水底的方式，正式稱為「水耕」(Hydroponics)。農作物生長的水裡，有細微的營養物質。美國佛羅里達州建立世界著名的艾波卡特主題公園 (Epcot theme park)，許多植物就以水耕方式栽培於溫室。事實上，這個主題公園裡有一個專門種植蔬菜的農場，每年可以生產 32000 顆番茄，創下世界紀錄。且番茄的根不再需要土壤！水耕應用於許多區域，可以生產蔬菜、水果、小葉蔬菜等，特別在無法土地面積不夠的區域，水耕更是重要。

植物調查 C—需要多少水？

科學家調查，一棵植物多少水分組成。為此，他們先把植物取下，然後把完全乾燥時的重量，與新鮮植物的重量來比較，因為植物的重量是變化的。某些時候，科學家測量植物的高度與重量，推測出重量。科學家發現，不同植物的含水量比例不同，不過含水量都高達 50%，科學家也發現，樹木的含水量，佔重量的 50% 以上。

植物調查 D—多餘的二氧化碳

科學家在溫室實驗的二氧化碳，測試植物的反應。所謂「溫室」，就是讓植物在淨淨、專門用來培植植物的建築。因為植物在密閉空間內，科學家可以根據需要調整裡面的氣體組成。當二氧化碳濃度增加的時候，植物會長得比濃度較少時更大，而植物也會需要更多的水與營養。不過，在溫室外的自然環境，植物的二氧化碳濃度對植物並非有利。植物在溫室外的水和營養，有與溫室外的二氧化碳，植物的二氧化碳也會提高溫度，這種溫度會影響植物以及其他生物。

學生學習單

5. 介紹植物證據 每 3 個學生一組分到一個信封袋，袋內包含 3 則植物調查的描述。每組由一人朗讀一則描述，也就是一次調查一則描述；接下來，組員一起討論證據並且比較調查結果與 3 個常見的答案。小組決定調查結果是否支持 3 個答案的任何一個，不過每位組員都必須完成各自的作業，也就是調查筆記本第 9 頁「評估證據：大部分植物結構的來源」。如果證據支持答案，則在欄位中註記「是」；如果不支持，則寫下「否」；小組無法確定，則寫下「可能」。小組從「調查 B」開始，依照順序進行（全班一起完成「調查 A」）。小組完成共識，組員才在各自的筆記本註記。所有組員都要準備好分享推理，支持最後的選擇。

6. 檢視科學討論 教師向學生強調：說話有禮、傾聽對方，以及根據證據與推理修正個人想法，都是重要的態度。教師告訴學生應使用下列的科學語言——

- ・我認為理由是……
- ・你這樣想的原因是什麼？證據是什麼？
- ・這項證據似乎顯示……

7. 以第一次調查當作示範 教師告訴學生：以下將練習全班一起討論，然後朗讀以下段落——

1600 年代，比利時科學家海爾蒙特 (Jan Baptista van Helmont) 在花盆種下植物長達 5 年之久。栽種之初以及 5 年之後，他測量植物與乾燥土壤的重量。栽種的期間，他把土壤蓋住，防止外界物質進入，並且定期澆水。他發現：植物增重了 74 公斤 (164 磅)，但是土壤五年之後減少的重量只有 0.05 公斤 (2 盎司或 1/8 磅)

教師請學生評估：三個答案中哪個可以回應上面的實驗、哪個不可以。教師給學生一些時間讓他們安靜思考，然後與夥伴討論。全班針對每個答案，決定證據是否支持答案。全班討論完後，學生各自填寫筆記本第一欄。（土壤，否；水，可能；空氣，是）

8. 學生閱讀並討論 教師發下信封袋給每一組（3 人一組），袋內裝著三項其他描述（B、C 與 D）。讓學生們開始討論，並且完成學習單。

教師注意事項

提供更多經驗

延伸：兩篇選擇利用的閱讀文本——研究光合作用；海帶——海洋中的巨大森林 兩篇文本中的任一篇，都可以當作回家功課，或者利用額外時間在教室閱讀。教師也可以讓學生兩兩成對，決定兩人要分配哪一篇。學生閱讀完後，彼此分享閱讀心得。研究光合作用在調查筆記本第 10-11 頁，提供學生光合作用的額外資訊，包括科學發現如何引發光合作用的理解，以及二氧化碳組成大部分植物體的事實。海帶——海洋中的巨大森林在調查筆記本第 12-13 頁，則提供學生重要的海洋光合作用的生物資訊。本篇文章有助於讓學生理解：海洋的光合作用與陸地相較，有相同也有相異之處。文章中也強調：海帶沒有根部，也不會從土壤取得任何物質。

教學方針

光合作用的限定目標 在本小節與下一小節，我們並不期待學生完整地理解光合作用。現階段的學習目標限定在：理解植物與其他光合作用的生物，是碳循環重要的一環；植物行光合作用的時候，從大氣取得二氧化碳；從二氧化碳取得的碳，構成大部分的植物體。

教學建議

另一種找證據的活動 提供每個學生一段敘述（影印包「植物調查」），接下來，讓學生兩兩配對。配對的夥伴彼此讀出這一段敘述，並且指出哪個答案支持這一段敘述。兩個夥伴都完成分析後，彼此交換敘述並另外找夥伴。這個活動需要大量互動與移動，以及密集且簡潔的對話。教師持續播放「三個常見的答案」投影片，讓學生交談和推論時可以隨時參考。活動結束後，學生聚成小組並且翻到筆記本第 9 頁，進行對談。

海爾蒙特的調查證據 因為原本題目問的是「大部分物質」，而 2 盎司與 164 磅的比率只有 0.07%，並不足以標示「可能」。是否大部分物質來自水，學生也沒有十足把握，因此不該標示「是」，但是可能性又很高，所以這項應該標示「可能」。

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？

姓名 _____ 日期 _____

評估證據：大部分植物結構的來源

植物體大部分的物質，從哪裡來？
 假設讀化海爾蒙特的假說以及結論後，請完成下方表格，解釋是否發現調查結果與答案的關係。請仔細思考，證據如何和答案產生關係，或者提供理由，你是否能夠回答問題，並且利用證據提供答案的理由呢？

如果證據可以支持答案，請寫下「是」；如果不能支持答案，就寫「不是」，若不確定，就寫「有可能」。完成表格後，也請在空格寫下回應。

答案	證據 A 5 年的實驗	證據 B 水罐	證據 C 有多少水？	證據 D 植物的 二氧化碳
植物體內大部分的物質，來自土壤				
植物體內大部分的物質，來自水				
植物體內大部分的物質，來自空氣				

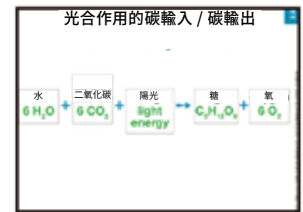
調查筆記本第 9 頁

理解空氣、碳與植物

1. 討論答案 1 教師讓學生重新拾回注意力，並且大聲朗讀關於植物成分的第一個答案：「**大部分植物體的物質來自土壤**」。請幾個學生提出證據，表明同意或不同意。（不同意的學生，可能提到海爾蒙特的 5 年實驗或是水耕等證據）

2. 討論答案 2 和 3 教師大聲讀出其他兩個答案，並且激勵學生提出同意或不同意的看法。（解釋 2 和解釋 3，受到大部分證據的支持）

3. 播放「光合作用：碳的進出」投影片 教師告訴學生：光合作用的化學反應式，是解釋植物體物質來源另外的證據。根據化學式，可以看出光合作用的過程。教師向學生解釋：化學式左邊的物質，是植物用來行光合作用的原料；化學式右邊的物質，則是光合作用的產物。教師讓學生自己朗讀化學式。（請參考下一頁關於簡化版化學式的解釋）



4. 學生討論「光合作用：碳的進出」投影片 教師問問學生：「**葡萄糖分子的氧原子，是從哪裡來的？**」（從二氧化碳或水）然後教師接著問：「**葡萄糖分子的碳原子，唯一的來源是？**」（二氧化碳）

5. 強調物質從哪裡來 教師跟學生說：「**植物體大部分的物質，其實來自二氧化碳和水；用來轉換成植物體的碳與氧，則全都來自於空氣。**」科學家發現：葡萄糖分子的氧原子和碳原子，其實都來自空氣中的二氧化碳。因此，大部分植物體的物質，來自於空氣。

6. 指出植物不是甜的 請注意，咬一口植物的莖或葉，嘗起來並不像糖（可以試試波菜或青花菜）。教師跟學生說：「**植物會用掉部分葡萄糖，當成能量的來源。但是植物重新組合剩下的葡萄糖，會讓葡萄糖變成其他物質——儲存起來以備未來之需的物質，以及建構植物體的物質。**」

7. 描述海洋生物的光合作用 教師跟學生說：「**陸地的植物，不是唯一可以行光合作用的生物。地球上大部分的光合作用，是由海水中細小、稱為『植物性浮游生物』執行的。這些小生物，同樣利用攝取的二氧化碳的碳，建構自己的身體。**」

教師注意事項

科學註記

光合作用的另類概念 氣體由物質組成，但是許多學生對此都有認知的困難。因為肉眼看不到大部分的氣體，氣體似乎不包含任何物質，這或許是學生學習困難的原因。另一方面，有些人以為植物從土壤得到成長的物質，也可以用這個角度解釋。本小節關於大部分植物體來源的討論，有助於直接回應以上另類的概念。教師帶進教室的樹枝，可以讓學生了解：二氧化碳中的碳，連同水分子，能夠轉變成簡單醣類，簡單醣類串結構成植物體的纖維素。碳原子無所不在，因為動植物死後會分解，因此碳也存在於土壤，學生必須理解這個重要的道理。但是，植物無法藉由土壤取得碳，而是利用光合作用的過程得到所有的碳，而光合作用也需要水分子的幫忙。

植物體從葡萄糖製造的物質 植物將光合作用的部分葡萄糖轉換成其他物質，主要是澱粉與纖維素，兩種化合物都是由長串葡萄糖組成的。纖維素形成綠色植物以及許多種藻類的細胞壁，澱粉則是一種穩定的醣類，可供植物儲存並且供給往後所需。

植物體的物質從哪來？ 葡萄糖分子的氧原子與碳原子都來自二氧化碳，這也是為什麼大部分的植物體來自空氣。葡萄糖分子的氫原子，則來自水分子；氧氣是光合作用的副產品，也來自水分子。這個發現，來自美國科學家凡尼爾（van Niel）。凡尼爾分別標示了二氧化碳的氧與水中的氧，這樣就能追蹤光合作用的反應過程。結果發現：光合作用釋放出來的氧氣，來自水分子。

提供更多經驗

延伸：線上影集 光合作用（2 分鐘 25 秒）是值得推薦的影音資源，簡述光合作用的過程，並與本小節的內容高度相關（marcelawrencehallofscience.org/oss68）。

延伸：小節的反思提示

- 大氣中的碳最終如何轉移到你的身體，請解釋。
- 砍伐森林為什麼影響大氣中二氧化碳的量？
- 如果空氣中的二氧化碳較少，如何影響植物的成長？

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？