海洋科學序列教材
G6-G8 海洋素養初階

教師指引

第二單元：
碳如何在海洋、陸地與大氣之間流動

數學與科學的大探索
（Great Explorations in Math and Science, GEMS®）

美國加州大學柏克萊分校勞倫斯科學廳出版

美國國家海洋和大氣管理局
GEMS® 海洋科學系列課程的補助來自 NOAA 環境素養計畫

GEMS® 數學與科學大探索（GEMS）是一項持續開發課程的計劃和不斷發展的專業網絡。在 GEMS 系列課程中，有超過 70 份的教師指引和操作手冊。GEMS 是勞倫斯科學館，加州大學伯克來分校科學教育中心的一項計畫。
海洋活動、資源與教育（簡稱 MARE）是勞倫斯科學館發展全校性跨學科的海洋科學沉浸式教學課程的一項計劃。MARE 已提供教師專業發展、課程材料和家庭資源達 20 年，這是一個長時間在本國經營中小學海洋科學課程的計畫。

勞倫斯科學館
加州大學伯克來分校，加利福尼亞州 94720-5200。
總監：Elizabeth K. Stage

GEMS 總監：Jacqueline Barber
MARE 總監：Craig Strang
專案總監：Catherine Halversen（MARE 聯合總監）、Janice McDonnell(羅格斯大學海洋與海岸科學研究所)、Craig Strang 和 Jacqueline Barber。
課程開發團隊：Catherine Halversen、Kevin Beals、Jonathan Curley、Emily Weiss、 Carolyn Willard、Emily Arnold、Lynn Barakos 和 Sarah Pedemonte。
評量開發：Seth Corrigan, Lauren Brodsky 和 Lynn Barakos。
科學顧問：Dr. Bob Chant、Dr. Jim Miller、Dr. John Wilkin、Dr. Elizabeth Sikers、Dr. Oscar Schofield、Dr. Josh Kohut、Dr. Carrie Ferraro、Kristin Hunter-Thomson 和 Janice McDonnell(羅格斯大學海洋與海岸科學研究所)，Dr. Drew Talley（美國國家舊金山河口研究保護區 / 聖地亞哥埃爾克霍恩斯勞大學）、Dr. Adina Paytan(加州大學聖克魯茲分校)、Dr. Robert Rhew 和 Dr. John Chiang(加州大學伯克來分校)、Dr. Micheal Mann(賓夕法尼亞大學)、Paulo Maurin (NOAA 珊瑚礁保護計畫)、Dr. John Manderson (國家海洋漁業局)、Eric Simms and Daniel Richter (斯克里普斯海洋研究所)、Dr. Fritz Stahr (華盛頓大學) 和 Dr. Jen Skene (加州大學伯克來分校)
海洋教育顧問 : Terri Kirby Hathaway (北卡羅來納海格蘭特)、Dr. Diana Payne(康涅狄格大學海格蘭特分校), and Sarah Ferner (舊金山國家河口研究保護區，舊金山州立大學 Romberg Tiburon 環境研究中心)
技術開發：Igor Heifetz、Brian Yan、Sage Lichtenwalner、Carrie Ferraro 和 Janice McDonnell (羅格斯大學海洋與海岸科學研究所)、Steven Dunphy (勞倫斯科學廳)
實踐管理與研究：Phaela Peck 和 Lynn Tran
編輯：Barbara Clinton
產品經理：Steven Dunphy
插圖：Lisa Haderlie Baker、Barbara Clinton、Sarah Kessler 和 Carolyn Willard
NOAA 項目管理 : Sarah Schoedinger

本課程和 DVD 是由加州大學伯克來分校製作，註冊證書號為 NA07SEC4690003 依據美國商務部國家海洋與大氣管理局（NOAA）調查結果發展該序列課程之著作立論、發現和建議等版權所屬，不須反映意見給國家海洋與大氣管理局或美國商務部。

本書是 GEMS 海洋科學序列課程 6-8 年級的一部分：海洋大氣關聯與氣候變遷
該序列分四冊印刷，標題如下：
簡介、科學背景、評估評分指南：ISBN 978-1-4350-1046-8
第一單元：海洋與大氣如何互動 ISBN 978-1-4350-1047-5
第二單元：碳如何在海洋、陸地與大氣之間流動 ISBN 978-1-4350-1048-2
第三單元：氣候變遷的原因與效應是什麼 ISBN 978-1-4350-1049-9

GEMS 海洋科學序列 6-8 年級的完整四冊：海洋與大氣的聯繫和
氣候變遷：ISBN 978-1-4350-1045-1
© 2014 加州大學董事會。 版權所有。 在美利堅合眾國印刷。 學生數據表和其他旨在在活動期間為學生復制的頁面可以復制以供課堂和研討會使用。 未經版權所有者明確書面許可，不得以任何形式複制其他文本。 如需更多信息，請聯繫 GEMS。
www.lhsgems.org (510-642-7771)
Carolina Biological Supply Company 出版
北卡羅來納州伯靈頓約克路 2700 號，郵編 27215。
撥打免費電話：1-800-334-5551。
www.carolinacurriculum.com/GEMS/
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 14 13 12 11 10

第二單元：
碳如何在海洋、陸地與大氣之間流動

目錄

單元綜覽 144

小節概述 145

2-1
找出碳的祕密 146

2-2
利用呼吸作用來找碳 156

2-3
利用光合作用來找碳，Part1 170

2-4
利用光合作用來找碳，Part2 180

2-5
調查海中的碳 192

2-6
偵查腐敗或被掩埋的生物 204

2-7
調查燃燒與碳循環 214

2-8
計算二氧化碳循環 226

2-9
連結碳流動的變化與海洋 238

單元綜覽

學生在本單元將學到：地球不同儲存庫的碳流動，透過呼吸、光合作用、燃燒、分解等管道而達成；燃燒化石燃料則引起上述碳循環的失衡。學生探索「碳卡」（Carbon Cards），發現原來碳存在於所有生物體內以及其他地球系統。學生以酵母進行實驗，了解到生物會消耗碳，並且以二氧化碳的形式排出碳。學生閱讀並分析光合作用，觀賞地球在一年當中不同時期二氧化碳吸收狀況的動畫。此外，他們也能閱讀並討論，發掘生物體死亡後碳發生了怎樣的變化。學生們探索桌機版的碳循環模型，運用數學計算調查工業對碳循環的衝擊，並且閱讀海洋酸化的文章。綜觀本單元，學生學習科學應用，課程則聚焦於科學解釋以及證據扮演的角色。

小節概述

2-1 找出碳的祕密

讓學生寫下課前想法，並講述他們心中對於碳的理解。接著學生閱讀、討論並分類「碳卡」以及觀賞動畫短片。學生將在本節中學到碳存在於地球何處，以及碳相關的定義。

2-2 利用呼吸作用來找碳

學生養殖酵母樣本，並且運用酸指示劑回答「攝食與二氧化碳產生的關聯」這個問題。學生將在這個單元學到：許多有機體消耗食物的固態碳，然後釋放出氣態的二氧化碳。學生繪製「碳循環圖」（Carbon Cycle Diagram），在整個單元的後續小節中都可以增添內容。

2-3 利用光合作用來找碳，Part1

已知植物行光合作用時會吸收二氧化碳，全班一起檢視瓶中裝水、植物與酸指示劑的照片，小組閱讀並討論證據卡，並回答「植物體的組成，大部分來自何處」這個問題。

2-4 利用光合作用來找碳，Part2

學生可在這單元中探索動物、植物與大氣間碳流動的幾種方式。在「碳循環圖」中加入新內容，並且針對儲存庫之間的碳流動，寫下幾種流動方式的描述。

2-5 調查海中的碳

學生在這單元中可學到：海洋的生物體因為光合作用與製造外殼，會利用二氧化碳。學生也可在這裡討論碳如何進入到海洋。學生可執行兩項調查活動，發現海水會從上方的空氣吸收二氧化碳。

2-6 偵查腐敗或被掩埋的生物

每個學生閱讀四篇短文中的其中一篇，以蒐集問題的證據——生物死後，碳去哪兒了？ 4 人一組分享想法，可以了解到：死亡後的生物會分解，也可能埋在缺氧的環境，千萬年後變成化石燃料或石灰岩。學生可利用「碳卡」畫出流程圖，討論並展示他們對碳流動的理解。

2-7 調查燃燒與碳循環

學生運用「碳流動卡」（Flow cards），了解碳離開石灰岩或化石燃料等儲存庫的自然路徑。教師燃燒蠟燭，顯示燃燒化石燃料也可以把碳從這個儲存庫轉移到大氣。接下來，全班共同探索桌機版的碳循環模型。

2-8 計算二氧化碳循環

我們用電腦模型介紹碳流動與儲存庫的測量，學生以「碳循環卡」搭配這些測量，產生「桌面碳循環圖」（tabletop diagram）。學生計算不同路徑的碳流動總量，並且得到結論：人類工業造成的碳流動，使碳循環失衡。

2-9 連結碳流動的變化與海洋

學生閱讀並討論，發現大氣的二氧化碳濃度增高，海水中的二氧化碳也會變多，進而改變海水的化學作用而影響了海洋生物。學生寫下修正後的想法，為本單元做總結。

找出碳的祕密

讓學生在課前寫下對於心中關於碳的想法。然後兩兩學生一組，根據投影片的提示，討論他們接收到關於碳的資料。接下來小組閱讀、討論並且把「碳卡」分類成「含碳的東西」以及「不含碳的東西」。學生透過討論與分類，學到地球上的哪些地方有碳，以及什麼是「碳的儲存庫」。最後，本小節以一齣簡短的、關於碳的影集作為結尾。學習重要概念為以下項目：

· 碳是所有現生以及過往生物的成分，也存在於許多其他物質中

學生也學習到：

· 碳是地球上最豐富的物質之一，並且以許多形式存在著

找出碳的祕密	預計時間
寫下課前想法	10 分鐘
介紹單元理念	10 分鐘
分類「碳卡」	15 分鐘
總結碳的觀點	10 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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 2.B.4 許多海洋生物發展出碳酸鈣質的骨骼，生物死後骨骼構成了沉積岩、珊瑚礁與層疊石
氣候素養原則 3.E 生物仰賴氣候、氣候形塑生物，生物也會影響氣候

你要準備以下項目

形成性評量放置於影印包中，請在單元上課前爲學生施測；當作是前測，做爲評斷已知與未知的基準。單元實施後再行施測，這時就是後測，做爲學生對於該單元的學習成效。評分標準請見本系列介紹手冊的第 81 頁。

全班需求

☐ 投影設備 *
☐ 水 *
☐ 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
☐ 2-1 小節的 7 張投影片
☐ 影集：全球暖化；一切都是碳 （第一集）
☐ （選擇利用）影印包

每組學生需求

☐ 20 張「碳卡」（完整一套共有 20 張）
☐ 1 個信封袋

每位學生需求

☐ 調查筆記本：p.2-3
☐ （選擇利用）影印包：第二單元的評量答案表、第二單元的評量（前測）

•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. **播放並檢視影集：**一切都是碳（3 分鐘 20 秒）。先從資源光碟（紙本版本）找出並先檢視，或者線上搜尋（NPR）。
3. **準備「碳卡」：**從 24 張卡移除以下 4 張：「水泥」、「海洋」、「大理石」與「發電廠」。沿著孔洞將卡移除，並把剩下 20 張卡放進信封袋。先保留這 4 張卡，等到 2-6 小節將會用到整套的「碳卡」。
4. **準備調查筆記本：**如果教師沒有替每位學生購買筆記本，可以從教材包中的樣本複印給每位學生。如果沒有教材包，也可以從資源光碟印出 PDF 版本（資源光碟黏貼於介紹手冊背面）。
5. **預先將學生分組：**本小節以及後續小節，學生需要與鄰近夥伴討論並且一起工作，以兩兩或以 4 人一組的方式進行。
6. **（選擇利用）準備學生學習單：**如果教師想要實施總結性評量並把施測結果當成前測，請從影印包影印以下文件——
   _ 單元二 : 評量答案卡（每個學生一份）
   _ 單元二評量（每個學生一份）

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

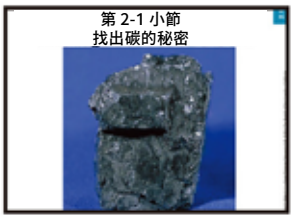
科學論證

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？

課前想法

調查筆記本第 2 頁

寫下課前想法



1. 播放小節標題投影片 學生進入教室後，教師開始播放小節標題的投影片。鼓勵學生討論他們心中對於碳的看法。

2. 介紹調查筆記本 給每位學生發下調查筆記本，提醒他們：整個單元的過程都用得到筆記本，可用來記錄想法、學習記錄與調查結果。也提醒學生：在真實的情境下，科學家也會用筆記本畫圖、寫作、筆記或記錄數據。

3. 介紹寫作提示——關於碳，你瞭解多少 請學生翻到調查筆記本第 2 頁「課前想法」，並告訴他們：寫下關於碳的想法；也可以寫下碳在飲食、呼吸、燃燒以及動植物之間的關聯。如果學生對此不太有把握也沒有關係；他們還是可以照實寫下自己的想法。

4. 學生書寫 告訴學生：有將近 7-8 分鐘的時間可書寫，然後請他們動手開始。

教師注意事項

教學方針

調查筆記本 調查筆記本收錄了本單元大部分的學習單以及閱讀素材。把所有文件裝訂成一冊筆記本，學生就可以回顧註記，當作學習與想法改變的省思。這本筆記本將協助教師與學生管理文件。學生記錄調查筆記本時，就跟科學家的日常如出一轍——記錄問題、想法以及觀察，並且閱讀文本。

教學常規

小節標題投影片 整套海洋科學系列教材，在大部分小節展開之初、學生進入教室之際，都由標題投影片開始。學生針對小節未來將學到的內容互相討論。藉由這樣的方式，當作學生學習該主題的動機。

課前想法 / 修正後想法 在 2-4 與 2-7 小節，給予了選擇性「提供更多經驗」活動，教師可以讓學生在「課前想法」底部的空白處加上註記。在 2-9 小節，學生再次回到「課前想法」那頁，然後回答相似且稍加複雜的提示之時，思索自己的想法如何發生變化。教師比較課前想法與修正後想法，可以評估學生的理解貼近本單元核心概念的過程。學生再次審視課前想法，也協助他們注意且反省如何貼近重要概念。

評量

嵌入式評量：課前想法 教師閱讀學生針對提示的回應，評估學生上課前帶進教室的最初知識。請注意：學生是否提到二氧化碳，或是碳在光合作用或燃燒所扮演的角色。當然，上課前學生對於碳以及碳在這些自然過程扮演的角色，可能所知甚少或根本沒有概念；進行本單元的上課過程時，學生可以完整地探索這些關於自然界的過程。

英文學習者

提升母語的使用 鼓勵英文學習者在課堂上運用母語，這讓他們方便學到科學內容，也容易感到自在。書寫課前想法時，鼓勵英文學習者使用母語。稍具英語能力者，可能以英語寫出關鍵字；而英語能力較弱者，可能只能寫出母語。如果教師不懂他們的母語，也不需擔憂。這個活動，是讓學生提取預備知識，並且記錄上課前的想法，作爲上課後的基準，用以比較後續理解的增長。

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？

介紹單元理念

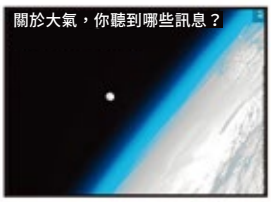
1. 介紹單元內容以及碳的重要性 告訴學生：待會要展開新單元，內容與海中的碳有關係，而碳也是宇宙中第四重要的元素。宇宙中比碳更多的元素，只有氫、氦和氧。教師要向學生解釋：瞭解碳是重要的，因為這樣可以理解海洋、空氣以及地球上所有生命之間的關聯。

2. 播放投影片；介紹引導問題 教師大聲讀出引導問題，告訴學生：這將是今天以及往後小節要調查的主題。

3. 複習輪流發表的例行程序 幫學生複習：「輪流發表」就是小組針對主題進行夥伴間短暫討論的過程。夥伴們藉著交談與思考主題的過程，開始探討主題。現在學生兩兩成對，藉著討論 3 張投影片的內容，開始思考碳是什麼。

4. 輪流發表 3 張碳投影片 每張投影片花 1 分鐘，請兩兩成對的小組彼此討論觀點。如果討論漸漸減少，播放的時間也可以減少：

- **關於大氣，你聽到哪些訊息？**
- **關於二氧化碳，你聽到哪些訊息？**
- **關於生物利用空氣、二氧化碳和氧氣，你聽到哪些訊息？**



5. 和整個班級分享想法 請幾位學生在全班面前，談談關於碳的想法。在這個階段，請教師傾聽，避免更正或肯定學生的陳述。

教師注意事項

教學常規

輪流發表 整個單元過程中，學生將與身旁的夥伴討論問題或觀點，當作是參與全班討論以及回應的準備。這樣的過程可以協助大家針對指定主題的討論。這種方式，也確保所有學生都有機會組織想法，而不僅僅侷限於幾個願意在全班面前開口的學生而已。

教學建議

討論的祕訣 學生討論碳的時候，教師不要開口確認或修正學生的陳述。在這種討論氛圍下，教師維持中立且鼓勵的態度，是相當重要的。此外，教師也要避免提供科學內容的資訊並且告訴學生：每個班上的一份子都應該充分參與討論；對方發表觀點時，也應該尊重他人並專心聆聽。教師設法表達清楚：在討論的過程中，並非要學生說出唯一的正解好讓老師評分；而是提供機會讓大家能夠傾聽、比較、討論，以及針對他人的觀點來辯論。

教學方針

創造支持對話的教室文化 海洋科學系列的一個重要目標，就是針對有趣的科學現象與解釋，發展對話式的教室文化。爲了鼓勵學生參與，請向學生強調：就算起初的想法到最後是錯的，也無傷大雅。請向學生解釋：這樣的狀況經常發生於科學界，而那些最讓我們訝異的結果，反而讓我們學到最多。

科學語言

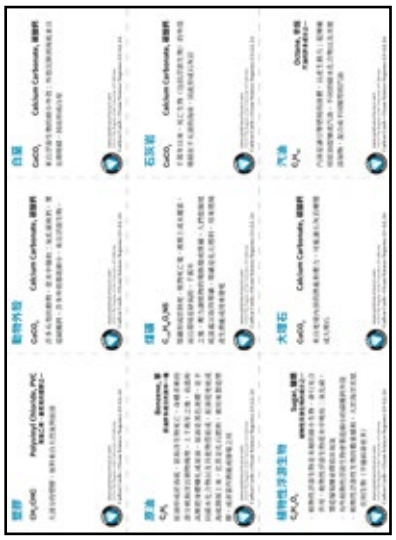
科學字彙

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？

碳卡的正面（9/24）



碳卡的背面（9/24）

分類碳卡

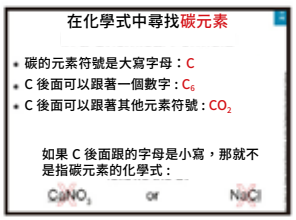
1. 介紹活動 告訴學生：每組成員將被分發到一套卡片，上面有地球上的許多物體。小組一起觀看卡片上的圖，討論哪些物體含有碳。這個過程讓學生了解：不確定物體是否含碳，也無傷大雅。請注意：卡片背後有訊息，有助於學生判斷含碳物體。

2. 小組找出含碳的卡片 發下每套 20 張卡片的碳卡給各組，讓小組有 5-7 分鐘探索，討論出含碳的物體。

3. 介紹化學式 讓學生重新拾回注意力，並指出：每張卡的背面有組成物體的化學式，從化學式可以看出原子的種類。

4. 複習分子 提醒學生：分子由一群原子組成，體積小到看不見。分子的種類很多，包括水分子和二氧化碳分子。

5. 播放投影片——從化學式找碳 告訴學生：快速展現組成原子的方式，就是化學式。教師協助學生讀出化學式，並且理解基本的化學式：



- **字母：**大寫的 C，代表碳原子
- **符號加上數字：**如果 C 的後面接著數字，表示碳原子的數目。舉例來說，C6 表示有 6 個碳原子
- **其他符號：**C 的後面，可能還有其他大寫的字母，例如 CO2 表示兩個氧原子和碳原子組成 CO2 分子
- **字母後面的字母：**C 後面的小寫字母，合起來是另一種原子，例如 Ca 是鈣、Cl 是氯。

學生分類卡片的時候，繼續播放投影片，讓他們參考。

6. 分類卡片並且歸納相同處 請學生利用化學式，理解哪些物質有碳、哪些沒有。請學生把碳卡分成兩類：(1) 含碳的卡片以及 (2) 不含碳的卡片。卡片分成兩類後，請小組注意並討論：含碳的物質，有什麼共通之處？

教師注意事項

提供更多經驗

準備：介紹化學式 上課之前，教師提供簡短的介紹，讓學生理解分子以及化學式，當作是本單元的暖身準備。

延伸：探索化學式 讓學生在周期表上找到碳原子，並告訴學生原子構成分子，化學式就是呈現這些原子的快速手段。舉例來說，每個甲烷分子有 1 個碳原子和 4 個氫原子，化學式就是 CH4。葡萄糖分子有 6 個碳原子、12 個氫原子以及 6 個氧原子，化學式就是 C6H12O6。教師可發下周期表，這樣學生就可以探索其他化合物的化學式，找出化合物的組成原子。

延伸：線上影集 生命的成分——碳（1 分鐘 38 秒），是值得推薦的資源，可以強化小節的概念。（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）

教學方針

爲什麼碳卡提供這麼多資訊 卡片背後的資訊超過本小節的範圍。到了 2-2 以及 2-6 小節，碳卡還會派上用場，屆時卡片後的資訊會更有意義。根據教學經驗，教師或許會告訴學生：本小節爲單元的介紹，如果看不懂的卡片有一大堆，並沒有關係。

科學註記

關於原子、元素和分子 原子是所有物質的基礎成份，單一型態的原子，稱爲「元素」（elements）。周期表排列元素的準則，是根據元素的結構與性質。多個原子組成分子，而多種原子的組成就是化合物。學生面對原子與分子，可能會產生混淆。如果學生對分子與化學式不熟悉，教師可以採用這樣的類比：如果原子是字母，分子就是由這些字母組成的單字。

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？

重要概念

調查筆記本第 3 頁

7. 解釋碳化合物 教師可能想要向學生澄清：有些碳卡組成的例子，就算組成複雜，但就是單純的含碳化合物。舉例來說，海洋沉積物由許多物質組成，不只是 CaCo3。強調這個概念，會讓學生把焦點放在碳上面。

8. 小組和全班分享想法 小組分類完碳卡，請各組派出代表，與全班分享想法。這時請問問學生：「**含碳的物質，有什麼共通性？不含碳的物質呢？**」請教師接受不同的想法。學生分享的當下，也鼓勵他們提供例子：「**你為什麼這樣想呢？**」不管其他學生同意或不同意，都問問他們的想法。（學生可能說，所有活著的生物都含有碳；或許他們也了解，曾經存在的生物也含有碳）

總結碳的觀點

1. 播放投影片；學生記錄重要概念 播放投影片，讓學生閱讀重要概念。請學生翻到筆記本第 3 頁「重要概念」，把概念抄寫在引導問題＃ 1 下方的欄位。然後教師說明：「**碳可以和其他原子結合，變成一大串不同的物質——包括固體、液體和氣體，還有活著的生物以及非生物。**」

2. 介紹儲存庫 教師向學生解釋：集中或儲存某物的場所，就是「儲存庫」。有一種耳熟能詳的儲存庫，儲存了大量的水，以供城鎮的居民之用。儲存庫，不見得是單純儲存單一的物質。舉例來說，海洋可以說是鹽的儲存庫，而鹽溶解於海水，海水也包含了許多其他物質。

3. 擴充碳的定義 教師向學生指出每張碳卡描述的項目，如果完全或部分由碳組成，就是碳的儲存庫，也就是儲存碳的場所。問問學生：「**小規模的碳儲存庫，請舉例？**」（鉛筆中的石墨）「**大規模的碳儲存庫，請舉例？**」（所有地球上的動物和植物）然後請向學生解釋：「地球上所有生物，包括學生和老師，都算碳的儲存庫。」

4. 播放影集 播放一切都是碳（3 分鐘 20 秒）影集，當作是本小節的結尾。這部影集以精簡且讓學生投入的方式，介紹碳元素。影集播放完畢，邀請幾位志願者分享問題與想法。

教師注意事項

科學註記

關於碳化合物 碳原子可以和其他原子結合，變成化合物。含碳化合物，型態包括氣態，例如二氧化碳以及甲烷。含碳化合物，也可以溶入液體，以二氧化碳（CO2）、碳酸（H2CO3）、碳酸氫根（HCO3-）或碳酸根（CO3-2）等形式溶入；也可以是固體，像是碳酸鈣（CaCO3）或是纖維素（C6H10O5）。所有的生物，都含有碳。碳化合物是構成葡萄糖、蛋白質、脂肪以及其他生物所需物質的構成要件。碳卡當中，只有兩張不含碳，那就是記錄鹽巴以及玻璃的那兩張。

教學方針

記錄重要概念的理由 讓學生每堂課都記錄重要概念，且記錄在筆記本特定區域。這樣的方式，等於提供了強有力的工具，協助他們反思以及統合單元的重要想法。學生藉由回答引導問題之際，組織重要概念，並且教師也鼓勵他們另加註記，有利於複習這些學習軌跡以反思學習過程，當作是寫作與討論的準備。

提供更多經驗

強化：創造一面概念牆 學生在調查筆記本記錄重要概念，而教師也可以把重要概念與引導問題張貼於教室牆上，創造一面「概念牆」，這是相當有學習效益的作法。這樣一來，學生需要參考重要想法之際，只需要看牆壁一眼即可。除此之外，因爲目光所及的牆上有關鍵字彙，學生還可以藉此強化目標字彙的認知。請教師把相關的概念與問題都集中張貼。教師可以再加上學生作品的複本或單元的教具，或者邀請學生分享相關的插圖。

延伸：反思小節的提示 每小節最末，都提供了提示，讓教師多方運用。提示提供了額外機會，讓學生得以處理和運用單元的資訊與想法。此外，提示也可以用來當作小節結束後或者是最後一次輪流分享的工具，以利小組討論。或者，教師指派課堂作業或回家作業時，提示也可以用來促進科學寫作。**請注意：**提示不是調查筆記本的內容，且運用提示所需的時間，不包含於課程規劃時間之內。

- 你從影集看到碳的相關訊息，最有趣的是什麼？
- 海洋、大氣與生物之間，因爲碳而產生關聯。請問是透過怎樣的方式呢？

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
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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 4.A.5 大部分生物消耗的氧氣，都來自海洋中的光合作用生物
氣候素養原則 3.E 生物仰賴氣候、氣候形塑生物，生物也會影響氣候

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（濃度爲 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 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示 “S”，右邊標示 “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？

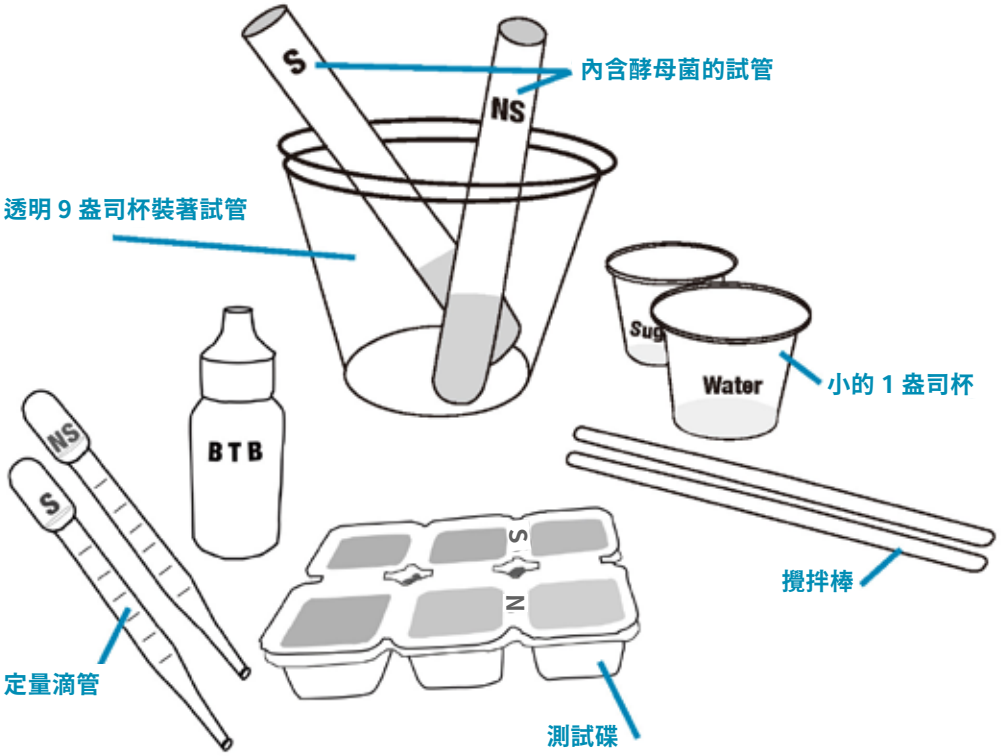


圖 2-1 上圖是一套酵母菌測試器材（一對學生用），請將兩套放在自助餐餐盤上，以便把所需器材分配到實驗桌

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爲止。

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，到容量爲 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 根標示爲 “NS”的試管。加兩管糖水到另一根標示爲 “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。如果水色爲綠色，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」，可接受的量爲 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 /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？

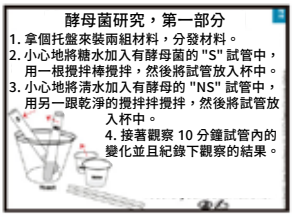
2. 介紹生物 在白板寫下「生物」（orgasim）；植物、藻類、動物、真菌、植物性浮游生物、有殼動物以及其他一切生物。

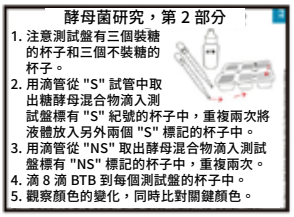
3. 播放新的引導提問投影片 教師請一位學生大聲讀出引導問題，並向學生解釋：接下來幾個小節，班級將要調查這個問題。

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，碳化合物經歷怎樣的過程。

科學註記

關於酵母菌 我們稱之爲「酵母菌」的生物，屬於微小、單細胞的眞菌類。眞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爲二氧化碳以及乙醇。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 /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。

爲什麼先教呼吸作用、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，轉化爲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，如何轉換爲氣態的二氧化碳，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爲固態的葡萄糖分子——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，因爲學生可以隨時取用或參考。萬一學生因爲桌上的器材而分心，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 /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？

重要概念

調查筆記本第 3 頁

解釋調查結果

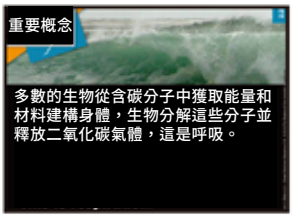
1. 分享觀察結果 請幾位學生分享觀察結果（發現氣泡；BTB 加入酵母後，顏色變了）。教師可以這樣問學生：「**有葡萄糖的試管產生了二氧化碳，你的證據是什麼？**」（氣泡；顏色改變）

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），把氧和葡萄糖轉換爲二氧化碳和水，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。

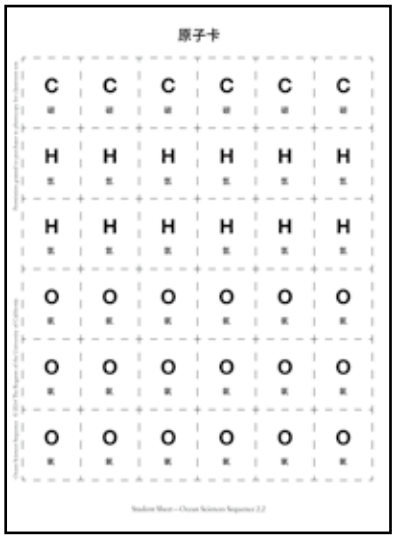
科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /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

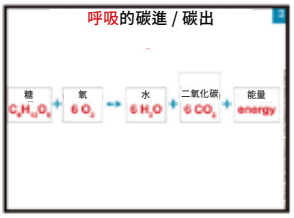
你的想法是什麼？
你為什這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



（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（CH4）。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）。牛爲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，這是因爲胃裡缺少氧氣）。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，化學式爲 C6H12O6，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 爲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（C6H12O6 ＋ 6O2），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。

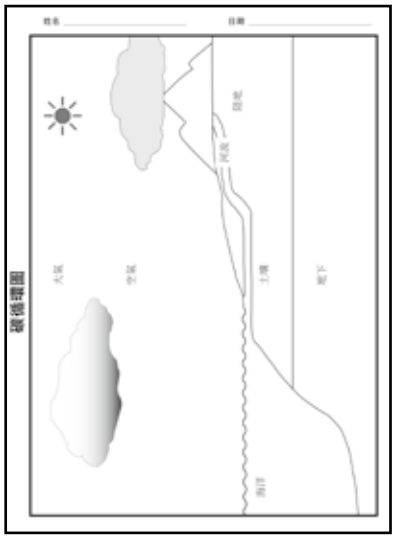
科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /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

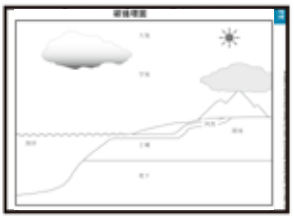
科學論證

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。

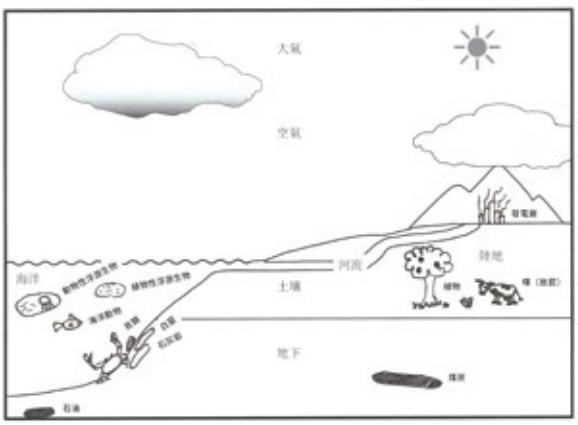


圖 2-2 影印包提供碳循環圖的教師參考資料範例

教師注意事項

教學建議

關於大氣的另類觀點

學生可能會認爲大氣的所在位置「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，就是爲了貼這張圖。

英文學習者

額外練習 因爲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

- 爲什麼畜養較多牛隻，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 /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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 4.A.6 光合作用的過程產生氧氣，而呼吸作用與腐敗作用都需要氧氣
氣候素養原則 3.E 生物仰賴氣候、氣候形塑生物，生物也會影響氣候

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，並與學生討論植物體的組成。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？

重要概念

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，會變成原來的藍色呢？**
- **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「眞實」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

爲什麼要精簡討論？ 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

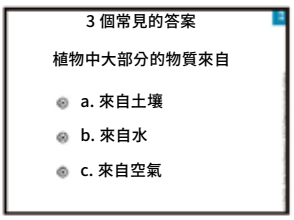
1. 複習科學證據圖表 教師指向先前張貼的圖表，複習不同種類的證據：

- **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

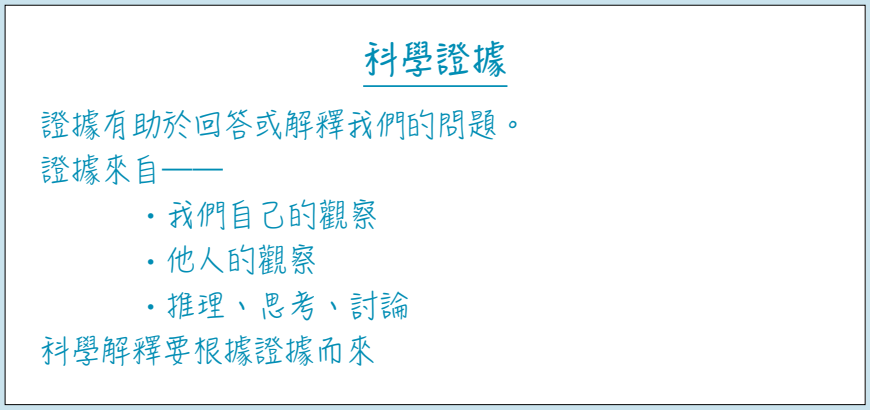


圖 2-3

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：「**海豹爲什麼會死？**」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：「**你認爲海豹怎麼死的？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中都有。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，因爲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；陸地植物則因爲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？

評估證據：大部分植物結構的來源

調查筆記本第 9 頁

植物調查 B—水耕栽作

植物調查 C—需要多少水？

植物調查 D—多餘的二氧化碳

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 提供每個學生一段敍述（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敍述，並且指出哪個答案支持這一段敍述。兩個夥伴都完成分析後，彼此交換敍述並另外找夥伴。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 因爲原本題目問的是「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？

評估證據：大部分植物結構的來源

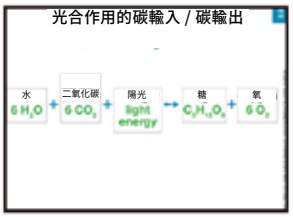
調查筆記本第 9 頁

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，是植物利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。因爲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，有些人以爲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，因爲動植物死後會分解，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，這也是爲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（mare.lawrencehallofscience.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。
- 砍伐森林爲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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 2.B.1 全球的氣候，與大氣的二氧化碳濃度有關。二氧化碳的量越多，暖化情形越嚴重
氣候素養原則 7.D 氣候變遷的後果，將會影響地球系統以及人類的生存

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

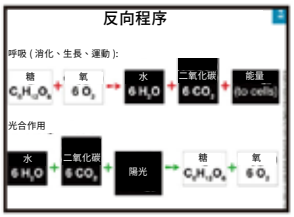
1. **播放小節標題投影片** 讓學生了解：待會的課程將讓他們發現，光合作用的過程會改變地球的二氧化碳濃度。

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 equilibrum）。

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，二氧化碳的的淨值是由大氣流往植物。不過因爲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：植物爲了生存，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

爲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。

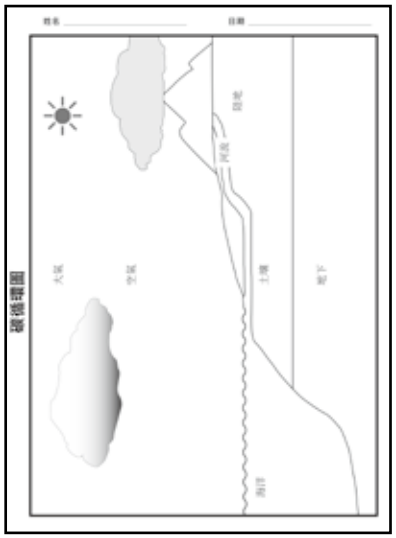
科學語言

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

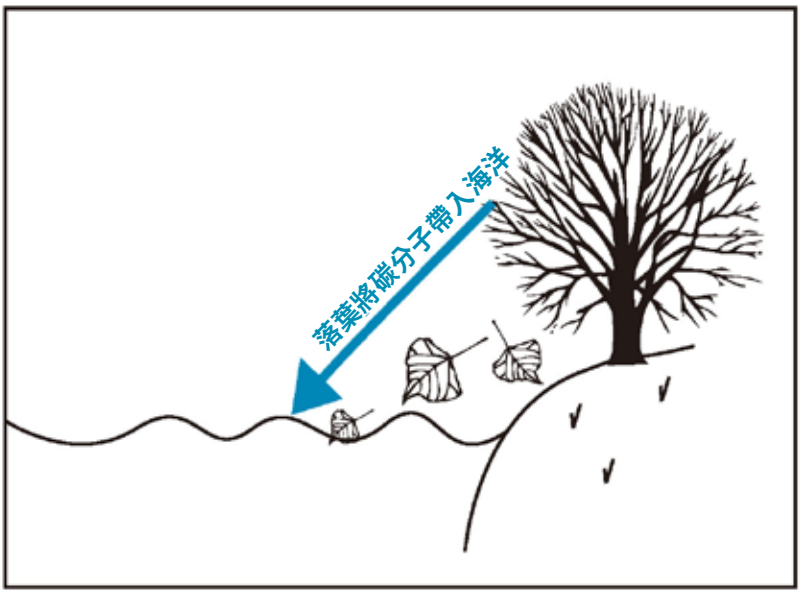
碳流動

調查筆記本第 15 頁

將碳流動加入到碳循環圖

1. 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。

2. 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。**」



3. 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。

4. 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爲彼此相關的兩字，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爲旺盛。光合作用旺盛是因爲植物吸收二氧化碳，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爲顯著，因爲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。這是因爲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：爲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？

重要概念

引導問題 1：在地球上，哪裡可以找到碳？

引導問題 2：生物用怎樣的方式利用碳？

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

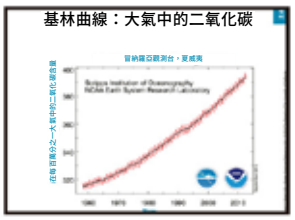
科學字彙

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，一般稱爲「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

爲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？爲什麼？如果大規模砍伐森林又會如何呢？爲什麼？
- 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？

調查海中的碳

到目前為止，學生們接觸到簡短的碳流動介紹，本小節將介紹海中運用碳的生物。植物性浮游植物和海藻，都利用碳來行光合作用；有殼動物則利用碳來建造外殼。在這裡學生需執行兩個動手操作任務，以回答教師引導的問題「**碳如何進入海洋**」：首先調查暴風雨攪動海水與空氣，會發生怎樣的現象；其次海面風平浪靜的時候，海水是否能夠吸收二氧化碳。學生完成動手操作之後，又可以在碳循環圖上增添豐富程度了。本節學生將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 海洋從大氣吸收鉅量的二氧化碳
- 許多海洋生物需要碳來行光合作用或製造外殼，這些生物從溶解於海水的二氧化碳取得碳

學生也將學習到——

- 行光合作用的海洋生物，包括植物性浮游生物與海藻
- 當暴風雨來襲，海水與空氣充分混合，海水吸收二氧化碳的速度更快；但是少了暴風雨，海水同樣可以吸收二氧化碳
- 海洋生物的呼吸作用，會把二氧化碳釋放到海裡
- 地球不同區域的碳流動，共同形成大系統，稱為碳流動
- 每個科學模型都有正確之處，也有不正確之處

調查海中的碳	預計時間
複習陸地和空氣的碳流動	5 分鐘
介紹海洋生物如何利用碳	10 分鐘
調查碳流動：從空氣到水	15 分鐘
評析調查活動並增加碳循環圖的內容	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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 3.B.2 進入大氣的二氧化碳當中，有 50% 被海洋吸收。請參閱 **S&S 2.B.4**
氣候素養原則 7.D 氣候變遷的後果，將會影響地球系統以及人類的生存

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 *
☐ 2-5 小節的 7 張投影片
☐ 蒸餾水和測試過的水 *（請見下方）
☐ 兩瓶溴瑞香草藍（BTB）
☐ （選擇利用）幾顆螺殼

每組學生需求

☐ 1 個自助餐餐盤
☐ 1 個可以扭緊蓋子的水瓶
☐ 1 個塑膠杯（9 盎司）
☐ 1 個自黏式塑膠袋（8”x10”）
☐ 1 根吸管
☐ 1 張白色便條紙 *

每個學生需求

☐ 碳循環圖（2-4 小節）
☐ 調查筆記本：pp. 3-4, 17;（選擇利用）p.16（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。播放並檢視影集：一切都是碳（3 分鐘 20 秒）。先從資源光碟找出並檢視，或者線上搜尋（NPR）影集。
2. **取得貝殼標本：**如果有辦法取得多樣的貝殼，就能提供絕佳機會，讓學生親手操作並且近距離觀察。收藏貝殼的人很多，他們也很願意分享。取得 1-2 個螺殼，會吸引學生專注並具備展示效果。在此呼籲教師利用現有的貝殼收藏，不要另外從商店或網路購買；很多時候，貝殼的取得都是犧牲生命和棲息地換來的。
3. **測試自來水：**在選用測試過的水之前，先測試自來水。滴幾滴 BTB 並檢視變色狀況，決定自來水樣本是否爲中性。如果自來水是中性，應該呈現深藍色。如果顯現綠色，就要另外找水了。有些瓶裝水或自來水，的確讓 BTB 變色，這時蒸餾水就是建議的選項，以避免不必要的變因。
4. **杯子與水瓶裝滿水：**請準備 1 個杯子和 1 個水瓶給各組——
   _ 蒸餾水倒進杯子，約 1/3 滿，加 30 滴 BTB，或者加到蒸餾水變成深藍色
   _ 蒸餾水倒進水瓶，約 1/3 滿，加 30 滴 BTB，或者加到蒸餾水變成深藍色；瓶子加蓋
5. **準備盆子：**每組一個盆子，放進以下器材給各組——
   _1 個加蓋的水瓶
   _1 個加水的杯子
   _1 個自黏式塑膠袋
   _1 個有包裝的吸管
   _1 張便條紙

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？

複習陸地和空氣的碳流動

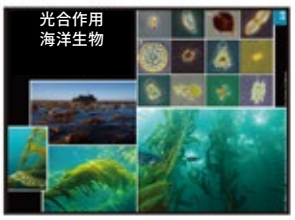
1. 播放小節標題投影片 學生進入教室，鼓勵他們想想今天要探索的內容。

2. 複習地球上的碳流動 發下學生的碳循環圖。教師提醒學生：儲存碳的場所，就是碳儲存庫。先前學生畫箭頭，表示碳從某個儲存庫流動到另一個儲存庫。請教師這樣問學生：「**碳的儲存庫有哪些？舉出幾個例子**」，並傾聽學生的回應。如有必要，教師也可以問問以下特定的問題——

- **碳如何從動物移動到大氣？**（動物呼吸二氧化碳，或者因為呼吸作用釋放出甲烷氣體）
- **碳如何從大氣移動到植物？**（植物因為光合作用吸收大氣的二氧化碳。大部分的植物體組成，都是來自二氧化碳中的碳原子）
- **碳如何從植物移動到動物？**（植物含有碳，動物攝食植物，碳因此移動到動物。動物身體大部分的組成，來自牠們吃下的有機碳）

介紹海洋生物如何利用碳

1. 介紹海洋生物 請教師向學生這樣說：「**我們已經討論過地球生物的碳流動——植物從空氣得到碳，動物釋放二氧化碳到空氣。現在，我們要調查海洋生物的碳流動；生物周圍是水，不是空氣。**」



2. 播放投影片；描述海洋中行光合作用的生物 請教師這樣告訴學生：陸地植物會行光合作用，海洋生物也會——事實上，地球大部分的光合作用，發生在海洋。也請教師指出投影片的例子：植物性浮游生物（右上方 12 個方格）是微小的生物，海藻（下方的海帶）則可以長到非常巨大。教師提醒學生：就像陸地植物一樣，這些光合作用的生物需要攝取二氧化碳；就像陸地植物一樣，海中光合作用的生物大部分身體的組成，也來自二氧化碳。

教師注意事項

每日書面反思

爲什麼大氣中的二氧化碳濃度，春夏較低、秋冬較高？如何以證據支持論點呢？ 這則提示收錄於調查筆記本第 16 頁，讓學生了解在春天發生的樹葉成長，以及光合作用消耗二氧化碳、減少大氣二氧化碳。從兩者中間想出連結。

教學建議

提供更多複習時間 教師根據學生的經驗，可以多花點時間在「複習陸地和空氣的碳流動」這個小節。舉例來說，也可以讓學生解釋自己畫的碳循環圖給夥伴聽。

科學註記

關於植物性浮游生物 是能行光合作用、隨著洋流移動的生物。大部分的植物性浮游生物都很細小，不用顯微鏡看不到。有些是細菌，有些是原生生物（protist），大部分是單細胞、類似植物的生物，它們負責製造大氣中大部分的氧氣。植物性浮游生物與陸地植物一樣，都需要陽光進行光合作用；不過植物性浮游生物缺少根、莖、葉、花、種子，或是其他適應陸地生活的器官。植物性浮游生物的種類多樣，這些生物彼此間的演化方式不同，也與陸地植物不同。

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

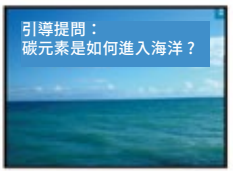
科學論證

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？

3. 播放投影片並展示貝殼；描述有殼生物 教師傳下貝殼（如果教師有準備），讓學生觀察。播放投影片並告訴學生：「**許多海洋生物都有外殼，以保護殼內柔軟的身體。外殼就是包覆身體的外骨骼，例如蛤蜊和螺都有殼。許多這樣的海洋生物，利用碳酸鈣來建造外殼。**」教師在白板上寫下 “CaCO3” 並且圈出代表碳的 “C” 。教師指出：這些生物必須從環境裡吸收碳，以建造外殼。

4. 總結海洋生物對二氧化碳的需求 請教師這樣說：「**海洋生物被海水而非空氣包圍，為了行光合作用以及建造外殼，而從周圍的水吸取二氧化碳。**」

5. 介紹新的引導問題;播放投影片 教師問學生:「**如果這些生物從水（H2O）取得二氧化碳，那麼二氧化碳如何進入水中呢？這些生物需要的二氧化碳從哪來的？**」播放投影片並請一位志願者大聲朗讀新的引導問題。教師告訴學生：待會全班都要調查這個問題。



6. 輪流發表 教師讓學生彼此兩兩成對，針對二氧化碳如何進入海洋來討論。（海洋動物呼出二氧化碳；從空氣進入海洋）邀請幾位志願者，與全班分享觀點。教師問學生：「**確定嗎？**」「**怎麼樣可以更加確定呢？**」

7. 如何調查的想法 教師問問學生：如果科學家接手問題，該如何測試剛剛提出的想法。志願者分享問題的時候，教師可以問其他學生：「**你為什麼會這樣想呢？**」「**如何測量？**」萬一沒有學生提出清晰的觀點，或是提出的想法不可行，教師也不必擔心。

調查碳流動：從空氣到水

1. 介紹兩個可以用模型調查的問題 教師告訴學生：待會要調查兩個問題——(1) **大氣中的二氧化碳，可否因為暴風雨攪動海水的關係而進入海面？** (2) **大氣中的二氧化碳，就算海面風平浪靜、缺少攪動效果，也可以進入海面嗎？**同時教師也告訴學生，待會要用容器當成模型海洋。

2. 複習二氧化碳與 BTB 待會的調查，將採用學生呼出的二氧化碳，並以 BTB 當指示劑，一如先前小節。教師提醒學生：起初 BTB 是深藍色，加入二氧化碳後變成黃色。

教師注意事項

科學註記

關於海洋有殼生物 許多海洋生物，例如珊瑚、牡蠣、蛤蜊、藤壺、海膽與有些重要的浮游生物，利用溶解於海水中的鈣離子（Ca2+）與碳酸根離子（CO32 −），結合兩種離子構成碳酸鈣（CaCO3）的骨骼或外殼。鈣是地殼裡豐富的元素，許多岩石裡都可以發現，例如石灰岩或大理石。鈣容易溶解於水，也是海水的重要成分。許多生物都需要鈣，以構成骨架、外殼、骨頭、牙齒，甚至眼睛的晶體。

關於海洋中的二氧化碳 事實上，海中生物從三個管道取得光合作用與外殼需要的二氧化碳：(1) 從大氣溶解到海洋的二氧化碳；(2) 海洋生物透過呼吸作用排出的二氧化碳，以及 (3) 深海的二氧化碳，因爲湧升流被帶往陽光可以穿透的海面，類似植物的生物就可以加以利用。

教學方針

爲什麼要激發如何調查的想法 在起初的簡短討論中，學生大概無法產出可行的調查方法。但是學生經歷過這樣的討論，有助於理解後續調查的目的。

引導問題提到「碳」，而非提到「二氧化碳」的理由 雖然本小節的重點是「二氧化碳」的吸收，在引導問題上還是提到進入海洋的「碳」。後續小節，學生將探索碳進入海洋的其他方式，例如分解作用或人類的工業活動。在這裡引導問題的用字方式，有助於讓學生聚焦於碳的移動，而不會限定任何形式的碳。

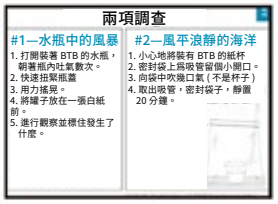
科學語言

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？



3. 播放「兩項調查」投影片 教師取一個盆子，利用裡頭的器材，講解待會進行的調查活動。請教師描述投影片上的敘述：

- **調查 #1——水瓶中的風暴** 打開裝著 BTB 的水瓶，朝著瓶內吐氣數次，然後快速扭緊瓶蓋。搖晃瓶子數次，將瓶子放在白色便條紙前面，好方便觀察
- **調查 #2——風平浪靜的海洋** 小心地將裝有 BTB 的紙杯，裝進自黏式塑膠袋，然後將袋子放在盆子上平坦的地方。盡量將袋子密封，留下一個吸管可以伸進的小洞。拆掉吸管的包裝，將吸管插進小洞內，盡量捏緊小洞與吸管交界處。含著吸管大吹幾口氣，但千萬不要把吸管伸進 BTB 溶液吹氣。吹完氣以後，立刻拔出吸管並且將塑膠袋密封起來。讓塑膠袋靜置 20 分鐘。

4. 複習科學中的模型 教師提醒學生：在科學研究的過程裡，模型的功用就是協助科學家理解、預測或解釋現象的原理。模型可以象徵原理的某部分，而非全部。這兩個調查就利用模型來代替海洋，教師問學生：代替海洋的兩個模型，在調查兩個問題的過程中，哪些方面是精確的？哪些不是精確的？（精確的部分：模型示範了不同情境下，二氧化碳是否有不同的表現；另一個模型，提供證據證明在缺少攪動或混合的狀況下，二氧化碳是否會被水吸收。不精確的部分：兩個模型都比海洋小太多了；海洋不可能隨時都被外力搖晃；海洋與塑膠袋不同，不是密閉的空間）

5. 讓小組規畫任務分工 學生 4 個人一組，讓他們計畫兩個任務的分工。教師讓投影片一直播放，學生可以隨時參考步驟並決定分工狀況；教師也需確保每個組員在小組中都有分派到任務。

6. 小組取得器材並開始調查 小組決定好分工任務，就開始執行調查了。請教師來回走動，鼓勵學生先預測結果並且提出理由，然後針對結果提出證據並加以解釋。教師可以這樣問：「**搖晃水瓶後，發生了什麼？這表示什麼？**」（水瓶立刻變色，從藍變成黃，表示呼出的二氧化碳氣體已經進入水中）「**水杯中靜止不動的水，發生了怎樣的改變？你為什麼這樣想呢？**」（水沒有改變顏色；二氧化碳沒有進入水中，至少目前沒有）

7. 收回器材 請小組在盆子上以自黏性便利貼或紙張貼上標記，並且請一位組員把盆子拿到講桌或櫃子上，如此較為方便觀察，也不會讓學生分心。注意塑膠袋內的變化；BTB 應該會因為溶解於水中的二氧化碳而變黃色，要等大約 20 分鐘。

教師注意事項

英文學習者

鼓勵參與 小組活動對英文學習者大有助益。他們可以在較爲輕鬆的情境下發言。在全班面前發言的風險畢竟較高，他們也可以請同儕幫忙澄清概念。另一方面，英文學習者有一個風險，就是無法完全參與。小組開始調查前，教師需要整組解釋：每位組員都有責任，因此要確定每個人都了解任務、參與調查，並且討論結果。小組活動的時候，請教師來回走動，如果有必要，示範讓所有成員參與的方法。

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？

重要概念（接上頁）

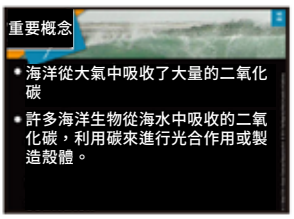
調查筆記本第 4 頁

評析調查活動並增加碳循環圖的內容

1. 評析「水瓶中的風暴」調查 教師複習調查活動要回答的問題：「**大氣中的二氧化碳，是否因為暴風雨攪動海水的關係，因此進入海面？**」請幾位志願者分享觀察結果，並請他們提出證據解釋現象。（是的，水立刻改變顏色，可見水與空氣劇烈攪動的時候，二氧化碳立刻被水吸收）

2. 介紹「吸收」的涵義 教師把「吸收」（absorb）寫在白板上，告訴學生：「吸收」就是「收進去」（take in）的意思。教師可以舉出海棉吸收水，或者沙發吸收煎魚散發的腥味；海洋則從大氣吸收二氧化碳。

3. 呼吸也會把二氧化碳加入海水 教師強調這個現象，好比陸地生物把二氧化碳加到大氣中一樣，海洋生物的呼吸作用也會把二氧化碳加到海水裡。不過透過這個管道進入海水的量，遠低於海水從大氣吸收到的量。



4. 播放投影片；學生紀錄重要概念 教師播放重要概念投影片，讓學生大聲讀出。發下調查筆記本，請學生翻到第 4 頁「重要概念」，讓他們把第一條重要概念抄寫在引導問題 #3 下方的欄位。接下來，請學生瀏覽引導問題 #1 到 #3，讓他們決定第二條重要概念要寫在哪個問題下方。（第 3 頁的引導問題 #2 最恰當）請幾位志願者分享觀點與理由，讓他們抄寫重要概念。

教師注意事項

提供更多經驗

強化：證實呼吸會把二氧化碳加入海水 學生可能也會想到：海洋動物呼吸的時候，會把二氧化碳加到海水裡。全班（或各組）可以重複 2-2 小節的活動，檢驗這個想法。請一名學生含著吸管（吸管上方開個安全出口），吸管伸入裝 BTB 溶液的杯子吹氣（另一種方法，請學生吹汽球，再把汽球的氣轉移到 BTB 溶液裡）。在這樣的實驗中學生將看到：呼出的氣讓 BTB 變色，可見已經把二氧化碳加到溶液裡了。

強化：蘇打水展示 如果學生還是無法理解二氧化碳可以溶解於水，請教師帶幾瓶蘇打水進教室。讓學生注意：打開一瓶蘇打水後，觀察它冒泡的樣子。教師向學生解釋：瓶子裡利用高壓灌入高濃度的二氧化碳，比海水中的二氧化碳的濃度多許多，因此海水不會冒泡。教師也可以把 BTB 加到蘇打水，偵測溶解的二氧化碳。（BTB 從藍色變成綠色）

科學語言

科學字彙

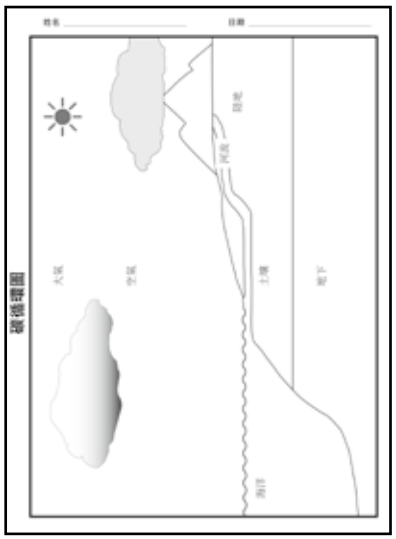
吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO2
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

定義碳循環

調查筆記本第 17 頁



學生學習單

5. **介紹碳循環** 教師告訴學生：地球上不同區域的碳流動系統，就是碳循環。請注意：碳循環是複雜的，並非單純的循環。學生將會在自己的碳循環圖加上更多箭頭，展現他們學到海中碳循環的種種。

6. **播放「定義碳循環」投影片** 教師播放投影片並且指出：第一個定義是解釋碳循環的通則。然後告訴學生：第二個定義，舉出更多碳循環的流動。教師向學生解釋：他們在往後單元將學到額外的碳流動，就可以補完第二個定義。教師大聲讀出第二個定義，並請志願者針對空格提出建議。請教師接受任何回應，避免給予評論。發下調查筆記本，請學生翻到第 17 頁「定義碳循環」，讓學生抄寫第二個定義，以「呼吸作用」填入第一個空格。讓學生了解：他們將持續學習不同方式的碳流動，並且還會翻回這頁完成剩下的空格。

碳循環定義：

7. **學生增加碳循環圖的內容** 教師發下學生的碳循環圖，讓他們畫下海洋生物吸收二氧化碳的圖像，並標示箭頭，顯示碳進入到海洋。

8. **評析「風平浪靜的海洋」調查活動** 讓學生拾回注意力，注意「風平浪靜的海洋」調查，結果瓶子變顏色了。複習「**大氣中的二氧化碳，就算海面風平浪靜、缺少攪動效果，也可以進入海面嗎？**」這是該項調查的問題。請幾位志願者報告觀察結果，並解釋結果。（是的，就算水與空氣沒受到攪動，二氧化碳看起來也會被水吸收，不過被水吸收的速度會慢很多）

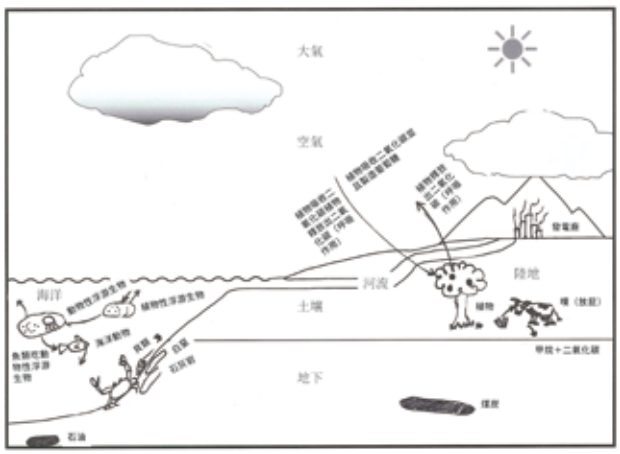


圖 2-4 影印包收錄的碳循環圖範例（教師參考資料），展示預期的進展

教師注意事項

教學建議

顏色有了改變，立刻評析「風平浪靜的海洋」調查活動 學生尚未增加碳循環圖之前，BTB 在「風平浪靜的海洋」瓶子已經變色，請立刻評析，不要等到小節即將結束的最後。不過因爲顏色改變需要時間，因此需要額外時間讓學生有機會增加碳循環圖的內容。

回顧水循環 如果學生接觸過海洋科學系列第一單元或其他水循環活動，教師可提醒學生注意：水循環與碳循環有相似之處，因爲兩者都顯示地球上特定物質流經不同儲存庫的過程。兩者還有一處相同：都不會依照循序單一的方式流動，流動的方式都很複雜。

提供更多經驗

強化：解釋重要概念 如果教師覺得學生在增加海洋碳循環箭頭之前，需要額外的機會反思與討論，就請他們與夥伴討論重要概念。教師指導他們輪流解釋大氣與海洋儲存庫之間的碳流動，包括大氣二氧化碳被海水吸收，以及海洋生物的光合作用與製造外殼。

延伸：線上影集 海底森林（3 分鐘 13 秒）是值得推薦的影音資源，細述巨大昆布類似植物的構造，並展現昆布林群聚的多樣生物（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）。

延伸：本小節反思提示

- 光合作用如何影響大氣二氧化碳的濃度？一年當中不同時節的濃度都不一樣嗎？
- 到目前爲止，關於碳循環的課程，你認爲哪裡最有趣？盡量詳細說明。

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？

偵查腐敗或被掩埋的生物

學生調查引導問題「**生物死亡後，體內的碳何去何從？**」當他們欣賞完死亡的兔子分解的短片，就可以開始討論這個問題。如果他們要取得更進一步的資訊，可以閱讀 DSI 短文，短文內容涵蓋各種狀況的生物分解，包括陸地、海洋生物，還有遠古陸地和海洋生物在缺氧的狀態下被掩埋的情況（煤炭與原油形成的過程），以及遠古海底被掩埋的貝殼變成石灰岩的例子。學生帶著閱讀的內容去找專家團隊，利用這樣的機會總結與分享閱讀的內容。接下來，全班一起欣賞關於碳與分解作用的短片，然後每個學生寫下一則重要概念，內容需涵蓋閱讀過的文章以及欣賞過的短片。同樣的專家團隊利用碳卡攜手合作，完成碳流動鏈。在這裡學生的學習將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 生物死亡後分解，身體的碳會讓其他生物吸收，進入土壤、大氣或海洋；身體也可能遭到掩埋而不會分解，變成化石燃料或石灰岩（學生可以用自己的方式詮釋重要概念，但是也要跟上述內容相當）

學生也會學習到：

- 陸地的生物死亡，細菌分解屍體，將營養釋放到土壤並將二氧化碳釋放到大氣中
- 在沼澤或深海，幾千萬年來，動物的遺體被沉積物覆蓋，在高溫以及高壓下，轉換成化石燃料
- 海洋生物死亡後，遺體沉到海底。經過幾千萬年，沉積物層層掩埋，在高溫與高壓下，生物的外殼轉變成石灰岩

偵查腐敗或被掩埋的生物	預計時間
主動閱讀：掩埋、分解、化石燃料與石灰岩	15 分鐘
專家團隊的訊息分享	15 分鐘
以碳卡視覺化碳的流動	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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 2.B.3 許多沉積岩都形成於海洋，且來自有機沉積物
氣候素養原則 4 氣候因時因地而有變化，這種變化是透過自然與人為的過程

你需要準備以下項目

全班需求

☐ 投影設備 *
☐ 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
☐ 2-6 小節的 5 張投影片
☐ 影集：兔子如何分解
☐ 影集：碳鍵的形成，第二集
☐ （選擇利用）科學證據圖表
☐ 影印包

每組學生需求

☐ 裝著 22 張「碳卡」的信封（2-2 小節）

每個學生需求

☐ 1 盒「死亡後的碳」（Carbon After Death）彩色卡（8 套 /4 種不同的碳卡）
☐ 3-4 張便利貼
☐ 調查筆記本：p.4, 17; 選擇利用 p.18(每日書面反思), 19
☐ 影印包：碳循環圖作業

* 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. **播放並檢視影集：**上課前觀看兩部影集——兔子如何分解（3 分鐘 28 秒）以及碳鍵的形成（3 分鐘 3 秒），先掌握影集內容。
3. **預習文章：**先閱讀本小節 4 張彩色學生閱讀學習單。
4. **準備閱讀活動與專家小組：**計畫一下，每個學生要分到幾張便利貼。本單元共計有 4 篇文章，每篇都有 8 份影本。教師爲了分派文章，還有讓專家小組轉移容易操作，請事先分組。請教師記得：閱讀相同文章的那對學生，必須一起討論文章；轉移到專家團隊的時候，要和夥伴分離。如果學生的數目無法剛好分成一組 4 人，也可以一組 5 人，並讓閱讀相同文章的學生一起工作，分享主要想法。
5. **準備完整的碳卡套件：**原本每個信封袋裝 20 張碳卡，加上兩張「玻璃」與「鹽」不含碳的碳卡，讓每套有 22 張卡。另外有 2-1、2-2 小節活動時移走的 4 張碳卡（水泥、海洋、大理石、發電廠）。
6. **準備學生學習單：**影印以下影印包的內容——
   _ 碳循環圖作業（每個學生 1 張）

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？

彩色學習單，1 of 4

彩色學習單，2 of 4

主動閱讀：掩埋、分解、化石燃料與石灰岩

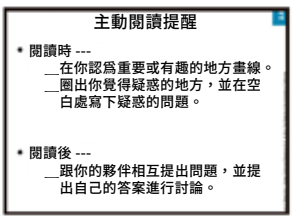
1. 播放小節標題投影片 學生進入教室後，教師鼓勵他們思考今天將探索的內容（投影片播放的是「鯨落」（whale fall），是一頭 35 噸重的灰鯨屍體，掉落到深海海床。分解的屍體可以支撐多樣的群聚）。

2. 播放引導問題 教師大聲讀出引導問題，並且告訴學生：他們將要調查問題，學習地球上另一種碳流動的方法。

3. 觀賞分解影集 播放影集時，請學生思考：組成兔子身體的碳，倒底去哪裡了？

4. 輪流發表 學生討論植物和動物死亡後，碳的去向。讓學生與夥伴簡短討論這個問題：「**想想你所知道的所有碳儲存庫與碳流動——生物死亡後，碳到哪裡去了？如果生物死亡的處所不同，答案也會不同嗎？**」幾分鐘過後，重新讓學生拾回注意力，並請幾位發表想法。

5. 介紹拼圖閱讀 教師告訴學生：他們將要閱讀一些文章，調查碳的流向。讓學生們了解：共有 4 篇文章可用來蒐集證據。每個學生都要閱讀學習單上的訊息，並與同伴討論。接下來將學生編組為分享小組，每組 4 人，每人閱讀的文章都不一樣。學生需要仔細閱讀，才能和他組分享訊息。



6. 播放「主動閱讀提醒」投影片 教師提醒學生：科學家總是主動閱讀，閱讀的過程會發表評論並提問。教師播放投影片，審視凸顯重要概念、註記筆記與問題的步驟。因為這些文章都是彩色印刷，也都會輪流讓其他學生運用。請讓學生了解：這次要用便利貼註記要點與記錄想法。另一件與往常不同的流程，就是討論的夥伴就是坐在旁邊的同學，這是因為兩個人都閱讀同樣的文章。

教師注意事項

每日書面省思

從大氣吸收到海洋的二氧化碳，結果是什麼？ 學生面對這則收錄於筆記本第 18 頁的提示，就要回想二氧化碳被海洋吸收的不同方式。他們應該可以描述海水如何吸收二氧化碳，以及海水因爲吸收二氧化碳而增加酸性；還有海中能行光合作用的生物，如何利用二氧化碳製造食物並構成身體，以及利用海水中的碳酸鈣來製造外殼。

教學常規

主動閱讀 在本系列大部分的閱讀活動，學生要運用「主動閱讀」（Active Reading）的技巧。這項閱讀技巧，可以讓學生監控自己的理解、解析閱讀內容，並與夥伴討論。這樣的學習過程，證實可以增加學生在閱讀過程的參與、理解與批判思考能力。在學生熟練閱讀技巧之前，需要練習，也需要從教師這裡得到回饋。如果教師發現學生因爲不想讓別人了解自己不懂、遇到書寫問題就遲疑不前，請鼓勵他們換一種方式，寫下「進一步」的問題，例如問他們：「**這篇文章，是不是缺少你想知道的訊息？**」請注意：這個主動閱讀的例子，與先前的例子稍稍不同，教師需指定學生的閱讀夥伴，且把問題寫在便利貼，而不是直接寫在文章上頭。

提供更多經驗

準備：如有必要，介紹主動閱讀 如果學生先前沒接觸過主動閱讀，請教師在全班面前朗讀其中一篇的一個段落，然後示範如何畫重點並提出問題。學生獨立閱讀與評析閱讀內容的時候，請提供優質的問題範例，並高聲朗誦給全班聽。如需了解更全面的主動閱讀描述，請參考第一單元的第 36-37 頁。

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？

DSI：死亡現場調查筆記

（選擇利用）
調查筆記本第 19 頁

7. 把文章發給兩人組成一對的學生 每個學生都發到 4 種「死亡現場調查」學習單的其中一種，確定每對學生都拿到文章，並盡量讓得到 4 種學習單的人數相同。

8. 學生閱讀文章並評析文章 教師告訴學生：他們將有 10 分鐘閱讀文章、貼上便利貼、記錄問題，並且與夥伴討論問題，然後才讓他們開始閱讀。請教師來回走動，鼓勵學生寫下問題。如有需要，教師可以問學生：「**這會讓你想知道什麼？**」「**要怎樣做才能知道得更多？**」「**哪些地方讓人糊塗或不清楚？**」

專家團隊的訊息分享

1. 教師給予分享的指示 重新讓學生拾回注意力，告訴他們將要組成 4 人一組的專家團隊，每位專家都要閱讀不同文章。另外每位組員約有 2 分鐘時間摘要文章，告訴大家死亡生物的碳會流向何處。所有組員都分享過後，每位組員都要運用這些文章的資訊，寫下一則重要概念，因此組員分享的時候，大家都要專心聆聽。

2. 各對準備摘要文章 教師告訴學生：待會要準備好說明文章的主要觀點。「生物死亡後，體內的碳會如何？」學生們的觀點要能解答這個問題。給每對約 1 分鐘時間討論並準備如何向專家團隊報告。

3. 將學生指派到專家團隊 教師把學生分派到 4 人一組的專家團隊（每位專家負責一篇文章），確定每位學生都帶著自己的文章、調查筆記本和鉛筆。

4. 學生分享 讓每組成員輪流發表，每位學生有 2 分鐘時間。教師準備計時器，協助組員的發表都能順利。教師可以考慮筆記本選擇利用的頁面，該頁可以協助學生順利記錄他人發表的內容。

教師注意事項

英文學習者

閱讀鷹架 教師評估班上英文學習者的能力，可能會從中挑選一篇文章，引領小組活動：讓小組閱讀並評析幾個句子，然後暫停，以小組方式討論。教師協助學生總結閱讀內容，並且釐清所有生字。接下來，和學生一起決定需要畫重點的重要概念。只要有問題，就要討論。請學生完成文章閱讀，然後小組再次討論。

教學建議

讓學生給夥伴的摘要做筆記 教師可以讓每位學生替小組報告的文章摘要做筆記，請參考調查筆記本第 19 頁「死亡現場調查記錄」(Death Scene Investigation, DSI）（選擇利用），該頁就是爲了這個目的設計的。請注意：讓學生做這樣的紀錄，需要更多的時間。

科學註記

關於化石燃料的形成 化石燃料的形成，需要非常特定的條件，且每種燃料的條件都不同。正常情況下，生物死後會開始分解。但是，如果生物被一層一層的沉積物掩埋，在缺氧且沒有分解者的狀況下，生物體內的含碳化合物就不會分解。億萬年之後，逐漸上升的壓力與溫度，會把死亡生物的組成物質轉變爲化石燃料（如需更多資訊，請參閱「科學背景」）。

關於石灰岩的形成 海洋生物死亡後，殼的碳酸鈣以沉積物的形態堆積於海床。幾千萬年後，沉積物日積月累層層堆疊，受到擠壓與加熱作用，就可能形成石灰岩；石灰岩是一種沉積岩。擠壓與加熱作用持續進行，石灰岩就有機會變成大理石。

關於分解作用「分解作用」(decomposition）是有機物質分解成更簡單形式的作用。分解者拆解死亡植物和動物的複雜含碳物質，並且利用拆解後的物質形成新物質，或者把碳儲存在體內，因而在循環營養的過程裡，扮演重要的角色。

提供更多經驗

延伸：線上影集 分解者是部值得推薦的影集，該影集詳述了分解者在自然世界裡扮演的重要角色（mare.lawrencehaiiofscience.org/oss68）。

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？

重要概念（接上頁）

調查筆記本第 4 頁

定義碳循環

調查筆記本第 17 頁

5. 播放影集 請教師集中學生的注意力，並且這樣說：「**我們待會要欣賞一齣短片，讓你蒐集更多證據，這樣就能寫出重要概念，回答『引導提問』。生物死亡後，碳何去何從？**」播放短片碳鏈的形成（3 分鐘 3 秒），該片將介紹碳循環的過程裡，分解作用的角色。

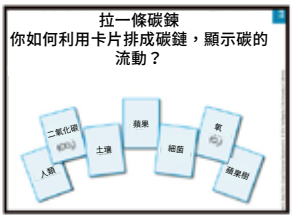
6. 強調化石燃料的意義 教師提醒學生：「化石燃料」將在兩個 DSI 案例出現，分別是煤炭的例子與原油的例子。死亡的動物和植物，被沙子、泥巴、以及沉積物層層堆疊且沒有分解腐化，就在沼澤、湖泊底部以及海床形成化石燃料，這個過程需要億萬年的時間。億萬年的高溫與高壓，把生物殘骸轉變為化石燃料。「化石燃料」來自遠古的動物與植物殘骸，故名。

7. 學生寫下重要概念 教師請學生翻到調查筆記本第 4 頁，找到引導問題 #4。請學生根據閱讀過的文章、小組的摘要以及影集內容，用一句或兩句寫下能夠回答問題的重要概念。教師鼓勵組員彼此互助合作，共同完成重要概念的撰寫。死亡生物體的碳到底何去何從，有許多種可能，重要概念要涵蓋多種可能。

8. 學生增加碳循環的定義 請學生翻到筆記本第 17 頁「定義碳循環」，填寫 b、c 與 d 的答案。請一位志願者，大聲朗讀出快要完成的句子。教師告訴學生：最後的碳流動，將在下一小節完成。

以碳卡視覺化碳流動

1. 介紹碳鏈活動 教師提醒學生：起先他們在碳循環圖中畫上箭頭，表示碳從一處儲存庫流動到下一處。此後，他們蒐集更多證據，顯示地球上的碳如何透過碳循環而流動。教師為了顯示不同方式的碳流動，請學生把碳卡攤開在桌上，每組發 22 張卡。學生在形成碳鏈的時候，盡量利用碳卡，愈多愈好；但如果學生無法利用許多碳卡，也沒有關係。



2. 播放「拉一條碳鏈」投影片 請注意：投影片的 7 張卡片為示範效果，並非要學生照樣排列。教師可以這樣問學生：「**你如何利用卡片排成碳鏈，顯示碳的流動？**」教師先讓學生表達他們的答案，然後告訴他們：碳鏈的排列，沒有固定方式，但是必須根據碳流動的證據，解釋卡片間的關聯。

教師注意事項

評量

快速理解篩檢：重要概念 教師閱讀學生的重要概念，評估他們是否理解死亡生物的碳的去向。學生的概念要包括：碳可以循環進入空氣、在土壤間循環，也可以藉由分解作用，或儲存於化石燃料以及石灰岩，因而在生物間循環。

教學方針

平均分配專業的好處 讓學生閱讀不同的文章，並且以小組方式分享，這提供了仔細閱讀以及參與討論的理由。死亡生物的碳，最終何去何從？讓所有學生理解當中所有細節並不是很重要；但是要讓學生明白碳可以藉由分解作用而快速循環，或是因爲化石燃料以及岩石而長期保存，才是教學重點。

碳卡資訊廣泛的原因 碳卡的資訊，超過學生其他活動學到的含碳場合。舉例來說，只有在碳卡上，學生才能了解石灰岩可以變成大理石，或者塑膠的原料其實來自石油。學生是不是學到碳卡的資訊，其實並不重要；碳以多樣的方式成爲我們生命的一部分，才是碳卡要讓學生明白的重點。

教學建議

重要概念寫作框架 以下有幾項建議，可以讓學生得到寫作的框架：(1) 建議學生寫下幾個重要概念，而不是一個複雜的句子；(2) 領導全班進行腦力激盪，想出可以用到的概念；(3) 利用選擇性運用的 DSI 學習單，讓學生針對各案例寫下重要概念，以及 (4) 讓學生先各自作業，然後小組分享，讓自己的概念更加精緻。

分享並修正重要概念 學生書寫重要概念時，請教師來回走動，並且找出 3-4 位能夠寫出不同面向重要概念的學生。學生寫完後，請這 3-4 位學生對全班分享。教師把不同的重要概念寫在白板上，然後總結不同概念中的面向。接下來，讓學生修正自己的重要概念，並且確定融入重要的面向。

額外的支持：運用簡化的碳卡組合 如果教師發給每組的碳卡是 11 張而非原本的 22 張，活動就會平易許多。如果教師這樣處理，請發給各組以下這 11 張卡：貝殼、石灰岩、珊瑚、原油、植物性浮游生物、動物性浮游生物、植物、空氣、土壤、動物以及海水。

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

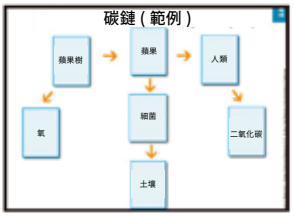
科學論證

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？

碳循環圖表家庭作業

學生學習單

3. 播放「碳鏈」投影片（範例） 教師讓學生們了解：目前只有一種方式排列碳鏈，並且問他們：「**碳如何從蘋果流到人體？**」（植物製造葡萄糖，也就是蘋果；人類吃下蘋果，因而攝取到碳）教師也示範如何讓碳流動發展出「枝幹」——樹釋放出氧氣，細菌分解蘋果，分解的蘋果進入到土壤。



4. 解釋碳鏈的形成步驟 教師告訴學生：組員要在桌上排列碳卡，接成碳鏈。學生在「死亡現場調查」文章中學到的知識，有助於碳鏈的形成。學生也可以運用碳卡背後的訊息，蒐集碳流動的證據。教師可以在這裡特別指出：所有組員在討論與移動碳卡的過程，都要參與活動。起初，組員不一定同意碳卡的排列方式，這時需要彼此溝通理由。而且每位組員都應該態度禮貌，認真傾聽。在過程中教師要提醒學生必須應用科學語言，例如——

- **我認為這樣的理由是……**
- **你為什麼這樣想？證據是什麼？**
- **這項證據似乎指出……**
- **你同意嗎？為什麼？**
- **你不同意嗎？為什麼？**

5. 發下碳卡並開始動作 教師發下碳卡，告訴學生活動開始。教師來回走動，確定組員了解活動的挑戰。活動結束後，收回碳卡。

6. 分派碳循環圖回家作業 教師把碳循環圖的回家作業學習單發給學生，也發下他們的碳循環圖。教師向學生解釋：這次傍晚的回家作業，將是增加碳循環圖的最後機會。他們應該加入圖畫、箭頭；至於關於碳、海洋、分解作用與碳流動到石灰岩以及化石燃料等相關議題，要標示說明。

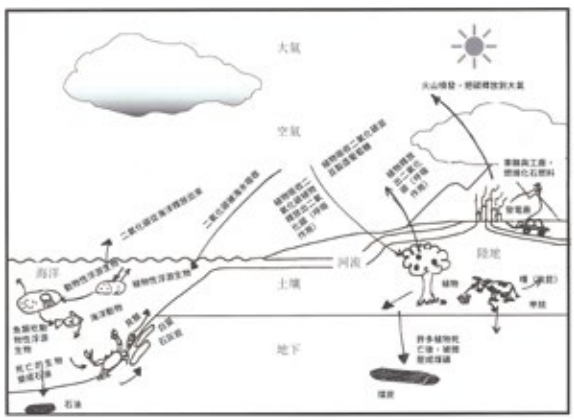


圖 2-5 從影印包找出碳循環圖的範例（教師參考資料），範例顯示學生完成回家作業後預期的進展。這也是學生們最後增加碳循環圖的機會了。

教師注意事項

教學常規

碳流動圖 這個活動與第三單元的因果關係圖活動非常類似。這些活動，都能協助學生思考複雜的系統以及一連串的事件組合。

提供更多經驗

強化：巡迴成果分享 如果時間允許，讓學生來個巡迴成果分享（Gallery Walk），讓他們有機會檢視並討論別組的碳流動。請教師指定每組的解說員，負責駐點回應關於自己小組的問題；並讓其他組員到其他組別觀摩，他們要檢視並討論其他組別完成的碳流動，看看與自己的組別有哪些相似或相異之處。

延伸：本小節省思的提示

- 本小節原本的標題是「死亡與腐敗」，後來改爲「偵查腐敗或被掩埋的生物」。爲什麼要改變標題呢？提示：起先的標題，遺漏了哪些碳流動？
- 以化石燃料如何形成的角度，想想看爲什麼有些人擔心人類即將把化石燃料消耗殆盡？

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？

調查燃燒與碳循環

在上一小節，學生學到碳如何流進化石燃料與石灰岩等儲存庫，本小節則調查碳如何流出這些儲存庫。教師請小組檢視碳卡，找出把碳移出化石燃料以及石灰岩的流動各兩條碳鍊。全班把焦點放在「人類活動：化石燃料的燃燒」產生的碳流動的其中一條。教師點燃蠟燭，示範在燃燒的過程中，化石燃料的碳如何轉變成空氣中的二氧化碳。接下來，全班將探索兩個碳循環模型，焦點仍然放在化石燃料的燃燒：第一個是電腦模型「互動碳循環圖」，另一個則需要骰子、有顏色的迴紋針，讓學生藉著許多儲存庫追蹤碳的蹤跡。學生操作模型，一次體驗自然狀態下碳從化石燃料流出；另一次則體驗人類燃燒化石燃料的過程。圖表則顯示最近幾十年來，人類燃燒化石燃料的量劇烈增加。在這裡學生的學習聚焦在以下幾個重要概念中：

- 碳在各種儲存庫流動，但是整個地球上的碳總量不變
- 人類的工業活動從化石燃料與石灰岩移出碳，並且讓碳進入大氣

學生還學到：

- 化石燃料以及其他物質，因為燃燒的過程產生二氧化碳
- 透過自然的過程，少量的碳會從化石燃料以及石灰岩之類的碳儲存庫移出
- 單一的碳原子，可能從許多種儲存庫進出
- 每個科學模型，在某些狀況是正確的，但在某些狀況下則不然

調查燃燒與碳循環	預計時間
利用化石燃料以及石灰岩儲存庫追蹤碳流動	15 分鐘
示範燃燒	5 分鐘
探索互動碳循環圖	5 分鐘
探索迴紋針碳循環模型	20 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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 6.B.10 人類從海洋利用風力、波浪、石油與天然氣，因而取得能源
氣候素養原則 6.A 人類活動正衝擊著氣候系統

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
☐ 2-5 小節的 5 張投影片
☐ 電腦模擬：互動碳循環圖
☐ 1 根蠟燭
☐ 火柴 *
☐ 1 個派盤
☐ 紙巾 *
☐ 影印包

每組學生需求

☐ 19 張「碳循碳卡」（Carbon Cycle Cards set, 完整一套共有 30 張）
☐ 1 個信封袋
☐ 1 個骰子
☐ 50 個有顏色的迴紋針（每種顏色 10 個）
☐ 5 個自黏式塑膠袋
☐ 1 個迴紋針碳循環模型 #1 學習單
☐ 1 個迴紋針碳循環模型 #2 學習單

每個學生需求

☐ 調查筆記本：p.2-4; 17（選擇利用）; p.20(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. **預習互動碳循環圖：**教師先探索電腦模型，熟悉不同場景以及視窗畫面。
3. **準備碳流動卡：**利用顏色分開卡片（16 張綠色、11 張藍色以及 3 張黑色）；每組學生則需要 19 張卡片（綠色與黑色），把這 19 張預先裝入信封。
4. **準備自黏式塑膠袋與有顏色迴紋針：**每組需要 10 個各色的迴紋針，並把迴紋針裝入小塑膠袋，每種顏色各自分裝。
5. **準備學生學習單：**從影印包找到下列學習單——
   _ 迴紋針碳循環模型 #1（每組 1 張）
   _ 迴紋針碳循環模型 #2（每組 1 張）

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

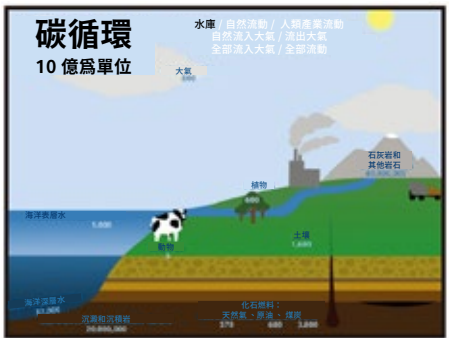
科學論證

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？

利用化石燃料以及石灰岩儲存庫追蹤碳流動

1. 蒐集學生作業 教師蒐集學生的碳循環圖，並且告訴他們：本單元最後的寫作活動，會發回運用。

2. 播放投影片並介紹互動碳循環圖 教師播放互動模擬的「儲存庫」視窗。教師告訴學生：「**電腦模擬和你的碳循環圖很像，你可以點擊畫面，得到更多訊息。**」教師向學生說明，本小節以及後續小節都會用到這個模擬。



3. 探索互動碳循環圖的化石燃料以及石灰岩儲存庫 請教師提醒學生：他們已經了解碳如何進入煤、原油以及石灰岩等儲存庫。請學生點擊「化石燃料儲存庫」，並請他們大聲讀出其中的資訊；然後也用同樣的方式打開「石灰岩儲存庫」。

4. 請學生回答碳從儲存庫流出的方式 教師可以這樣問學生：「**上個小節，你學到碳如何流入煤、原油以及石灰岩等儲存庫。你認為碳是如何流出這些儲存庫的呢？**」然後告訴學生，接下來就要開始調查這個問題。

5. 介紹碳流動卡以及碳從 4 種儲存庫流出的方式 教師拿出 19 張碳流動卡，告訴學生：各組的任務，就是檢視這 19 張卡片，找出 4 張描述碳流出化石燃料以及石灰岩資料庫的卡片。教師告訴學生：他們也要注意其他卡片——有些描述他們已經學到的碳流動，有些則描述其他的碳流動。

6. 小組發掘碳流出化石燃料以及石灰岩的卡片 教師發下碳流動卡給每組 4 人的小組，讓他們從中篩選 2 張碳流出化石燃料儲存庫的卡片，（自然逸散與化石燃料的分解；人類工業——燃燒化石燃料）以及 2 張碳流出石灰岩儲存庫的卡片。（火山爆發；人類工業——製造水泥）

教師注意事項

每日書面省思

爲什麼有些生物會腐敗、有些則變成化石燃料或石灰岩？它們的差別是什麼？ 這則提示收錄於調查筆記本第 20 頁，請讓學生回頭參考先前所學。學生們現在應該可以解釋這是因爲生物死亡後被層層掩埋，且環境缺少分解者，經歷高溫與高壓，在這樣的條件下持續億萬年，而有機會變成化石燃料。

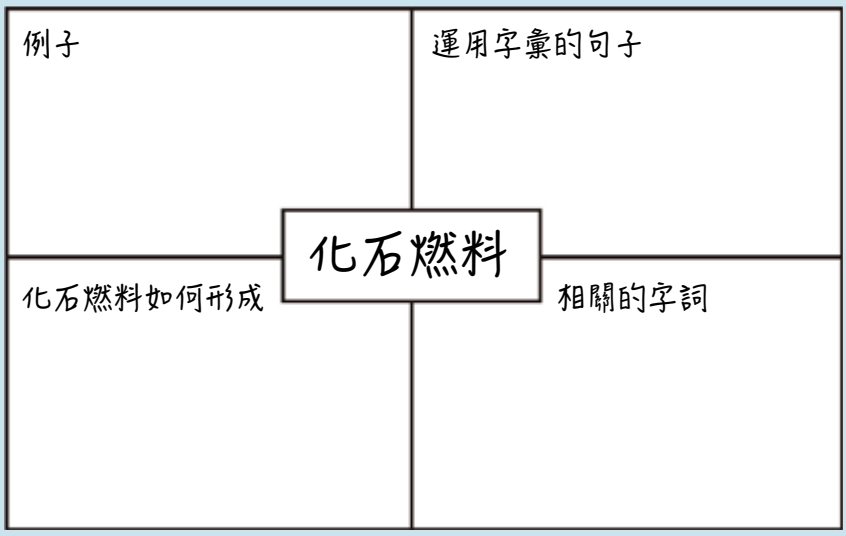
教學方針

篩選碳流動卡的原因 篩選碳流動卡，並挑出離開化石燃料以及石灰岩的碳流動，對學習是有幫助的，可分爲兩方面說明。首先，學生審視每張卡片的內容，因此有機會複習先前所學；此外，各組藉此發掘碳流出儲存庫的卡片，也爲這個活動帶來探索的意味。

學生將在下一小節運用「十億噸」的訊息 學生可能注意到，碳流動卡述敍了幾次「十億噸」（gigatons）這個名詞，它是 2-8 小節的焦點。在這個階段，教師可以告訴學生：這個名詞有助於區辨哪個碳流動較大、哪個較小。

英文學習者

字彙框架 複雜的科學詞彙，往往是英文學習者的挑戰。在本小節以及下一小節，教師可以在小節開始之前，協助英文學習者複習「化石燃料」，讓他們順利學習字彙。讓學生幫老師完成以下的詞彙圖，並把詞彙圖貼在牆上：



科學語言

科學字彙

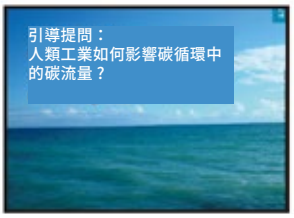
吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO2
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

7. 每個組員都要唸卡片的內容給組員聽 請全班注意，當大部分組別找出正確的 4 張卡片，令組內每個人都分配到 1 張卡後，其他剩下的 15 張卡先擺一邊，每位組員開始輪流大聲讀出卡片背後的說明給小組聽，然後才回收卡片。

8. 播放新的引導問題投影片 教師對學生說：「**大部分流出儲存庫的碳，流出的原因是因為人類**」，並播放新的引導問題投影片，然後請一位學生大聲讀出。



示範燃燒

1. 介紹蠟燭這種化石燃料 教師告訴學生：現在全班的焦點要放在化石燃料的燃燒，因為這是碳從化石燃料流出的最大因素。教師手持蠟燭，說明蠟燭的成分是來自原油的石蠟。因為石蠟燃燒的關係，才會讓燈蕊的火焰持續燃燒。

2. 點燃蠟燭並且搜集煙灰 教師把蠟燭放在學生可以看到的安全位置，然後點燃蠟燭。一段時間後，把鋁製派盤放在火焰中幾秒鐘時間。教師移開派盤，讓學生看到造成盤面燻黑的煙灰。教師用指頭或紙巾採集煙灰，讓全班看到黑色的指頭或紙巾。

3. 輪流發表 教師問問學生：「**石蠟以及燈蕊的碳，到哪裡去了**」，然後讓學生與夥伴討論一會。大約 1 分鐘過後，請幾位學生分享觀點。教師接著問學生：「**你的想法是什麼？**」「**為什麼？**」「**你的證據是什麼？**」教師向學生解釋：燃料（大部分是石蠟）因為燃燒的關係，其中的碳轉變成氣體——包括二氧化碳，並釋放出熱能。黑色的煙灰和煙，大部分是燃燒剩下、沒有轉變成氣體的固態碳。最後教師吹熄蠟燭結束發表時間。

教師注意事項

教學建議

學生執行蠟燭調查 如果教師認爲應該讓學生兩兩成對、親自操作蠟燭調查，而不是教師示範，就需要額外給各組準備教材，例如蠟燭、火柴和派盤。教師照樣提出問題，請學生說明蠟燭的碳在燃燒的過程到哪去了，並且激勵學生尋找資料。如果教師這樣安排，就必須訂下嚴格的安全守則，例如：蠟燭點燃後不准碰觸蠟燭或火焰，還有桌面必須完全清空。另外，蠟燭燃燒時派盤要離火焰頂端 1 呎以上，並且全班要規矩坐在位子上。

科學註記

關於燃燒 化石燃料燃燒，其中的氫分子和空氣中的氧氣產生反應。二氧化碳是反應產物的其中之一，燃燒過程中逸散到大氣。燃燒過程中，蠟燭的碳立刻流到地球的大氣。化石燃料燃燒後，這樣的碳流動速度非常快速，比流到任何儲存庫都快，因此會累積大氣中的碳含量。

提供更多經驗

延伸：回溯燃燒用掉的碳 教師引領全班做簡短的腦力激盪，讓學生列出人類燃燒的物質（木頭、紙張、打火機用油、煤炭、火爐的天然氣等等），並告訴學生：引擎也必需燃燒燃料才能運轉，因此人類燃燒的物質又多了幾樣（汽油、柴油），教師向學生解釋，這些物質都含有碳。接著請全班挑出以上物質的其中一項，向前推移兩個或三個步驟，推測碳的來源。舉例來說，來自樹的木頭，透過光合作用從空氣中的二氧化碳取得碳。接下來，請各組成員挑選其他物質，依照相似的方法往前推論。在這裡教師可以設計簡單表格，讓學生以書面方式記錄討論的過程。

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？

探索互動碳循環圖

1. **複習科學模型** 教師提醒學生：在科學領域中模型用來協助理解、預測或解釋原理。某些方面，模型就像真實的狀況，某些方面卻不是。全班一起運用電腦探索碳循環圖，這樣的圖形可說是碳循環的模型，可以用不同的碳循環模型來執行另一個活動。

2. **探索互動圖中的自然碳循環** 播放互動圖中的「大氣的自然碳流動」，並請幾位學生發表評論，說說看到模型的哪些現象。請教師點擊「火山爆發」流動，並指出這個訊息與碳流動卡顯示的訊息一樣，只是多了碳原子移動的動畫。

3. **探索互動圖中的工業碳循環** 教師播放「人類工業流動」互動圖，並邀請幾位學生評論，然後點擊「化石燃料燃燒流動」互動圖。

4. **討論模型的效用** 教師播放「所有流動都會進入大氣」互動圖並問問學生：「**模型可以顯現碳循環的哪些效果呢？**」（有許多儲存庫；碳原子透過許多方式，從一處儲存庫移動到另一處）教師指出模型顯現的數字並解釋：模型會呈現碳流動與儲存庫的規模，顯示哪個較大或較小。在下一小節，學生將探索這樣的數字。

5. **討論模型的弱點** 教師問學生：「**模型無法顯現碳循環的哪些效果？**」（只呈現兩種生物；缺少海洋生物；碳循環似乎只發生在地球的小角落，而不是整個地球都發生）然後請教師指出：碳原子藉由鏈狀形式在儲存庫之間流動，然而就算運用模型，也不可能追蹤各別碳原子的去向。

教師注意事項

科學註記

關於互動碳循環圖 因爲我們無法找到全面性的碳循環圖，也找不到正確性高、對應身心發展且適合達成教學目的以供各年級運用的教材，因此找了一群科學家與海洋教育者共同設計開發教材。我們也希望圖形有互動的功用，讓碳流動可以是獨立也可以是複合的，如此可以看出源自大氣不同的輸出或輸入。互動版的碳流動與儲存庫資訊，與本單元學生使用的碳流動卡上的資訊相同。互動碳循環圖是 Brian Yan 所設計，由羅格斯大學的 Carrie Ferraro 以及 Kristin Hunter-Tompson，還有加州大學柏克萊分校的 Robert Rhew 共同指導。

教學建議

調整上課步調：快速介紹碳循環圖 除非教師有額外時間，請快速介紹並立刻進入互動碳循環圖。請確定有足夠時間，讓後續的迴紋針碳循環模型可以順利進行。在第三單元，學生還有機會探索互動碳循環圖。這個段落的討論，是讓學生先行熟悉工具，並且協助他們強化科學模型某方面正確、某方面不正確的概念。

提供更多經驗

強化：學生探索碳循環圖 如有教師能夠讓每對學生都有電腦，且時間也足夠，就可以讓他們自行操作互動碳循環圖。教師先讓學生自由探索互動圖幾分鐘，然後拋出焦點問題。教師提出的問題，可能多過學生可以回答的題數，並允許學生挑選可以調查或寫出報告的題目。教師可以提出的問題包括——

- **哪個儲存庫擁有最多的流入量？你的理由是什麼？**
- **你認爲不同區域的海洋，有不同的碳流動嗎？你的理由是什麼？**
- **哪兩個儲存庫之間，有最大量的碳流動？你的理由是什麼？**
- **你認爲碳循環圖還可以加入哪個最重要的項目，讓碳循環圖更正確呢？**

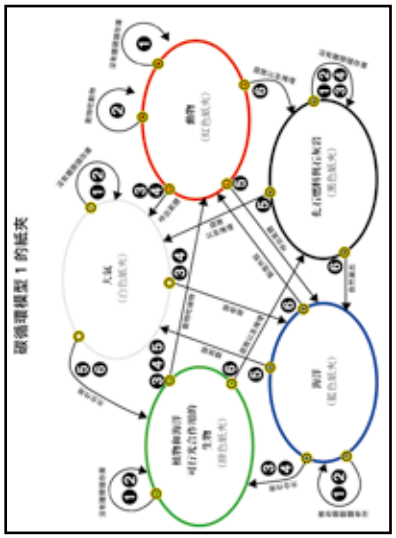
科學語言

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？

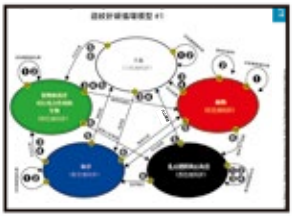


學生學習單

探索迴紋針碳循環模型

1. 介紹迴紋針碳循環模型 教師告訴學生：待會將使用碳循環的另一種模型。碳原子在流經許多儲存庫的過程，都可以利用模型追蹤。

2. 示範模型 教師運用文件提示機，投射迴紋針碳循環模型 #1 學習單，示範模型的運作方式。如果沒有文件提示機，也可以播放標題相同的投影片，並且在影像上描繪出迴紋針圖案，而不需用到真的迴紋針。

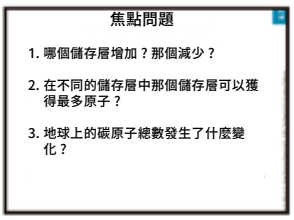


a. **不同的儲存庫與碳原子：**教師指出，模型共有 5 個儲存庫，分別以橢圓形表示，儲存庫之間的箭頭則表示碳流動。儲存庫內的碳原子，則以不同顏色的迴紋針表示，每種顏色有 10 個迴紋針。所有的迴紋針表示同樣的碳原子，不同顏色則表示碳原子所在的儲存庫不同，可以讓方便學生記住。

b. **設置模型：**教師示範將迴紋針放進學習單上橢圓形儲存庫的方式。學習單上有說明，顯示哪種顏色代表哪個儲存庫。

c. **示範模型運作方式：**請教師這樣說：「**從海洋儲存庫開始，請一位組員擲骰子。骰子上的數字，將告訴你要從哪個儲存庫移走碳原子**。」教師示範投擲骰子、找出顯示的數字，搭配離開海洋儲存庫的箭頭。教師依照說明移動迴紋針，但請注意：有些時候碳原子不會真正離開儲存庫。然後請教師這樣對學生說：「**每位組員輪流操作海洋儲存庫，並以順時鐘方向操作下一個儲存庫。持續操作直到所有儲存庫都操作過為止**。」

3. 播放投影片；介紹焦點問題 教師大聲讀出焦點問題，並且告訴學生：觀察模型出現的現象時，要把內容放在心裡。小組活動的時候投影片持續播放。



4. 小組設置模型並開始操作 教師發給每組 1 張「迴紋針碳循環模型 #1 學習單」、5 個裝不同顏色迴紋針的小袋子，另外還有 1 個骰子。讓小組設置好模型後就開始操作。此時教師來回走動，確定學生以正確方式操作模型。萬一有組別操作錯誤，不需要讓他們重新來過；告訴他們以正確方式操作即可。

教師注意事項

教學方針

設計迴紋針模型的理由 本活動的目的，是協助學生以系統方式看待碳如何在地球各處移動。學生應該明瞭：就算某處儲存庫的碳變多或變少，地球的碳總量是不會改變的。不同顏色的迴紋針，也讓學生觀察到碳原子可以在不同儲存庫間流動穿梭。這個活動充滿機會與改變等元素，每位學生都會投入其中。

教學建議

管理模型材料 教師要向學生強調：雖然操作模型時用到骰子，但不表示活動是遊戲，而是象徵科學模型。投擲骰子的時候要快速且安靜，骰子才不會從桌面掉到地上。小組的組員要輪流操作，不但要安靜操作，也要確定所有組員都參與其中。

提供更多經驗

準備：探索模型學習單 學生參與本活動的過程中，如能花些時間熟悉「迴紋針碳循環模型 #1」各儲存庫的碳流動，將有利於學習效果。以下是幾個建議的問題——

- **光合作用中，表示二氧化碳移動的箭頭在哪裡？**
- **離開海洋的碳流動，有多少種呢？**
- **輪到大氣儲存庫，如果骰子數字是 4，該把碳原子移動到哪呢？**
- **哪個儲存庫的碳原子，最有可能待在原地不動？從模型要如何判斷？**

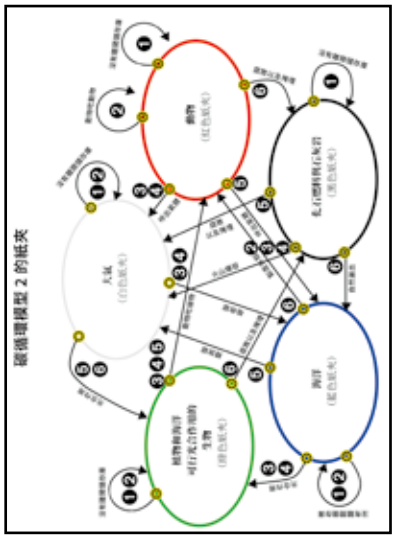
科學語言

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？

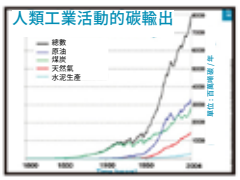


學生學習單

調查筆記本第 4 頁

5. 全班一起討論焦點問題 小組操作模型約 5 分鐘，請學生把材料放一邊。請志願者分享焦點問題，教師可以這樣問學生：

- **「哪個儲存庫的碳增加了？」「哪個儲存庫的碳減少了？」「你的證據是什麼？」**
- **「哪個儲存庫從其他儲存庫得到最多碳原子？」「其他人同意或不同意？為什麼？」**
- **「地球上的碳總量，會改變還是不會改變？」**（就算有的儲存庫增加、有的減少，地球碳總量依舊維持原狀）

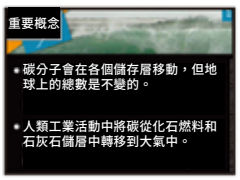


6. 播放投影片；討論化石燃料的用量增加問題 教師告訴學生：右邊的圖表相當複雜，顯示過去兩百年來，不同種類化石燃料燃燒量增加的狀況。請幾位學生描述他們注意到的重點。（人類每年的化石燃料用量，正持續增加中。在 1800 年代，人類主要燃燒煤炭；自從 1950 年代，所有化石燃料的用量快速增加）

7. 小組以化石燃料流動，操作模型 #2 教師對學生說：「**我們將運用迴紋針模型，調查化石燃料燃燒量的增加，如何影響碳循環。**」發給每組 1 張「迴紋針碳循環模型 #2」學習單之後，教師指出：新的模型學習單，有一條從化石燃料儲存庫流出的燃燒流動。請學生設置好模型然後開始操作。

8. 討論結果 邀請幾位志願者分享模型 #2 的結果。（越來越多原本儲存於化石燃料的碳，最後可能進入大氣）

9. 指出模型的長處以及短處 請教師這樣跟學生說：「**這個模型與電腦模型一樣，有些方面呈現得很好，有些則不然。若要追蹤碳原子如何在系統中移動，這個模型很不錯。另一方面，模型成線的流動以及儲存庫太少了，也無法呈現出有些流動或儲存庫比其他的要大上許多。**」然後請學生依照顏色整理迴紋針，然後放進小袋子。教師回收器材。



10. 播放投影片；學生記錄重要概念 教師播放重要概念投影片，請學生讀出來。請學生翻到筆記本 3-4 頁「重要概念」，並把第一條重要概念抄寫在引導問題 #1 的下方、第二條抄寫在引導問題 #5 的下方。

11. 學生增加碳循環的定義內容 教師讓學生翻到筆記本第 17 頁「定義碳循環」，加入最新學到的碳流動（燃燒），讓定義變得更完整。最後請一位志願者大聲讀出完整的定義。

教師注意事項

科學註記

全球化石燃料排放圖 投影片 2.7.3 的圖表，顯示自西元 1751 至 2008 年以來，燃燒化石燃料、水泥建築業等等造成的排放。這項資料來自田納西州 Oak Ridge National Laboratory 二氧化碳資料分析中心的 Tom Boden、 Gregg Marland 以及 Bob Andres。

提供更多經驗

強化：書面方式回應焦點問題 教師讓每個學生針對每條焦點問題，寫下簡短的答案。這樣有助於讓他們反思模型以及模型的內容，並增加參與小組討論的責任感。

強化：替課前想法增加註記 讓學生翻到筆記本第 2 頁「課前想法」，重新閱讀在本單元開始時寫下的內容，回想自此以後學習的效果。接下來，讓學生在空白處寫下幾點註記。

延伸：小節反思提示

- 地球上哪個碳儲存庫，蘊藏的碳含量可能增加？哪個可能正在減少？爲什麼？
- 爲什麼全世界的化石燃料燃燒量會上升？

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？

計算二氧化碳循環

班級運用互動碳循環圖，以更貼近實際的方式來審視儲存庫與碳流動。學生利用碳循環卡，整合目前在本單元所學，建立臨時的「桌上碳循環圖」（Tabletop Carbon Cycle Diagrams）。學生學到不同儲存庫的碳量、碳待在每種儲存庫的平均時間，還有碳在各儲存庫之間的流動量。學生加總不同形式的碳流動（以 10 億為單位計算），並發現證據——證據顯示人類的工業活動破壞了碳循環的平衡。學生的學習將聚焦於以下幾個重要概念：

- 人類工業活動從化石燃料與石灰岩移出碳並讓碳進入大氣，碳進入大氣的速度比自然作用快得多而造成了碳循環的失衡（學生可以形成自己的重要概念，但是也要跟上述內容相當）

學生也學到：

- 大氣的二氧化碳含量增加，歸咎於人類的工業活動
- 在長期的儲存庫之中，碳可能待上幾百萬年；在短期的儲存庫之中，只要幾天或幾年的時間，碳就有可能會進出

計算二氧化碳循環	預計時間
介紹碳循環圖的測量	10 分鐘
利用碳循環卡來建構碳循環圖	20 分鐘
以數學方式調查碳循環	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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 3.B.6 人類持續排放二氧化碳以及甲烷到大氣中，因而衝擊著氣候
氣候素養原則 6.A 人類活動正衝擊著氣候系統

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 *
☐ 2-8 小節的 3 張投影片
☐ 電腦模擬：互動碳循環圖
☐ 影集：打破碳鍵，第三集
☐ 剪刀或裁紙機 *
☐ 影印包

每組學生需求

☐ 1 套碳循環卡（每套 30 張）
☐ 2 個信封袋
☐ 裝著 19 張碳流動卡的信封袋（2-7 小節）
☐ （選擇利用）2 個計算機 *

每個學生需求

☐ 調查筆記本：p.4, 22-24;（選擇利用）21(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. **播放並檢視影集：**打破碳鍵（4 分鐘 15 秒）。先從資源光碟（紙本版本）找出並先檢視，或者線上搜尋（NPR）。
3. **準備學生學習單：**從影印包找出以下學習單並影印——
   _ 箭頭（每兩組 1 套）剪成每套 18 個箭頭
   _ 標籤（每四組 1 個）剪成每套 3 個標籤
4. **組織碳循環卡：**確定邊界同色的卡片放一起，每組發下 30 張卡，但是分成三次發完。首先，小組會收到一個裝著 11 張卡（儲存庫，藍邊）的信封袋，教師連同箭頭與標籤一起發放。接下來發下 16 張卡（碳流動，綠邊；前一小節已經裝入信封，但是各信封都已經移除 3 個黑邊的卡）。最後，發下 3 張卡（碳流動 / 人類工業，黑邊）。
5. **裝信封：**給每組的信封中要有：18 個箭頭、3 個標籤，以及 11 張藍邊的儲存庫碳循環卡。另一個信封則裝進 3 張碳流動 / 人類工業卡（從上小節的信封取出的）。
6. **規劃教室空間：**進行「桌上碳循環圖」活動時，小組需要大約 3 呎見方的平坦空間。教師可決定是否需要調整桌椅位置，讓每組都有足夠的空間操作（請見第 231 頁的圖 2-6）。

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？

介紹碳循環圖的測量

1. 播放燃燒的影集，複習上一小節內容 教師提醒學生：上一小節，他們學到人類工業活動導致的化石燃料燃燒。播放動畫打破碳鍵（4 分鐘 15 秒）。

2. 介紹小節內容 教師告訴學生：本小節將聚焦於化石燃料的燃燒如何影響碳循環中的碳流動。教師為了達到教學目的，讓學生調查不同儲存庫的碳含量，還有不同碳流動所移動的碳量。

3. 播放「十億噸有多大」投影片 教師向學生解釋：以十億噸為單位，方便計算地球的碳量。所謂「十億噸」（gigaton），就是 1 噸的十億倍，將近是 1700 萬頭非洲象的總重量。教師告訴學生：今天的活動，所有關於碳的計算，都以十億噸為單位。

4. 以十億噸為單位，估算某些儲存庫的碳含量 教師播放「互動碳循環圖」，選擇「儲存庫」視窗。請幾位志願者選出幾個儲存庫，讓教師點擊進去。等到進入碳卡視窗，請教師指出該儲存庫以十億噸為單位的數據。教師也指出：有的儲存庫的碳量，就是比其他的多得多。

5. 以十億噸為單位，探索某些碳流動 選擇「自然碳流動」視窗。請志願者挑選某些流動，讓教師點擊進去。請教師指出彈出式視窗顯示的十億噸資訊，並且解釋：這樣的資訊表示一年內該項碳流動的含碳量。

教師注意事項

每日書面反思

既然地球上的碳總量不會改變，爲什麼大氣的碳含量卻提高了呢？
這則提示，收錄於調查筆記本第 21 頁，有助於強調一個重要的概念。學生必須描述：大氣多餘的二氧化碳量，來自化石燃料長期以來的釋放。化石儲存庫的碳含量，因爲人類燃燒化石燃料的關係，正逐漸減少中。地球上的碳總量沒有改變，也沒有因爲碳的摧毀而消失——來自化石燃料的碳，將會進入到大氣。

教學建議

關於十億噸的大小 教師爲了讓學生明瞭十億噸的規模，可能要用一些比較說明，例如十億噸相當於 1000 座金門大橋，或是 3000 棟帝國大廈，或是 10000 艘航空母艦，或是 100,000 列滿載的貨運火車，或是 10,000,000 頭藍鯨的重量。

教學方針

爲什麼把火山加到碳循環圖？ 在許多碳循環圖，火山並不包含在內，這是因爲火山對於大氣二氧化碳的增加影響相當有限。我們認爲要把火山放進來，是因爲有些人誤認爲火山是造成大氣二氧化碳提高的主因。把火山放進來、搭配增加大氣二氧化碳的眞實數據，有助於破除此一迷思概念。

教學註記

人類呼吸 vs. 化石燃料排放氣體，其實微不足道 有些學生認爲，人口日益增多，呼吸的二氧化碳會造成大氣中二氧化碳濃度變高。其實，人類因爲呼吸而排放的二氧化碳量，與其他碳流動相比，可說微不足道。在互動圖裡，我們呼出的二氧化碳，其實歸類於「動物呼吸」方面的碳流動。

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？

互動碳循環圖

調查筆記本第 22 頁

互動碳循環圖（接上頁）

調查筆記本第 23 頁

利用碳循環卡來建構碳循環圖

1. 活動解釋 教師拿起一套碳循環卡，並且解釋：每組要把這些卡片放在桌上，製作「桌面碳循環圖」，並且告訴學生這些卡表示儲存庫、碳流動以及碳流動 / 人類工業活動，可以從邊界的顏色判讀類別。學生閱讀卡片資訊並且討論卡片擺放位置，學習碳在碳循環各部分所占的分量。

2. 介紹碳停留時間 教師告訴學生：「**碳原子在儲存庫停留的平均時間，稱為「停留時間」（residence time）。碳在大氣的停留時間，比在海洋短得多。碳原子進入大氣後，在短暫的停留後就會進入另一個儲存庫。相較之下，進入海洋的碳原子，停留的時間就長了許多。**」動物的碳停留時間，定義就是：該動物吃下自己身體重量的碳所花的時間。動物藉著排泄或呼吸作用，更換身體老舊細胞，這時就需要替換這些喪失的碳。

3. 播放「儲存庫卡」投影片（例子） 教師向學生解釋儲存庫卡的背面與正面有不同的區塊，讓學生注意到卡片資訊的內容。儲存庫的名稱寫在哪裡、儲存庫的碳含量有多少，還有停留時間，都請教師一一指出來。教師也讓學生注意到投影片上的碳分子。

4. 解釋調查筆記本 教師發下調查筆記本，請學生翻到第 22-23 頁「互動碳循環圖」，並向學生解釋：這兩頁描述了如何進行此項活動，同時也有空間讓他們記錄新發現。教師向學生解釋：第一步就是從信封袋取出大氣、海洋以及陸地等 3 個標籤，並把標籤擺放在桌上不同的區塊。教師指出：學生還要從信封袋找到 18 個箭頭，等收到碳流動卡就會派上用場。教師讓學生複習這兩頁的說明與問題，並且提醒學生：每張卡片的背面都有相關的訊息，討論問題時都可以派上用場。

5. 強調團隊合作的重要 教師向學生強調：本單元到目前為止，他們已經蒐集到相當多的知識；如果能夠同心協力並且分享觀點，今天的活動將會更有趣、更成功。教師也提醒：關於卡片的去向，請傾聽別人的想法；也要互相詢問證據，以支持想法。有個方式，可以確定每位學生是否分享想法與證據：詢問每位組員，是否同意或不同意碳流動卡的擺放位置，並請他們分享解釋。

教師注意事項

圖 2-6 學生進行團隊合作，組員運用 30 張碳循環卡前面與後面的訊息，創造「桌面碳循環圖」

每組先收到 11 張儲存庫卡，接下來再收到 16 張碳流動卡，最後收到 3 張碳流動 / 人類工業活動卡，以建立碳循環模型。

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？

6. 小組安排標籤以及儲存庫卡片 教師發下裝有標籤以及箭頭的信封袋，還有一套儲存庫卡（藍邊卡片，共 11 張）給各小組。讓小組將儲存庫卡片組織成大氣、海洋與陸地。

7. 小組安排碳流動卡 小組設置好儲存庫卡，教師發下碳流動卡（綠邊卡片，共 16 張）給各組。請教師到處走動，有必要時給予協助。

8. 小組加上人類工業卡 小組設置好碳流動卡，發下碳流動 / 人類工業卡（黑邊卡片，共 3 張），並告訴學生把這些卡片加到自己的圖裡面。

9. 學生寫下碳循環的答案 小組安排好卡片，就可以動筆回答調查筆記本第 23 頁的問題。

10. 小組討論碳循環的趣事 教師讓全班注意，並且這樣問學生：「**關於碳循環，什麼地方讓你覺得有趣或讓你驚訝？**」教師收集一些回應，鼓勵其他學生回答。讓學生自由討論，無論討論哪些有趣的面向都可以。如果學生討論並不踴躍，教師可以這樣問學生：「**哪個儲存庫有最多以及最少的碳？**」（最多：石灰岩以及其他岩石；最少：動物）以及「**關於停留時間，你注意到什麼？**」（岩石的停留時間最長；生物的停留時間最短）

11. 以模型的觀點討論互動碳循環圖 教師提醒學生：他們在學習以及探索碳循環的過程中，已經使用過幾個不同的科學模型。這個模型如同先前的模型，在表達自然世界的程度上，優點缺點都有。請一位自願者分享一個缺點與一個優點。（缺點：設置好的碳流動卡，無法判斷是否在自然狀態下可行；無法看到碳原子從這個儲存庫流到另一個儲存庫。優點：讓我們可以實際移動卡片，看清碳流動如何進行；讓我們以整體的角度，觀察碳原子在不同儲存庫之間流動）

教師注意事項

科學註記

關於停留時間 動物會清除細胞、排出廢物、呼吸，以及進行其他生化作用，這些作用都會釋放出先前吃進去的碳。動物爲了維持體型，需要再攝入等量的碳，以補充上述作用喪失的量。動物攝入同樣體重的碳量，所耗費的時間就稱爲「停留時間」（詳見「科學背景」以取得更多訊息）。

教學建議

額外支持：將儲存庫卡以及碳流動卡歸類 有些學生一次處理這麼多張卡片，可能覺得無法應付。教師可以提供部分儲存庫或碳流動卡片就好，而不是一次拿出全套，藉此降低活動的挑戰。教師在本小節結束之前的活動「以數學方式調查碳循環」，還是有必要提供其餘碳流動卡片。

評量

快速理解篩檢：碳循環卡活動 教師爲了評估學習成效，可以結合學生討論狀況的觀察，以及審閱他們在調查筆記本「桌面碳循環圖」第 22-23 頁的回應。學生應該已經記錄含有最多量碳的儲存庫（石灰岩以及其他岩石、沉積物以及沉積岩、深海的海水、化石燃料等等）。學生也應當紀錄停留時間最長的儲存庫（石灰岩以及其他岩石），還有停留時間最短的儲存庫（動物）。

教學方針

桌面碳循環圖的優點與缺點 設計與運用模型，在科學研究方面扮演重要角色。關於特殊模型呈現出自然界發生或無法發生的特定方式，這樣的學習方式能夠提醒學生聚焦於此，展現出相當的助益。

模型利用 桌面模型與下一小節的「以數學方式調查碳循環」，特別收錄於本單元。在學生探索並尋找碳循環卡的重要訊息時，這樣的方式可以協助學生建構自己對碳循環的理解。這兩個活動讓學生做好準備，以掌握互動圖呈現的每個碳循環組件。

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？

以數學方式調查碳循環

調查筆記本第 24 頁

以數學方式計算碳循環

1. **介紹筆記本內容** 教師請學生翻到調查筆記本第 24 頁「以數學方式計算碳循環」，並且跟學生說：「**科學家通常運用數學了解碳循環之類的地球系統**。」

2. **加總進入大氣的自然界碳流動** 教師宣布第一個問題，並請小組通力合作，運用碳流動卡的資料，填滿碳流動的流動數據（也可以全班一起運用互動碳循環圖，找到這些數據）。教師也可以讓每兩位組員持有一台計算機，請他們加總數據。每組中的每對，應該確實檢查，確定大家得到相同的數字。如果數字不一致，就要再計算一次。大部分學生都完成，就可以請一位自願者分享答案。（210.8 十億噸）教師這樣告訴學生：「**每年進入大氣的碳量，總量就是這樣，還沒加上人類工業排放的量**。」

3. **加總離開大氣的自然界碳流動** 教師公布第二個問題，以剛才的方式讓小組解決問題。當大部分的學生都完成，就可以請一位自願者分享答案。（210.1 十億噸）教師這樣告訴學生：「**比較進入大氣與離開大氣的碳量，你發現了什麼？**」（進入與離開的量，幾乎一樣）教師告訴學生：長久以來，流進大氣與離開大氣的量，是達到平衡狀態的。

4. **加總因為人類工業活動而進入大氣的碳流動** 以剛剛的方式讓小組解決問題，並請一位志願者分享答案。（9.4 十億噸）教師這樣告訴學生：「**這樣表示，每年都有額外 9.4 十億噸的碳，因為人類使用化石燃料而產生。因為人類工業而額外進入大氣的碳，讓碳循環不再平衡**。」

5. **加總離開化石燃料的自然界碳流動** 讓小組以同樣的方式處理最後一個問題，並且讓一位志願者分享答案。（0.08 十億噸）教師告訴學生：「**請注意，每年人類工業活動從化石燃料與石灰岩移除的碳量，是自然途徑移除的 100 倍（0.08×100 ＝ 8 十億噸）**。」最後請學生把所有的卡片裝進信封袋，並且收回信封袋。

教師注意事項

英文學習者

調整教師用語 在本活動裡，教師以口述方式呈現一系列重點摘要。爲了協助英文學習者跟上討論，邀請學生針對加總各種流動所發現的重點，分享摘要。如果許多班上的英文學習者都使用相同母語，請一位志願者以母語呈現摘要。

教學建議

教學的選擇：讓學生從數據推導結論 本活動受限於時間，當學生以十億爲單位加總不同碳流動之際，教師需要摘錄許多重點。如果教師有時間，讓學生自行推導出結論，是比較理想的做法。教師不要像第 4、5 點步驟那般幫學生做摘錄，不妨這樣提出更開放的問題：「**額外的 9.4 十億噸的碳，你認爲最後的去向是什麼？」「從化石燃料、石灰岩以自然方式離開的碳流動，以及因爲人類工業而離開上述儲存庫的碳流動，兩相比較之下，你發現了什麼？**」

教學的選擇：呈現 2-7 小節的投影片 如果教師認爲學生需要更多奧援，才能在化石燃料燃燒所排放氣體，以及大氣中的二氧化碳含量找到連結，可以播放上一節的投影片 2-7-4「從人類工業產生的化石碳輸出」，然後再播放投影片 2-8-3「基林曲線——大氣中的二氧化碳含量」，呈現整體二氧化碳上升的趨勢。教師將這個趨勢與同時期的「化石碳輸出」比較，並告訴學生：數據是一部分的科學證據，顯示化石燃料的排放廢氣愈多，大氣中的二氧化碳含量也愈高。

科學註記

關於額外 9.4 十億噸碳的去向 教師向學生解釋：全世界的科學家都在測量碳含量，他們發現額外的碳進入大氣後就停滯了，而其他大部分的碳都會進入土壤與海洋。植物利用光合作用來製造本身的結構，讓大氣的碳進入土壤。後來，分解者分解了植物結構，分解後的物質也進入土壤。土壤的碳愈多，會愈肥沃，因此這不成問題。進入海水表面的碳，將在下一小節調查。進入大氣額外的碳，總是逐年遞增，因此數據容易改變（參考「二氧化碳資訊分析中心資料」最新資料）。

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

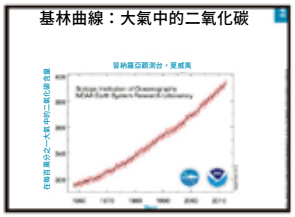
你的想法是什麼？
你為什這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

重要概念（接上頁）

調查筆記本第 4 頁

6. 學生寫下重要概念 請學生翻到調查筆記本第 4 頁「重要概念」，請他們找到最後一個引導問題（#5）。每個學生都要針對問題，用二到三個句子寫下重要概念，總結本單元的學習內容。鼓勵學生在寫重要概念的時候，與組員商量討論。

7. 播放投影片「基林曲線：大氣中的二氧化碳」 教師提醒學生：曲線圖顯示長期間以來，二氧化碳濃度的變化。教師指出：如果進入大氣中的二氧化碳量，與移除的量相同的話，曲線就會變成水平線。



教師注意事項

提供更多經驗

強化：分享並修正重要概念 當學生書寫重要概念之際，請教師來回走動，找出概念不同的三到四位學生。學生寫完後，請這些學生與全班分享概念。教師將不同的概念寫在白板上，總結概念的重點。接下來，讓學生修正重要概念，確定已經涵蓋所有主要的重點。

強化：多操作互動碳循環圖 如果教師有辦法取得多部電腦，或有機會使用電腦教室，強烈建議讓全班或兩人一對，進一步探索互動碳循環圖，以提供機會讓學生強化碳循環輸出與輸入的理解。在第三單元，學生還會接觸到類似的互動模擬，這時學生有機會改變儲存庫之間的碳流動，並且觀察整個地球系統的改變結果。

延伸：反思小節的提示

- 關於化石燃料儲存庫的碳，改變碳停留時間，對於碳循環造成極大的效應。爲什麼會這樣呢？
- 關於化石燃料的碳，其停留時間很長（94,000 年），但是大氣的碳停留時間卻很短（3.6 年）。爲什麼會這樣呢？

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？

連結碳流動的變化與海洋

本小節一開始，請學生閱讀並討論海洋酸化的文章。他們將在文章裡發現：大氣的二氧化碳濃度增高，海洋的二氧化碳濃度也隨之上升，因而改變海水的化學狀態，嚴重影響有殼的海洋動物，連帶影響生態系統所有相關生物。本小節也是讓學生探索以及針對互動碳循環圖提問的最後一次機會，他們描述幾個意義重大的碳流動並解釋人類工業如何影響碳循環，藉此寫下修正後的想法。在這裡學生的學習將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 不單是大氣的碳增加，海洋的碳也增加了。這樣會對許多海洋生物造成傷害

學生們也將學到：

- 越來越多的二氧化碳進入大氣，海水因此變得更酸，這就是海洋的「酸化」（acidiation）
- 因為愈來愈酸的海水讓動物的外殼或骨骼成長不易，因此許多動物受到影響
- 包含有殼動物的食物鏈，受到海洋酸化的影響

連結碳流動的變化與海洋	預計時間
主動閱讀海洋酸化的文章	15 分鐘
理解海洋酸化	10 分鐘
寫下修正後想法	20 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

海洋素養範圍與系列以及氣候素養原則相關
海洋素養 S&S 3.B.6 人類持續排放二氧化碳以及甲烷到大氣中，因而衝擊著氣候
氣候素養原則 6.A 人類活動正衝擊著氣候系統

你要準備以下項目

總結性評量 放置於影印包中，請在單元上課後爲學生施測。當作是前測，做爲學生已知與未知的基準。單元實施後再行施測，這時就是後測，做爲學生對於該單元的學習成效。評分標準請見本系列介紹的第 81 頁。

全班需求

☐ 投影設備 *
☐ 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
☐ 2-9 小節的 3 張投影片
☐ 模擬：互動碳循環圖
☐ 影集：戀愛中的碳——第四集
☐ （選擇利用）影印包

每位學生需求

☐ 碳循環圖（用於 2-7 小節剛開始的時候）
☐ 調查筆記本：p.2-4; 26-28;（選擇利用）p.25(每日書面反思), 29
☐ （選擇利用）影印包： 寫作工具：修正後想法、書寫修正後想法的組織圖、第二單元評量答案學習單、第二單元評量

* 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. **播放並檢視影集：**戀愛中的碳（3 分鐘 50 秒）。先從資源光碟（紙本版本）找出並先檢視，或者線上搜尋（NPR）。
3. **預先檢視文章：**請教師先閱讀筆記本第 26-27 頁的文章。
4. **（選擇利用）準備學習單：**如果教師想要提供學生以下寫作框架，當作是最後的寫作提示，或是計畫實施本單元後測，請影印以下學習單——
   _ 寫作工具：修正後想法（每個學生一份）
   _ 書寫修正後想法的組織圖（每個學生一份）
   _ 單元二：評量答案卡（每個學生一份）
   _ 單元二評量（每個學生一份）

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？

海洋酸化

調查筆記本第 26 頁

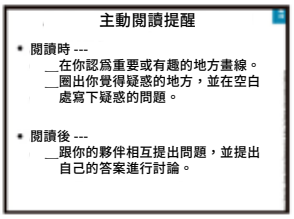
海洋酸化（接上頁）

調查筆記本第 27 頁

連結碳流動的變化與海洋

1. 播放小節標題投影片並且介紹閱讀素材 教師提醒學生：他們學過人類工業活動造成額外的二氧化碳，這會進入到大氣。因為有些過量的二氧化碳被海水吸收，也影響了海洋二氧化碳的平衡，這就是閱讀素材的主題。接下來，學生將完成本單元最後的書寫作業。

2. 播放投影片；審視主動閱讀 提醒學生如何進行「主動閱讀」（Active Reading）；在主動閱讀的過程中，他們若看到有趣或重要的內容，必須劃線標示，遇到不懂的內容則要圈起來。學生完成閱讀後，將和另一位也讀完的夥伴配對，以互助的方式回答問題。



3. 學生主動閱讀 請學生翻到筆記本第 26-27 頁「海水酸化」，教師告訴他們要閱讀、記錄問題並和夥伴討論，共計 15 分鐘。學生閱讀之際，請教師來回走動並注意他們寫下的問題。如果有學生想不出問題，請教師大聲讀出其他學生提出的問題，以這樣的方式激發想法。

4. 提醒學生兩兩成對討論 學生開始劃重點、圈點以及寫問題之際，提醒他們舉手，看看周圍是否也有舉手的人。請他們安靜移動位置，一起討論問題並找出解答。

教師注意事項

每日書面省思

科學家認爲，哪些因素導致大氣中的碳含量增加？科學家用怎樣的證據支持這樣的說法呢？ 這則提示收錄於調查筆記本第 25 頁，因爲學生學到不同儲存庫的碳量，以及碳在不同儲存庫的停留時間，應當能夠理解：人類活動爲何會改變碳的循環。這樣也能幫助他們理解：大氣二氧化碳增加後，會產生怎樣的效應，關於這個本小節也會討論到。如果教師還想接續上第三單元，調查筆記本有閱讀素材決定大氣中額外二氧化碳的量（Determining the Source of the Atmosphere's Exrea CO2），可選擇性運用。這份閱讀素材描述科學家如何蒐集證據，以測量大氣中增加的碳量。

提供更多經驗

準備：食物網的範例 到了中學階段，大部分學生都學過生物之間複雜的交互依存關係，也就是食物鏈。如果學生還沒接觸到這個概念，教師可能想要花點時間想出動物之間捕食與被捕食的例子，以陸地或海洋的動物爲例都可以。教師只要舉出一點這樣的依存關係，學生就能理解閱讀素材中某種生物消失，會影響海洋許多其他生物的道理了。

教學常規

主動閱讀 教師可以提醒學生：科學家以及學習科學到進階程度的學生，都以這裡所謂的「主動閱讀」來閱讀文本。請教師大聲讀出在先前閱讀文章的課程裡，學生寫下的優良提問。如此一來，有助於讓學生在閱讀之際，提出深思熟慮的好問題。

找一個夥伴討論閱讀內容 學生依照自己的步調讀完文章，舉手表示完成閱讀，並且藉機找到另一位也完成閱讀的夥伴。這樣不僅提供機會讓快速完成的學生繼續學習，也讓他們與不同觀念的人互動。

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？

重要概念（接上頁）

調查筆記本第 4 頁

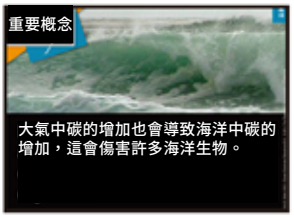
理解海洋酸化

1. 學生分享問題、討論問題 有些關於文章的問題可以透過討論得到解決，請學生分享這些問題；也提醒學生要提出證據。這時教師避免給予肯定的答案，並且鼓勵其他學生評估、支持或提出相左的意見。

2. 提出尚未解決的問題 如有問題仍然懸而未決卻引人入勝，要請學生們盡量提出。教師邀請學生回應對方的問題以及觀點，並提醒學生這樣問對方：「**我們多有把握？**」或是「**我們怎麼樣做會更有把握？**」然後教師表示同意：有些問題需要更進一步的探究，才能找出解答。

3. 強調大氣與海洋之間的關聯 請教師這樣說：「**如果碳循環發生了失衡，將導致廣泛的效應。海洋酸化，就是大氣增加的二氧化碳導致海水含碳量升高的例子。到目前為止，碳循環的失衡導致的所有效應，都還是未知。**」

4. 播放投影片；學生記錄重要概念 教師播放重要概念的投影片，讓學生讀出來。請學生翻到調查筆記本第 4 頁「重要概念」，並決定重要概念最能回應哪些引導問題。（#3 和 #5）將重要概念抄寫於問題下方的欄位。



教師注意事項

教學方針

酸的學習目標 學生可能對酸或酸鹼值（pH）有些許理解，但是在本小節的階段，他們並不需要完全理解酸鹼的概念。學生只需要了解：海水化學成分的變化，會以某些方式傷害海洋生物。

科學註記

關於海洋酸化 海洋從大氣吸收的二氧化碳愈來愈多，本身也變得愈來愈酸，這是因爲一種自然現象——溶解於水的二氧化碳，與水分子結合並變成 H2CO3（碳酸），是一種弱酸。問題是大氣中的二氧化碳含量，因爲人類工業的關係而升高，導致海水吸收愈來愈多的二氧化碳，海水的酸性因此超過正常範圍（若要得到更多資訊，請參考「科學背景」）。

教學建議

理解數字 根據上一個活動的計算結果，有些學生會覺得每年大氣增加 9.4 十億噸的碳，相較於過去 250 年以來，大氣的碳量只多了 228 十億噸；兩相比較，似乎也沒有多許多。（每年 9.4 十億噸，250 年以來就多了 2350 十億噸）其實根據許多理由，並非如同學生的推論。首先，雖然平均每年多了 9.4 十億噸的碳，但是不是每年皆如此。工業革命的早期，增加的碳量比現在少得多。事實上，因爲人類工業活動進入到大氣的碳量，是逐年增加的。其次，進入大氣碳量的大約一半，也會離開大氣，這是因爲海洋和陸地植物都需要碳以獲得成長，如此可有效降低碳在大氣的停留時間。

處理尚未解決的問題 本小節或其他章節，針對碳循環的討論當中，學生可能提出困難的問題，甚至老師都無法解決。但這是絕佳的機會，可以讓學生理解：無法當個萬事通也無大礙；有些科學的問題需要更多的研究。請教師這樣問學生：「**我們如何一起找到解答？**」教師指出：科學家會主動執行碳循環的研究，並且找出人類活動如何影響地球。

延伸：線上影集 酸性測試（3 分鐘 16 秒），是值得推薦的資源，可以用來強化小節的概念。（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）

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？

修正後想法

調查筆記本第 28 頁

寫作工具：修正後想法

（選擇利用）學生學習單

寫下修正後的想法

1. 學生「運轉」互動碳循環圖 教師播放互動碳循環圖，並且告訴學生：接下來需要幾位志願者，選幾個項目開始探索碳循環圖。先給每對學生 1 分鐘討論，規畫要調查循環圖的哪些面向，然後挑選 2-3 個志願者，讓他們輪流挑選項目，也就是儲存庫的碳流動量。讓這位運轉循環圖的學生，還有其他想要分享問題的學生，共同提出儲存庫或碳流動的問題或已了解到的知識。

2. 介紹寫作提示 教師告訴學生：他們將要完成最後的寫作功課，替碳循環的所學做個總結。請學生翻到筆記本第 28 頁「修正後想法」，教師大聲唸出提示：「**關於碳循環的種種，你知道什麼，請描述出來。接下來，請描述人類工業如何影響地球的碳流動，也討論某些儲存庫的例子以及 4 種不同的碳流動，以及地球的碳總量。**」教師告訴學生要應用所學的科學詞彙，涵蓋碳從一個儲存庫移動到另一個儲存庫的細節。

3. 複習 4 個學生可以運用的資源 請學生翻到調查筆記本剛開頭的地方，翻到第 2 頁「課前想法」；這時他們剛開始的想法，可能已經和現在的想法大相逕庭。接下來，請他們翻到第 3-4 頁「重要概念」，複習本單元的重點。請教師告訴學生：他們在寫作的時候，可以翻回這些頁面複習重點，但是不應該照單全抄。此外，也請學生翻到第 17 頁「定義碳循環」，這也是可以複習的重點。最後，發下他們的碳循環圖（2-7 小節一開始就收回了），也是可供參考的資源。學生在寫作之際，可以參考碳循環圖，但是提醒他們：該圖並沒有涵蓋人類工業的訊息。

4. 學生開始寫作 給學生 15 分鐘的時間思考與寫作。

教師注意事項

英文學習者

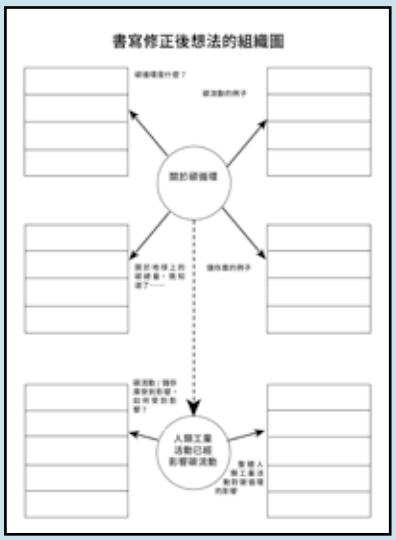
寫作鷹框架 根據英文學習者的英語能力，他們有可能因爲寫作能力而苦苦掙扎，教師可以提供影印包中的「寫作工具：修正後想法的第一部分」。本頁的上半部，是生字庫；下半部則提供句型架構讓學生取用。有些英文學習者可能只需要生字庫，這時就可以把本頁剪半，只提供上半頁即可。只有基礎英語能力或寫作能力有困難的英文學習者，則上下半頁都有幫助。諸如此類的寫作框架，讓英文學習者聚焦於他們想要表達的科學內容，而非把焦點放在拼字、背誦單字或理解句子的結構。

教學常規

課前想法 / 修正後想法 在課程期間，讓學生清楚明確地修正想法，讓他們對於理解如何成長與改變，更能有效掌握。這樣的知覺，有助於維繫新知並且有意識地修正起始想法，讓學生與科學理解更爲貼近。這樣一來，教師也得到評估學生學習的重要工具。

提供更多經驗

準備：書寫修正後想法的組織圖 學生在寫作之前，若能組織想法，將有所獲益。如果教師有額外時間，請提供每位學生一份從影印包取得的「書寫修正後想法的組織圖」，讓他們在空白處記下想法，計畫後續的寫作內容。



（選擇利用）學生學習單

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？

完整碳循環圖

（選擇利用）
調查筆記本第 29 頁

5. 總結碳循環的學習 教師告訴學生，這是本單元最後的小節。現在學生藉著碳循環的調查，對於大氣、海洋以及地球上生物之間的關係，理解的程度已經超過許多成人。

6. 預習第三單元「氣候變遷」 教師讓學生了解：理解碳循環，是理解氣候變遷重要與複雜議題的關鍵。如果教師計畫繼續介紹第三單元「氣候變遷」，請告訴學生：他們將在本單元發現科學家的研究成果，這些成果關乎碳循環失衡，而這樣的失衡影響著海洋與大氣。到時學生也會了解，人們採取了怎樣的行動以解決問題。

7. 播放影集 播放戀愛中的碳（3 分鐘 50 秒）影集，以連結碳循環的概念以及氣候變遷。

教師注意事項

評量

嵌入式評量：修正後想法，碳流動以及人類工業 請教師批閱學生在調查筆記本第 28 頁的回應，藉此評估他們對於碳循環以及人類工業對碳循環影響的理解程度。學生應該描述這 4 項碳流動：呼吸作用、光合作用、海水吸收二氧化碳，以及分解作用、化石燃料形成與燃燒。他們也應當能夠描述：人類工業燃燒的化石燃料，如何把碳從地底儲存庫移到大氣與海洋。教師可以運用「課前想法 / 修正後想法」的評分標準（收錄於介紹手冊第 58 頁的評量部分），評斷學生的反應與碳循環課程目標的對應程度。

提供更多經驗

強化：增加碳循環圖內容並且展示碳循環圖 教師可以讓學生把人類工業的資訊，增加到自己的碳循環圖。教師把已完成的碳循環圖張貼於教室，當作是本單元的概念展示。如果教師要繼續介紹第三單元，這會是對學習特別有助益的參考資料。如果不作展示，學生的調查筆記本有一頁空間，可以張貼碳循環圖。

延伸：反思小節的提示

- 汽車燃燒汽油，最終如何傷害海洋裡的生物？
- 如果你有錢、設備和時間，如何設計科學調查，發掘海洋酸化正在危害某種特定的海洋生物？

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？

海洋科學序列教材
G6-G8 海洋素養進階

中文電子書由「海洋素養教材共同推廣研究計畫」執行
版權為　國立海洋科技博物館、國家海洋研究院　共同所有
製 作 人：陳素芬、陳建宏
策　　畫：陳麗淑、嚴佳代
執行策畫：鄭淑菁、陳韻心

翻譯 : 李弘善、周品翔、邱憶群、李倢璇
審查 : 邵廣昭、張正杰、嚴佳代
潤稿 : 鄭淑菁

計畫協同人員：
宋祚忠、葉佳承、何宗南