

利用光合作用來找碳，Part2

在 本小節，學生將探索動物、植物與大氣之間幾種碳循環的方式。他們在先前的碳循環圖加上箭頭或指標，在儲存庫之間針對幾種碳流動寫下描述。接下來，他們將討論一部關於大氣中二氧化碳季節性變化的動畫，並且解釋二氧化碳變動的圖表。學生會在這時發現：全球二氧化碳的量有季節性的波動，這是因為植物在生長季節吸收的二氧化碳量很多，所以秋冬時節大氣中的二氧化碳量就比其他季節高出很多。本節學生的學習聚焦於以下幾個重要的概念：

- 每年植物成長的季節，植物從大氣中移除大量的二氧化碳

同時也學到：

- 春夏的光合作用，多過於秋冬的光合作用
- 大氣中的二氧化碳濃度，過去 50 年來持續增高

利用光合作用來找碳，Part2	預計時間
複習碳儲存庫以及碳流動	10 分鐘
將碳流動加入到碳循環圖	10 分鐘
追蹤一整年的碳量變化	15 分鐘
追蹤許多年的碳量變化	5 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 *
- 2-4 小節的 6 張投影片
- 動畫追蹤碳的濃度

每組學生需求

- 碳循環圖 (2-2 小節)
- 調查筆記本：p.2, 3, 15; (選擇利用) p.14(每日書面反思)

* 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. 預習並操控動畫：**教師上課前，請先預習追蹤碳濃度動畫 (<http://csc.noaa.gov/psc/dataviewer/#view=tracker>)，並熟悉動畫操作。利用螢幕底部的播放 / 暫停鍵來控制動作。教師需要選擇每個月的其中一天，學生才能看出整年碳濃度的變化趨勢。請注意：藍色表示該區域的二氧化碳濃度很少或等於零，紅色則表示二氧化碳濃度極高。(教師可以強調：一般的顏色示意中通常紅色表示高溫，但不當作本動畫中二氧化碳濃度的指標)

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？

複習碳儲存庫以及碳流動

1. **播放小節標題投影片** 讓學生了解：待會的課程將讓他們發現，光合作用的過程會改變地球的二氧化碳濃度。



2. **複習碳儲存庫** 讓學生回憶碳卡的活動，並且問學生：「**碳儲存庫是什麼？**」（儲存碳的場所）然後請學生說出幾個例子。（植物；動物；原油；任何生物或曾經是生物的東西）教師告訴學生：碳在不同儲存庫之間移動，但是地球的碳總量是保持不變的。

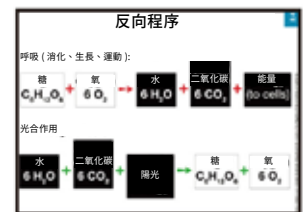
3. **定義碳流動** 教師向學生解釋：碳從一地往另一地移動，就稱為「**碳流動**」（carbon flow）。教師提醒學生：前兩個小節學到碳從某個儲存庫移動到另一個儲存庫（例如藉由光合作用達成碳從大氣移動到植物。），或從動物移動到大氣（藉由呼吸作用達成）。

4. **澄清動物的碳流動** 教師問學生：「**動物如何取得碳？**」（吃下含碳的食物）「**動物如何釋放出碳？**」（藉由呼出二氧化碳，或者排出甲烷氣體）這樣一來，碳就會進出動物的身體。

5. **複習植物的碳流動** 教師問學生：「**植物體內的碳從哪來？用哪一種方式？**」（植物體內的碳來自大氣；植物在光合作用時吸收二氧化碳，這個過程運用水分子以及來自陽光的能量）

6. **播放「相反過程」投影片** 教師問學生：

「**比較呼吸作用與光合作用，你發現了什麼？**」（學生可能會說，兩者化學反應式的方向完全相反）複習呼吸作用：許多生物吸收氧氣，還有含碳的分子例如葡萄糖。動物分解葡萄糖，釋放出水和二氧化碳。在呼吸作用的過程，動物取得能量並且得到建構身體的材料。動物攝食的當下，就會發生這樣的過程。至於光合作用，水、二氧化碳與能量進入植物，釋放出氧氣，葡萄糖則儲存起來或重新組合、排列成植物體的其他分子。



教師注意事項

每日書面反思

解釋大部分植物體來自何處 學生要回答這個提示（在調查筆記本第 14 頁），需要複習上一小節學到的光合作用，這樣有助於將碳的流動視覺化。

科學註記

關於碳儲存庫之間的碳流動 了解碳從一處儲存庫流動到另一處的方式，有助於理解碳循環以及後續介紹的氣候變遷。在充滿流動與儲存模式的系統中，只要儲存庫的輸入和輸出量相同，儲存庫的規模就會維持穩定。這就是所謂的「動態平衡」（dynamic equilibrium）。

關於植物的呼吸 植物除了行光合作用，也行細胞呼吸作用，同樣把二氧化碳釋放到大氣。相較之下，光合作用吸收的二氧化碳量，遠超過呼吸作用釋放的量。這樣一來，二氧化碳的淨值是由大氣流往植物。不過因為本單元的焦點是以整體角度而非以植物生物學的細節來看碳循環，因此課程內容不會聚焦在植物排出的二氧化碳。如果教師還有額外時間，可以向學生解釋此現象並讓他們在碳循環圖畫出小小的箭頭，讓箭頭從植物流向大氣。教師和學生分享：植物為了生存，也需要消耗體內些許葡萄糖。植物在執行生命的過程中，必須分解葡萄糖並將二氧化碳釋放到大氣。

教學方針

為什麼以漸進方式介紹碳流動 植物、動物和大氣都是碳儲存庫，本小節將介紹碳如何在儲存庫之間流動。往後的三個小節，將介紹其他方式的碳流動——海洋吸收二氧化碳、死亡生物的分解與掩埋，以及化石燃料的燃燒。依照這個順序，學生探索並理解每種重要的碳流動，逐漸建構他們對於碳循環的理解。

提供更多經驗

準備：替課前想法添加註記 請學生翻到筆記本第 2 頁「課前想法」，重新審視單元開始時的想法。該頁的下方有空白處，讓他們根據學到的內容，記錄新的想法。這樣有助於讓學生反思所學，並且讓他們做好準備，把新知加入碳循環圖。

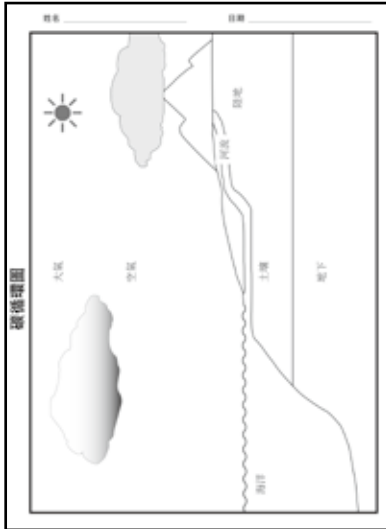
科學語言

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？



學生學習單

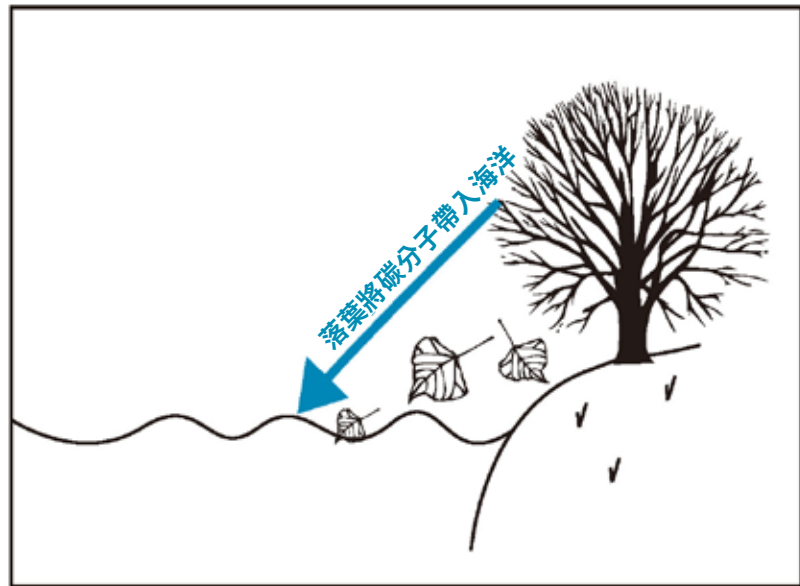
碳流動	
請在你的碳循環圖上加箭頭，表示碳從動物流動到植物，以及從植物流動到動物。請根據以下準則加上箭頭：	
a.	畫出箭頭並標明呼吸作用的時機，碳如何流動
b.	畫出箭頭並標明光合作用的時機，碳如何流動
c.	畫出箭頭並標明動物進食的時候，碳如何流動
d.	畫出箭頭並標明其他學習到的流動
1. 挑一個循環圖的箭頭，方向從植物到動物的。請解釋：碳在這兩種儲存庫如何流動。	

2. 挑一個循環圖的箭頭，說明碳如何從動物到空氣，再到植物。請解釋：碳在這三種儲存庫如何流動。	

調查筆記本第 15 頁

將碳流動加入到碳循環圖

- 活動介紹** 告訴學生：現在可以用箭頭表示碳從某個儲存庫移動到另一個儲存庫的流動，增加碳循環圖的豐富度。
- 示範碳流動的畫法** 教師告訴學生：不要在圖上畫太小的箭頭。教師在白板上快速畫一條河流，河邊有棵樹：「樹葉從樹落下，掉入河中，河水流向海洋。這樣一來，碳就從陸地植物儲存庫漂流到海洋儲存庫了。」



- 介紹調查筆記本的碳流動** 請學生翻到筆記本第 15 頁「碳流動」，教師向學生指出：本頁上半部列出 4 條碳流動，指導他們如何進行碳循環圖的繪圖或說明。下半部則列出兩個問題，讓他們可以針對碳流動來回答。學生先進行碳循環圖的內容，然後回答這兩個問題。教師請提醒學生：可以參考筆記本其他頁，特別是第 3 頁「重要概念」，如此有助於完成本活動。
- 學生增加碳循環圖的內容並且答題** 發下學生先前於 2-2 小節交出的碳循環圖，讓他們進行碳流動的繪圖，然後回答筆記本的題目。如果有學生提早完成，問問他們是否還有碳在儲存庫之間流動的其他方式，並讓他們再增加碳循環圖的內容。

教師注意事項

教學建議

更多挑戰：加入化學式 教師可能會想讓進階的學生在碳循環圖上還有筆記本的答題過程裡，標示二氧化碳、葡萄糖的化學式。教師可以把兩種物質的化學式寫在白板，讓他們參考。

英文學習者

字彙框架 在英文學習者看來，不熟悉的字彙可能是相當大的挑戰。英文學習者在增加碳循環圖內容以及回答筆記本問題前，請教師讓他們複習碳、光合作用、呼吸作用、大氣、生物體以及二氧化碳等詞彙，教師可以全班一起複習，或者單獨把英文學習者抽出複習。教師把相關字彙寫在白板，協助他們快速複習每個字的意思。接下來，讓每對學生從中挑選他們認為彼此相關的兩字，並且請他們解釋相關的原因。

評量

關鍵時機：解釋碳循環圖的箭頭 請教師瀏覽調查筆記本第 15 頁「碳流動」的回答，評估學生對於植物、動物與大氣間碳流動的理解進展程度。請教師檢視：學生是否理解碳從動物與植物進出的概念，且分辨進出方式的不同。學生將在後續小節再次檢視這些想法，確定學生首度畫出碳參與了呼吸作用與光合作用，並提出解釋，這點很重要。

提供更多經驗

強化：光合作用、呼吸作用與碳流動 如果許多學生混淆了上述概念，請教師再次在白板上解說並且繪圖，說明碳原子從一片草到一頭牛，再進入大氣，再回到樹。教師示範的時候，不要用到光合作用、呼吸作用以及二氧化碳等詞彙。接下來，請學生運用這些詞彙：**「過程的哪個部分是光合作用？」**（樹從大氣吸收二氧化碳）**「哪個部分是呼吸作用？」**（牛消化吃下的草，並且把碳經過呼氣排出去；草成長的時候）**「碳在大氣中，以怎樣的模樣存在呢？」**（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？

追蹤一整年的碳量變化

- 1. 介紹 2004 年的碳追蹤影像 (Carbon Tracker 2004)** 教師告訴學生：這齣動畫的題材，是 2004 年 1 月到 12 月大氣中二氧化碳濃度的變化。教師向學生解釋：紅色代表大氣的二氧化碳極高，藍色則表示二氧化碳濃度極低，其他顏色則表示濃度介於極高與極低之間。
- 2. 播放動畫並討論** 教師播放動畫，讓學生與夥伴討論值得注意之處。
- 3. 焦點放在美洲東北部；逐月分析** 教師指出畫面上美國東北部區域，告訴學生注意此處。教師緩緩讓學生對夥伴敘述觀察到的現象，並把按鍵從左邊拖曳到右邊，每個月分都停一下。教師請這樣問學生：「該區域大氣二氧化碳最多的時候，在哪個季節？」（冬季）
「該區域大氣中二氧化碳最少的時候，在哪個季節？」（夏季）
- 4. 輪流發表** 教師先問學生：「大氣二氧化碳的濃度，一年時間內有所變化，你認為原因是什麼？」接著問：「夏天與冬天，對大氣的二氧化碳濃度有怎樣不同的影響？」
- 5. 與全班分享觀點** 邀請幾個學生與全班分享觀點，鼓勵他們延伸想法。也廣納其他想法，不論學生是否同意他人發表的觀點，都不要糾正或肯定。

教師注意事項

科學註記

關於碳追蹤影像的顏色

注意大氣藍色的區塊，表示二氧化碳很少或根本沒有；而紅色區塊則表示二氧化碳豐富。許多人都把紅色和高溫聯想在一起，而不是二氧化碳濃度的指標。教師需要強調動畫裡運用的色碼，並且確定學生是否理解。

關於季節與光合作用

地軸偏斜，是季節變化的原因。地球公轉之際，朝向太陽的區域（在北半球，從3月的春分到9月的秋分），陽光以較接近直角的角度照射該區域。基於這個原因，植物在春夏之際的光合作用較為旺盛。光合作用旺盛是因為植物吸收二氧化碳，大氣中二氧化碳的量就減少。二氧化碳量的季節性差異在北美地區尤為顯著，因為此地大多都是溫帶落葉林，秋冬時葉子掉光。整個地球，大氣二氧化碳量的變化，基本上跟隨著北半球的變化量。這是因為地表大部分的陸地位於北半球，因此陸地吸收大部分大氣二氧化碳的植物，位於北半球。

教學常規

輪流發表 這裡的教學常規，有助於確保所有學生都參與碳追蹤動畫的解謎：為什麼大氣二氧化碳的量，一年內的時間有所改變？如果教師發現：習慣持續發表的學生就是特定幾個，可能要挑出平常不發言的學生上台。學生兩兩成對討論時，若發現閉口的學生，就要上前去告訴他們：等一下會邀請他們上台，告訴全班他們的想法。這樣的提早警示，會讓沉默寡言的學生事先有心理準備，並且感到自在。

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？

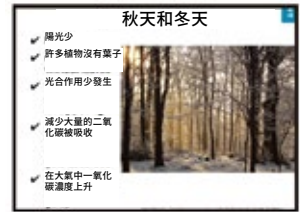


調查筆記本第 3 頁

6. 播放「春夏秋冬」投影片 請一位志願者大聲讀出每年不同時間，陽光與植物的資訊。



7. 再次討論二氧化碳濃度 請教師這樣問學生：「你現在認為，為什麼一年當中二氧化碳的濃度會不同？一年當中不同時間的陽光與植物，這樣的證據如何幫助我們回答問題？」教師邀請學生分享觀點，再次運用「2004 年碳追蹤」動畫，幫助學生呈現想法。



8. 如有必要，再次提出焦點問題 如果學生尚未在不同季節的光合作用與大氣變動的二氧化碳之間形成連結，可以這樣問學生：「7 月的時候，光合作用旺盛嗎？還是只有少量的光合作用？」（旺盛）或者：「這樣如何解釋 7 月的時候，大氣中的二氧化碳濃度減少了？」（光合作用的過程，植物吸收二氧化碳，因此光合作用越旺盛，大氣中的二氧化碳就越來越少）

9. 播放投影片；學生記錄重要概念 播放重要概念投影片，請學生朗讀。發下調查筆記本並請學生翻到第 3 頁的「重要概念」，請學生把重要概念抄在引導問題 #2 底下的欄位。



教師注意事項

提供更多經驗

延伸：運用「碳追蹤」、聚焦熱帶地區 教師告訴學生：待會還要再次播放「碳追蹤」動畫，但是這次要觀察南美洲與非洲熱帶區域。請教師播放影片數次，鼓勵學生與夥伴討論看到的現象。教師請向學生解釋：通常爲了養牛或栽種作物而砍伐森林，使行光合作用的植物變少，二氧化碳的濃度就提高了。另外也向學生解釋：一旦焚燒森林，大火會將二氧化碳釋放到大氣，「**熱帶地區看到的紅色區塊，特別在南美洲，起因是燃燒草原與森林。**」

延伸 如果時間許可，呈現完重要概念後，教師可依照以下綱要逐月討論「碳追蹤」的碳濃度——

- a.1月：**冬天。太陽不夠強烈、剩下的葉子不多。植物需要呼吸（釋放出二氧化碳），卻沒有對等地行光合作用。美國地區的二氧化碳屬於大量，大西洋地區的二氧化碳則屬於中量（黃綠色）。有些紅色煙霧狀的二氧化碳，則是從美東飄移到北大西洋之間
- b.2月至3月：**這時還是冬天。美國地區二氧化碳量較高，更多二氧化碳雲霧往外移動，飄移越過整個大西洋
- c.4月：**早春。美國地區的二氧化碳濃度很高，大西洋海域的二氧化碳也累積到相當程度
- d.5月：**春天。植物可以取得的陽光越來越多，葉子也逐漸長出來了。美國地區的二氧化碳量還是相當高，不過明顯比前幾個月低了。整個大西洋，二氧化碳的量還是很高（包括整個北半球）
- e.6月：**晚春。在美國，還是有些地區的二氧化碳濃度很高。不過到6月底，被森林覆蓋的內陸地區，二氧化碳濃度很低。整個大西洋，二氧化碳濃度持續下降
- f.7月：**夏天。此時植物可以運用大量陽光，葉子大量長出、光合作用旺盛。美國大部分地區，二氧化碳濃度偏低。整個大西洋，二氧化碳濃度幾乎已經下降到黃綠色程度
- g.8月：**夏天。美國以及北大西洋，二氧化碳濃度很低。大西洋其他區域，二氧化碳濃度偏低
- h.9月：**夏季末。溫帶闊葉樹開始掉葉，美國大部分地區以及大西洋，二氧化碳濃度持續上升，不過濃度還是偏低
- i.10月：**秋天。陽光減弱，更多葉子凋謝。二氧化碳濃度持續升高，到了10月底，美國地區的濃度已經很高了，但是大西洋的濃度還是相當低
- j.11月：**整個美國和大西洋的二氧化碳濃度更高了，美東的濃度特別高
- k.12月：**美國某些區域的二氧化碳濃度非常高，整個大西洋的濃度持續增高，但是還是很低（綠色）

科學語言

科學字彙

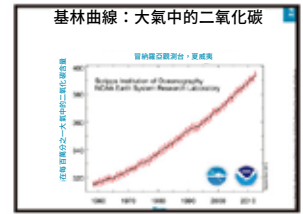
吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

追蹤許多年的碳量變化

1. 播放「基林曲線——大氣中的二氧化碳」投影片 教師向學生解釋：這是西元 1958 年在夏威夷取得的大氣二氧化碳濃度曲線。稱為「基林曲線」（Keeling Curve）的原因，是因為科學家基林，讓這樣的研究公諸於世。請教師指出：Y 軸代表大氣二氧化碳含量，X 軸表示年分。



2. 指出每年的碳濃度循環 請教師指出：類似「蠕動」的圖形，是因為每年二氧化碳濃度起伏的關係。一年當中春夏時節，如同學生先前觀察的現象，本來就會讓光合作用較為旺盛。
3. 評論最近幾十年來上升的二氧化碳濃度 請教師指出：蠕動現象顯示每年二氧化碳的季節性變化，但是從 1958 年開始記錄的藍線，卻呈現穩定上揚的趨勢。請教師向學生強調：整個地球的含碳總量是固定的，這顯然因為碳正從某些儲存庫流動到大氣的關係。
4. 學生討論二氧化碳增加量 教師請學生自己想想，大氣增加的二氧化碳來自何處？並請幾位志願者分享觀點。最後，請教師告訴學生：他們在往後小節，將學到更多相關題材，包括碳儲存庫、儲存庫之間的碳流動，還有大氣碳濃度增加的原因。

教師注意事項

科學註記

關於基林曲線 本小節中，大氣二氧化碳濃度的曲線，一般稱為「基林曲線」。基林曲線記錄了 1958 年以來大氣二氧化碳濃度變化的狀況。這條逐年持續記錄的曲線，在來自加州大學聖地牙哥分校克里斯普斯海洋研究所（Scripps Institution of Oceanography）科學家基林（Charles David Keeling, 1928-2005）的監督下，於夏威夷冒納羅亞（Mauna Loa）火山頂的冒納羅亞觀測台測量完成。基林是少數提供顯著證據、證明大氣二氧化碳快速增加的科學家之一，許多科學家也公認基林曲線讓世界認知到這樣的狀況。

教學方針

為什麼要簡短介紹大氣二氧化碳濃度增加 本小節僅提供 5 分鐘讓學生討論基林曲線，只能讓學生看到先前調查過的每年二氧化碳含量起伏，並且注意到許多年來逐年上升的趨勢。在這個階段，如果學生無法完全看懂圖表，教師也不必擔心。這個介紹，可說是未來小節的導論，往後學生將探討更多儲存庫之間的碳流動，以及大氣二氧化碳濃度增加的原因。在第三單元，學生將繼續研究這個圖形，探索 ppm 的定義以及大氣二氧化碳資料蒐集的文本。

提供更多經驗

強化：畫出一整年二氧化碳濃度變化曲線 教師呈現基林曲線前，也可以讓學生先畫出一年中二氧化碳濃度變化的情況。學生可以先呈現質性描述即可，例如在 Y 軸以「低、中、高」標示大氣中二氧化碳的濃度，在 X 軸標示冬、春、夏與秋季。接著，讓他們畫出一年當中二氧化碳的軌跡。

延伸：本小節省思

- 如果人類大規模造林，大氣二氧化碳濃度將發生怎樣的變化？為什麼？如果大規模砍伐森林又會如何呢？為什麼？
- 選擇特定時間與區域，指出該區的大氣二氧化碳濃度很低，並且解釋原因。同樣的，挑出大氣二氧化碳濃度很高的區域，也要解釋原因。

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？