

國科會 115 年度 CCUS 創意教案

課程名稱	決戰 2050 零碳島-從質量守恆到 CCUS 的系統探究	適用年級	國中七~九年級
		教學時間	共 6 節 (每節 45 分鐘)
教材來源	部分教學概念與活動設計參考了「海洋科學序列教材 (Ocean Sciences Sequence, OSS) G6-G8 第二單元：碳如何在海洋、陸地與大氣之間流動」。	設計者	林宛青、黃嘉如、林郁君、謝惠娟、林智傑
教學準備	<p>第 1 節：碳在哪裡？ 碳儲存庫分類卡。</p> <p>第 2 節：食物去哪了？ 呼吸作用原子重排網頁遊戲。 酵母菌呼吸作用材料：酵母菌、糖水、BTB 指示劑、測試盤、滴管、攪拌棒等</p> <p>第 3 節：植物吃什麼？ 光合作用原子重排網頁遊戲。 光合作用實驗材料：水蘊草、BTB 指示劑等。</p> <p>第 4 節：大氣的脈動 長期二氧化碳數據圖 (如基林曲線、80 萬年冰芯紀錄)。</p> <p>第 5 節：CCUS 科技登場 石灰水 (用於探討碳的狀態轉換)、震盪、過濾?(酸-溶解?)。 原子重排網頁遊戲等視覺化輔助工具。</p> <p>第 6 節：未來碳循環： 原子重排網頁遊戲 (輔助方案說明)。 海報紙、有色簽字筆</p>		
學生先備經驗	<p>本課程適用於國中七至九年級，涵蓋生物、化學與地球科學領域。因應不同年級學生的認知發展與先備知識，在引導策略上需有所差異。</p> <p>一、七年級學生 (以「生物」先備經驗為主)：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 先備知識：已具備基本的生物體構造認知，初步了解植物的光合作用與動物的呼吸作用。 2. 學習落差與特質：對「碳原子」層級的微觀轉換與「質量守恆」等化學概念不熟悉。 3. 教學引導：需高度依賴具象化的操作 (如原子模型卡、網頁遊戲) 將抽象的原子重排視覺化，並強調由現象 (如 BTB 指示劑變色) 推導結論。 <p>二、八年級學生 (以「理化」先備經驗為主)：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 先備知識：已接觸化學元素、原子與分子概念，理解「原子不減/質量守恆」及化學反應式的基本意義。 		

- 學習落差與特質：能快速進入微觀原子的邏輯，但容易將知識侷限於單一化學反應，較缺乏將微觀現象連結至巨觀地球「碳循環」的系統思考。
- 教學引導：在建立 CCUS 模型時，可增加探究的深度，引導他們運用化學反應的觀念來評估「碳封存」的穩定性與潛在風險（如酸鹼反應導致 CO₂ 重新釋放）。

三、九年級學生（以「地科」與「跨域統整」先備經驗為主）：

- 先備知識：已具備地球環境、氣候變遷（如溫室效應）等巨觀概念，並有較豐富的圖表判讀經驗。
- 學習落差與特質：具備較佳的邏輯推論與跨科整合潛力，但在面對複雜的社會性科學議題（SSI）時，仍需練習如何在多重變數間做出抉擇。
- 教學引導：適合在第 4 節的長期數據（如冰芯紀錄）判讀中擔任主導角色，並在第 6 節的「2050 零碳島設計任務」中，負責權衡能源成本、環境風險與科技倫理，提出高品質的科學論證與同儕質疑。

核心素養與學習重點

核心素養	學習表現	學習內容
<p>自-J-A2：學生能將所習得的科學知識，連結到觀察到的自然現象及實驗數據，並推論隱藏在其中的因果關係。</p> <p>自-J-B2：學生能操作適合學習階段的科技設備與資源，並從中搜尋、解讀、彙整及分析所需的科學資訊（如呼應判讀 CO₂ 濃度長期變化與冰芯紀錄）。</p> <p>自-J-C2：學生透過與同儕的討論建構科學知識，並能主動參與面對各項環境及相關的社會議題，例如：呼應 CCUS 科技介入碳循環的評估與島嶼設計任務。</p>	<p>tr-IV-1：學生能將所習得的知識正確連結到所觀察到的自然現象及實驗數據，並推論出其中的關聯，進而運用習得的知識來解釋自己論點的正确性。</p> <p>tm-IV-1：學生能從實驗過程、合作討論中理解較複雜的自然界模型（如碳循環與原子重排模型），並評估優點和限制。</p> <p>pa-IV-2：學生能從得到的資訊或數據形成解釋、發現新知、獲知因果關係（如判讀基林曲線的鋸齒波動與上升趨勢）。</p> <p>pc-IV-2：學生能利用口語、文字與圖表等方式，表達探究之過程、發現與成果，例如發表 2050 零碳島的方案並進行同儕質詢。</p>	<p>Cb-IV-2：化學反應前後，原子的種類與數目不變（呼應原子守恆與質量守恆）。</p> <p>Bc-IV-1：植物行光合作用，需要陽光、水、二氧化碳，並產生養分及氧氣（呼應植物碳捕捉與碳轉換）。</p> <p>Bd-IV-2：在生態系中，碳元素會出現在不同的物質中，在生物與無生物間循環使用（呼應自然界的四大碳儲存庫）。</p> <p>Pe-IV-2：溫室效應與全球暖化現象（呼應大氣脈動與人為排放失衡）</p>

學習目標

全球暖化與氣候變遷已成為當代最迫切的科學與社會議題，其中大氣中二氧化碳濃度的快速上升，顯示碳循環系統已出現顯著失衡。本教案以「碳捕捉、利用與封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）」為核心情境，設計六節具連貫性的探究課程，引導學生由「原子層級的碳」出發，逐步建構至「地球系統中的碳流動」，並進一步連結至「人類科技介入與科學決策」。

課程採現象導向學習，以真實數據（如冰芯紀錄與大氣 CO₂ 變化）作為驅動問題，並結合建模取向教學，引導學生在模型建構、檢驗與修正的歷程中，理解碳循環的動態本質。整體設計對應 PISA 科學素養架構，強調學生在「解釋現象、運用證據、做出決策」三個面向的整合能力。

在學習歷程中，學生不僅理解自然界中的碳循環機制（如光合作用與呼吸作用中的碳轉換），更進一步面對關鍵問題：「當自然調節機制無法維持平衡時，人類可以如何介入？」透過 CCUS 技術的引入與模擬設計任務，學生需在科學證據、能源成本與環境風險之間進行權衡，培養跨尺度（原子 → 生物 → 地球 → 社會）的系統思維與科學決策能力。

學習目標包含以下三個面向---

（一）概念目標 (Conceptual Understanding)

1. 建立碳循環中四大儲存庫（大氣、生物、海洋、岩石）及其交互作用的整體概念。
2. 理解光合作用與呼吸作用中碳的轉換機制，並能以模型表徵其過程。
3. 理解化學反應中的原子守恆與原子重排，並應用於解釋碳轉換現象。

（二）能力目標 (Scientific Practices)

1. 能建構、檢驗與修正碳循環模型，以解釋不同尺度的現象（建模能力）。
2. 能判讀長期科學數據（如 CO₂ 濃度變化），辨識趨勢與異常並提出合理解釋。
3. 能運用證據進行科學論證，評估不同解決方案的可行性與限制。
4. 能設計並優化碳管理方案（如 CCUS 模擬任務），並說明其科學依據。

（三）素養目標 (Scientific Literacy & Decision Making)

1. 理解人類活動如何影響碳循環與氣候系統的平衡。
2. 評估 CCUS 技術在減碳策略中的角色、限制與潛在風險。
3. 培養面對環境議題時的責任感與永續發展價值觀。
4. 能在科技發展、環境保護與社會需求之間進行理性判斷與選擇。

CCUS 融入說明

◇ 整體設計主軸

本教案以「碳原子如何在不同儲存庫間移動，以及人類是否能改變這個流動」為核心問題，將 CCUS 概念依序由「理解自然機制 → 發現系統問題 → 建構解決方案 → 評估限制與代價」逐步引入，而非以單一知識內容直接講解。

◇ 第一階段（第 1-3 節）：自然碳循環與「碳捕捉」基礎

CCUS 對應：Capture（自然機制）

學生透過以下任務建立基礎概念：

1. 透過碳卡分類活動，建立「碳儲存庫」概念，初步理解碳在不同儲存庫間的流動。
2. 經由實作活動（酵母菌呼吸作用、海爾蒙特實驗文本閱讀、BTB 光合作用實驗），建構光合作用與呼吸作用模型，了解生物利用呼吸作用將“碳”釋放至大氣，以光合作用由大氣中抓“碳”。
3. 透過反應式與原子數計算（搭配互動式工具），理解「原子不會消失，只會重新組合」。
4. 任務提問：「吃進來的碳原子到哪裡去了？」、「植物如何從空氣中『抓住』碳？」

學習產出：

學生繪製碳循環初始模型、說明呼吸作用釋放 CO₂、光合作用將 CO₂ 轉為有機物、學生理解：自然界本身即存在「碳捕捉」機制（植物）

◇第二階段（第 4 節）：系統失衡與問題意識建立

CCUS 對應：為何需要介入

1. 透過兩組關鍵數據：EPICA Dome C 冰芯紀錄（長時間尺度）、Keeling Curve（短時間尺度）
2. 學生進行：不同時間尺度的 CO₂ 變化比較、辨識自然波動與人為快速上升差異

任務提問：「自然碳循環還能平衡現在的排放嗎？」

學習產出：

數據判讀與解釋、建立初步因果推論（人類活動 → CO₂ 上升）、學生發現：自然「碳捕捉」能力已不足 → 問題浮現

◇第三階段（第 5 節）：CCUS 技術理解、建模與評估

CCUS 對應：Capture / Utilization / Storage

1. 學生透過「情境判讀 → 分類建模 → 系統評估」三階段任務進行探究：
 - (1) 碳捕捉 - 透過石灰水與 CO₂ 反應生成碳酸鈣沉澱的實作，探討影響「碳捕捉效率」的因素
 - (2) 碳封存 - 過震盪或加酸使碳酸鈣重新釋放 CO₂，評估封存的穩定性與潛在風險
 - (3) 碳利用 - 分析將 CO₂ 製成燃料或建材的技術情境，討論其能源成本與實際減碳效果
2. 學生透過分析不同技術中碳的去向與轉換歷程，主動建構並分類 Capture / Utilization / Storage，並在全班共構討論中，逐步收斂並對應至科學上既有的 CCUS 概念架構（Capture / Utilization / Storage），比較不同技術對碳循環系統的影響（是否減碳、是否需額外能源、是否存在風險），建立「介入碳循環」的初步系統模型。

學習產出：

提升碳捕捉效率的實驗設計構想、對碳封存風險的科學解釋、不同技術在系統中的角色比較與論證

◇第四階段（第 6 節）：決策與設計任務

CCUS 對應：整合應用 + 科學決策

任務情境：「設計一個在 2050 年達成淨零排放的島嶼減碳方案」

學生需完成：

1. 選擇或組合 CCUS 策略
2. 在碳循環模型中標示介入位置
3. 說明改變了哪一段碳流，以及可能帶來的代價（能源／風險）
4. 評估與論證：

學生需進行：

同儕質詢與科學論證、教師引導討論：是否增加能源消耗？是否只是延後問題？

◇總結

本教案中的 CCUS 並非作為單一知識內容傳遞，而是作為一個「科學決策情境」。學生在理解碳循環機制後，需實際參與「是否介入、如何介入、代價為何」的判斷歷程，使科學學習從概念理解進一步提升至公共議題中的理性決策能力。

議題融入與素養培養

本課程引導學生探討 CCUS 技術背後的多元議題，包括：

1. 是否應依賴科技解決環境問題
2. CCUS 是否可能延續高碳排發展模式
3. 碳封存的安全性與責任歸屬
4. 減碳與科技補救之間的取捨

透過這些討論，培養學生：

1. 科技倫理判斷能力
2. 環境正義觀
3. 公民參與與決策能力

教學流程總覽

節次	主題	教學重點	核心活動	評量重點	CCUS / 議題融入
第 1 節	碳在哪裡?	建立碳儲存庫概念 (概念)	碳卡分類與模型建構	能正確找出含碳的物質，並分類至碳儲存庫，並說明分類依據	建立碳系統觀
第 2 節	食物去哪了?	理解碳原子的移動，原子守恆 (概念+能力)	酵母實驗+原子建模	能解釋碳未消失、呼吸作用將食物中的碳釋放至大氣	碳在系統中流動
第 3 節	植物吃什麼?	建立光合作用模型 (概念+論證)	科學史碳就、BTB 實驗判斷、模型修正	能用證據論證碳來源-光合作用從大氣中捕捉碳	自然碳捕捉
第 4 節	大氣的脈動	判讀數據與趨勢 (能力)	EPICA Dome C 冰芯紀錄 (長時間尺度)、eeling Curve (短時間尺度) 判讀	能解釋鋸齒與上升趨勢、能發現：自然「碳捕捉」能力已不足	人為造成失衡
第 5 節	CCUS 科技	設計解決方案 (能力+素養)	人為介入碳的 Capture / Utilization / Storage 比較不同技術對碳循環系統的影響	能分析不同技術中碳的去向與轉換歷程 能分析比較不同技術對碳循環系統的影響 (是否減碳、是否需額外能源、是否存在風險)。	CCUS 技術與風險
第 6 節	未來碳循環	系統整合與決策 (素養)	1 「2050 年淨零排放的島嶼減碳方案---發表、觀摩」 2 學生間的評估與論證	1 能提出完整方案與論證 2 能說明、質疑某一段碳流，以及帶來的代價、風險 3 能進行同儕質詢與科學論證	科技倫理與決策

教學流程

第一節：碳在哪裡？（建立儲存庫系統）

教學活動	時間/ 分組	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 不同物質觀察：教師在課堂初始展示多樣化的物質，如木炭、汽水、貝殼等。 2. 認知衝突與澄清：透過這些不同材料的並置與比較，引發學生對「碳存在形式」的觀察，藉此打破學生認為碳僅為單一黑色固體（如木炭）的既有印象。 	10 分 分組	口頭/問答 評量	能觀察並列舉生活中的含碳物質（如木炭、汽水、貝殼），打破對「碳」單一形態的既有認知。
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 靜態分類建模：發下「碳儲存庫分類卡」與學習單。由小組共同進行初步建模活動，將卡片上的物質分類並分配至大氣、生物、海洋與岩石等四大儲存庫，藉此建立碳系統的基本架構。（也可用網頁遊戲來進行分類，或於課後進行精熟練習） (https://reurl.cc/9Weada 碳在哪裡) 2. 動態流動引導：在建立靜態分類後，教師播放影片或引入自然案例（例如森林大火、火山噴發），製造情境變化。 3. 模型修正操作：根據案例情境，引導各組修正原有的模型，在不同儲存庫之間畫上碳流動的箭頭，讓模型由原先的靜態分類，正式進展為具備互動關係的動態系統 	20 分 分組	實作/操作 評量 學習單/圖 表評量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能將含碳物質正確分類至四大儲存庫（大氣、生物、海洋、岩石）。 2. 能根據情境（如森林大火、火山噴發），繪製箭頭表示碳在儲存庫間的動態流動，將靜態分類模型進展為動態系統。
<p>三、綜合活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 小組發表與評量：透過小組分享與口語說明，讓學生解釋他們的分類依據與碳流動方向，教師同步進行形成性評量，確認學生能正確找出含碳物質並歸類。 2. 科學本質收斂：教師在總結時特別強調「模型可修正」的科學本質。 	15 分 分組	口頭發表 評量（形 成性評 量）	能運用證據進行論證，並總結生物透過呼吸作用將碳釋放至大氣的機制。

<p>3. 核心觀念確立：確認學生已建立起完整的「系統觀」，為後續課程中探討更複雜的碳流動與 CCUS（碳捕捉、利用與封存）概念奠定穩固基礎。</p>			
第二節：食物去哪了？（原子重排）			
教學活動	時間/分組	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 生活化提問：教師詢問學生：「我們每天吃進那麼多含碳的食物（如澱粉、糖），這些碳最後去哪裡了？會平白無故消失嗎？」 2. 連結舊知：回顧第一節課建立的碳儲存庫概念，思考碳是如何從「生物儲存庫」移動到「大氣儲存庫」。 	5分	口頭/問答 評量	能提出關於生物體內碳去向的疑問，並連結碳從生物儲存庫移動到大氣儲存庫的概念。
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 探究實驗——酵母菌呼吸作用： 2. 學生分組操作酵母菌與糖水的反應實驗，觀察氣泡產生現象。 3. 使用 BTB 指示劑進行檢測，透過顏色變化（證據）引導學生推論食物中的碳已轉變為二氧化碳氣體釋放。 4. 建模活動——原子重排與守恆： 5. 利用「原子模型卡」或「原子重排網頁遊戲」，讓學生親手操作葡萄糖分解為二氧化碳的歷程。 (https://reurl.cc/R25mKD(原子不減網頁遊戲)) 6. 清點原子：學生需實際計算反應前後碳原子的數量。透過操作確認「反應前後原子數量不變」，藉此建立「原子守恆」與「質量守恆」的核心科學概念。 7. 教師引導學生理解：碳原子並未消失，只是重新排列組合並「搬家」了 	35分 分組	實驗實作 評量 模型操作 評量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能透過實驗證據（BTB 指示劑變色），推論呼吸作用將食物中的碳轉變為二氧化碳釋放。 2. 能利用原子重排模型（如網頁遊戲），親手操作並清點原子，驗證並確立「原子守恆」與「質量守恆」的概念。
<p>三、綜合活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 證據導向論證：教師提供論證句型，如：「我原本認為...，但根據實驗證據...，因此我現在認為...」，鼓勵學生分享自己概念修正的歷程。 2. 系統思維總結：總結本課重點－生物透過呼吸作用將碳釋放至大氣。 3. 預告與延伸：既然碳釋放到了大氣，那有沒有辦法把它「抓」回來？ 預告下一節課將探討植物的自然捕捉機制。 	5分	論證與口 頭發表評 量	能運用證據進行論證，並總結生物透過呼吸作用將碳釋放至大氣的機制。

第三節：植物吃什麼？（碳捕捉）

教學活動	時間/ 分組	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 歷史實驗探究：課堂初始以科學史上的經典實驗（海爾蒙特的觀察實驗，探討植物生長來源）作為開場，引發學生的認知衝突。 2. 打破直覺迷思：透過故事與現象的引導，促使學生開始質疑「植物主要從土壤獲得養分」的直覺想法，為後續的科學探究鋪陳。 	5分	口頭/問答 評量	能透過科學史案例（海爾蒙特實驗），質疑植物養分來源的直覺迷思（土壤），為科學探究鋪陳。
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗觀察與證據蒐集：帶領學生進行水蘊草與 BTB 指示劑的實驗。學生觀察在光照條件下，溶液中二氧化碳濃度下降的現象，並以此作為植物吸收碳的具體證據。 2. 逆向建模活動：在模型操作階段，學生需將前一節課所學的「呼吸作用模型」進行逆向思考，親手建構出「光合作用模型」。藉此過程，讓學生深刻理解植物是如何將空氣中的氣態碳轉化為固態有機物。 3. 論證與模型整合：教師引導學生運用實驗結果進行「證據導向論證」。再將本節的光合作用與前一節的呼吸作用逐步整合，形成一個簡化的生物碳循環模型。 (https://reurl.cc/R25mKD (原子不滅網頁遊戲)) 	35分 分組	實驗與觀察 評量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能透過 BTB 實驗觀察與證據蒐集，論證植物能從大氣吸收 CO₂。 2. 能逆向建構光合作用模型，理解植物將氣態碳轉化為固態有機物。 3. 能將光合作用與呼吸作用整合，形成簡化的生物碳循環模型。
<p>三、綜合活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建立自然碳捕捉概念：在課程尾聲，教師總結並強調大自然本身的「自然碳捕捉機制」。 2. 連結巨觀系統：使學生清楚理解森林與植物在調節地球大氣碳濃度中扮演的重要角色。這不僅統整了本節課的核心概念，也為後續課程中探討人為的 CCUS 科技介入提供了一個重要的對照與參照基準 	5分	口頭/總結 評量	能確立植物為自然「碳捕捉機制」的重要角色，並理解其在調節地球大氣碳濃度中的重要性。

第四節：大氣的脈動（數據判讀）

教學活動	時間	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 數據觀察與描述：教學初期不直接提供科學解釋，而是展示長期二氧化碳監測數據（如基林曲線 Keeling Curve）。 	10分	圖表判讀 與口頭 評量	能觀察長期二氧化碳監測數據（如基林曲線），並準確描述其「鋸齒狀波動」與「整體上升趨勢」的圖表特徵。

<p>2. 辨識特徵：要求學生仔細觀察並描述曲線特徵，特別引導他們發現圖表上的「鋸齒狀波動」與「整體上升趨勢」，藉此培養數據觀察與描述能力。</p>			
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 數據推理（短時間尺度）：在討論過程中，請學生提出可能造成鋸齒波動的影響因素（例如季節變化、植物活動），透過證據比較與推理，建立植物能調節碳循環的概念。 跨時間尺度比較：接著引入長時間尺度的數據（如80萬年的EPICA Dome C冰芯紀錄），讓學生將歷史長期的自然波動與現代數據進行比較。 發現異常與建立因果：透過對比，引導學生發現當代碳濃度快速上升的異常性，並進一步推論這與人類活動（如化石燃料燃燒）造成的影響有密切關聯。 	30分 分組	數據推理/ 學習單評 量	<ol style="list-style-type: none"> 能推理並解釋鋸齒波動的成因（季節變化、植物活動），建立植物能調節碳循環的概念。 能透過數據比較（短/長時尺度如冰芯紀錄），發現當代CO₂快速上升的異常性。 能建立人為活動（化石燃料）造成碳循環系統失衡的因果推論。
<p>三、綜合活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 核心提問引導：教師拋出關鍵任務提問：「自然碳循環還能平衡現在的碳排放嗎？」。 確立系統失衡問題：透過長期資料引發認知衝突，幫助學生意識到大自然本身的「碳捕捉」能力已不足以抵消當前的快速變化，碳循環系統的問題正式浮現。 預告解決方案：順勢引發學生對於「人為介入」的探究需求，為下一堂課即將登場的CCUS（碳捕捉、利用與封存）科技鋪路。 	5分	提問與總 結評量	能意識到自然界的碳捕捉能力已不足以抵消人為排放，確立碳循環系統失衡的問題，並引發對「人為介入」的探究需求。
第五節：CCUS 科技登場（人為介入）			
教學活動	時間	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 情境導入：接續前一堂課發現自然碳捕捉能力不足的問題，本節以CCUS（碳捕捉、利用與封存）為情境，引導學生建立對「人工介入碳循環」的初步科學模型。 追蹤看不見的碳：透過實驗與類比，引發學生對碳管理的探究動機，讓學生理解人為介入時，碳並不是消失了，而是「搬家」。 	5分	口頭/問答 評量	能將CCUS技術視為「人工介入碳循環」的初步科學模型，理解人為干預的碳管理是將碳進行「搬家」而非使其消失。
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 碳捕捉（Capture）與狀態轉換：帶領學生進行石灰水實驗，觀察石灰水與CO₂反應生成碳酸鈣沉澱的過 		系統性提 問與口語 評量	1. 碳捕捉 (Capture) ：能透過石灰水實驗，理解碳捕捉是將碳由

<p>程，讓學生理解碳可由氣態轉為固態，並探討影響「碳捕捉效率」的因素。</p> <p>(通入二氧化碳後可透過靜置和攪動(增加接觸面積)比較生成碳酸鈣沉澱的速率、或比較通入的二氧化碳量和沉澱率的關係)</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 碳封存 (Storage) 的穩定性檢驗：透過震盪或加酸的方式，使碳酸鈣重新釋放 CO₂。此設計旨在製造「技術未必有效」的認知張力，打破學生「抓到碳了，問題就解決了」的直覺，引導他們評估封存的穩定性與潛在的洩漏風險。 3. 碳利用 (Utilization) 與邏輯辨識：分析將 CO₂ 轉化為燃料或建材等技術情境，帶領學生認識「封存」與「利用」的不同邏輯，並討論這些技術背後的能源成本以及實際的減碳效果。 	35 分		<p>氣態轉為固態的過程，並探討影響效率的因素。</p> <p>2. 碳封存 (Storage)：能透過加酸實驗，評估碳封存的穩定性與潛在洩漏風險。</p> <p>3. 碳利用 (Utilization)：能辨識碳利用與碳封存的邏輯，並討論其能源成本與實際減碳效果。</p>
<p>三、綜合活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 系統比較與評估：帶領全班共構討論，比較不同技術對碳循環系統的影響（例如：是否真的減碳、是否需要消耗額外能源、是否存在風險），並初步比較不同方案的優缺點。 2. 導向科學決策：引導學生從單一技術走向系統思考，反問「只靠一種方法是否足夠？」。將前述的科學問題正式轉化為「要放哪裡？安不安全？成本如何？」等「可決策的問題」，為第六堂課的設計與論證任務鋪路。 	5 分	系統性提問與口語評量	能進行系統比較與評估，分析不同 CCUS 技術對碳循環系統的優缺點、能源成本與風險；將科學問題轉化為可決策的社會性議題。
第六節：未來碳循環（系統設計任務）			
教學活動	時間	評量方式	學習目標
<p>一、引起動機</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 情境發布：發布最終任務情境：「設計一個在 2050 年達成淨零排放的島嶼減碳方案」（即 2050 零碳島）。 2. 整合挑戰：要求學生整合前五節課所學的知識，準備著手設計一套完整的碳循環系統。 	10 分		能理解並接受「設計一個在 2050 年達成淨零排放的島嶼減碳方案」的最終任務情境，並準備整合所有碳循環知識。
<p>二、發展活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 系統設計與組合：學生需選擇或組合不同的 CCUS 策略，並在碳循環模型中標示介入位置。方案中必須同時納入自然碳匯（如森林）與人為技術（如 CCUS），並考量碳的來源、流動路徑與最終去向。 2. 成果發表與展示：以「成果發表+Gallery Walk」為核心活動進行方案表達與模型外化。學生需將抽象 	30 分異質分組	<p>成果發表評量</p> <p>口頭論證與問答評量</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能設計並提出一套結合自然碳匯與 CCUS 技術的「2050 零碳島方案」。 2. 能清楚說明方案改變的碳流動路徑以及

<p>概念轉為具體，並使用證據來支持自己的主張（OSS 架構）。</p> <p>3. 同儕質詢與科學論證：學生需進行互相評估與論證，對他人的方案提出具體的科學質疑（例如：碳是否守恆？封存是否穩定？）。發表者需說明方案改變了哪一段碳流，以及可能帶來的代價（如能源成本或風險）。</p> <p>4.</p>		<p>形成性評量：教師觀察並評估學生運用科學證據回答問題的能力</p>	<p>可能帶來的代價，如能源成本或風險。</p> <p>3. 能運用科學論證，如碳守恆、封存穩定性等原理回答同儕的質疑。</p>
<p>三、綜合活動</p> <p>1. 模型修正與科學態度：引導學生接受他人的質疑並調整原有的想法，從中理解科學知識是可修正的。</p> <p>2. 系統整合與反思：教師引導全班針對方案進行深入討論，反思「是否增加能源消耗？」或「是否只是延後問題？」等關鍵提問。讓學生比較不同方案的限制（成本、效率、風險），並理解需透過多重策略組合才能達成減碳目標。</p> <p>3. 決策素養收斂：總結本節重點，使學生的學習從單純的「理解科學」，進一步邁向「應用科學解決問題」，培養面對氣候議題的決策能力與公民素養。</p>	<p>5分 異質 分組</p>		<p>能展現科學態度，接受質疑並修正方案；能反思並比較不同方案的限制，理解需透過多重策略組合達成減碳目標；培養面對氣候議題的決策能力與公民素養。</p>

參考資料與教材教法轉化說明

本課程《決戰 2050：零碳島》主要參考海洋序列《Ocean Science Sequence (OSS)》教材 G6-G8 第二單元「碳在陸地與大氣間的流動」(共 9 個次單元)的課程內容，並以其中的 2.1 至 2.4 課程為主要改編依據，原教材內容與本課程對應關係如下：

OSS 課程內容	本課程改編內容
2.1 找出碳的祕密	第一節〈碳在哪裡？〉以碳循環卡牌活動建立碳儲存庫概念，並增加後續 CCUS 課程所需之碳酸鈣、化石燃料等素材。
2.2 利用呼吸作用來找碳	第二節〈碳跑去哪裡了？〉透過探究實驗探討呼吸作用與二氧化碳釋放。
2.3、2.4 利用光合作用來找碳	第三節〈植物的超能力〉以光合作用探究活動理解植物如何吸收大氣中的二氧化碳。
第二單元相關碳循環 第三單元氣候變遷內容	第四節〈失衡的碳循環〉結合 Keeling Curve 與冰芯資料分析，引導學生發現人類活動造成的碳失衡現象。

改編與轉化是為了符合臺灣教學現場需求，主要的轉化包含以下幾點：

1. 課程濃縮與重組

- 將原 OSS 序列相關內容重新整合為 6 節課，提升融入彈性課程與主題課程之可行性。

2. 碳儲存庫概念強化

- 原教材(2.1)著重辨識含碳物質，本課程引入「大氣、海洋、生物圈、岩石圈」之碳儲存庫概念，以為後續系統思考的基礎，新增數位化遊戲提高趣味性，提供學生課後練習。

3. 教材內容與活動改編

- 重新設計碳循環卡牌內容與數位學習活動。
- 調整教學流程與探究活動(如第二節、第三、四節的探究活動)，使其更符合臺灣學生學習經驗與課堂節奏。

4. 延伸至淨零與 CCUS 議題

- OSS 原教材主要聚焦於碳循環機制與人類影響，本課程進一步連結臺灣 2050 淨零排放目標，新增「CCUS (碳捕集、再利用與封存)」單元。
- 前四節建立學生對碳儲存庫、碳釋放與碳捕捉機制的理解；第五節課則以 CCUS 技術作為人為增加碳捕捉與封存能力的案例，讓學生運用前述概念分析科技減碳方案的效益與限制。
- 第六節課則以「2050 零碳島」為情境，整合碳循環、淨零轉型與科技減碳等觀點，提出具科學證據支持的行動方案。
- 本課程保留 OSS 教材強調之原子守恆、模型建構、科學論證及系統思考等核心精神，同時透過課程重組、在地化調整及 CCUS 議題融入，發展成符合臺灣教育情境之「決戰 2050：零碳島」主題課程。

學生學習歷程及教學反思

第一堂課:碳在哪裡?

	
<p>說明:學生透過卡牌照片,去觀察碳存在哪些物質中,並與組員進行討論。</p>	<p>說明:學生觀察碳存在哪些物質中,與組員進行討論並提出論點。</p>
	
<p>說明:學生透過卡牌背面文字敘述與化學式,再次討論,並重新區分哪些是碳的儲存庫。</p>	<p>說明:學生分組操作與比賽,有關碳儲存庫的數位遊戲。</p>
	
<p>說明:學生運用數位遊戲,來驗證自己對碳儲存庫的理解。</p>	<p>說明:將不同形式的碳化合物,區分為大氣、海洋、岩石和生物四大類儲存庫。</p>

教學省思:

本節課旨在建立學生對碳分佈的初步認知。教學觀察發現,學生對「木炭」或「二氧化碳」含有碳元素已有預備知識,但對於「生物體(如動植物、浮游生物)」同樣是碳的載體常感到困惑。透過導入化學式與元素組成的概念補充,成功搭起了微觀與具象間的橋樑,使學生豁然開朗。隨後引導學生認識碳不僅存在於生物圈,更廣泛分佈於大氣與海洋等環境,協助學生打破單一物質的侷限,進而建構出更具體且具巨觀尺度的碳儲存庫系統觀。

第二堂課：食物去哪了？（原子重排）



說明：教師詢問學生：「我們每天吃進那麼多含碳的食物（如澱粉、糖），這些碳最後去哪裡了？會平白無故消失嗎？」可以如何檢測？



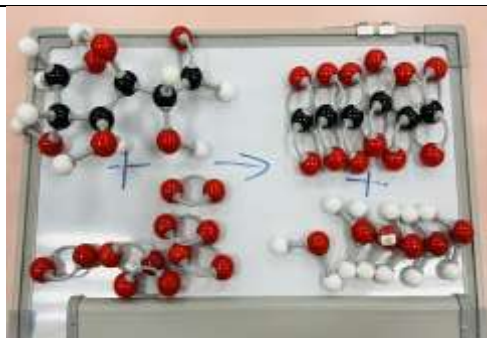
說明：學生分組操作酵母菌與糖水的反應實驗，觀察氣泡產生現象。



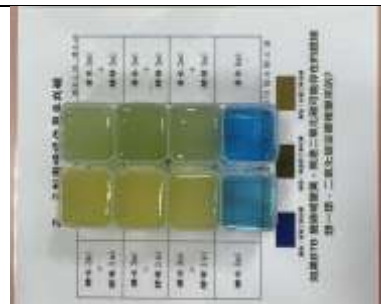
說明：使用 BTB 指示劑進行檢測，透過顏色變化（證據）引導學生推論食物中的碳已轉變為二氧化碳氣體釋放



說明：再請學生驗證，口中呼出的二氧化碳會再使藍色的 TB 指示劑，變成黃色



說明：學生需實際計算反應前後碳原子的數量。透過操作確認「反應前後原子數量不變」，藉此建立「原子守恆」與「質量守恆」的核心科學概念。



說明：使用 BTB 指示劑進行檢測，請學生依據實驗結果說明，碳~去哪兒了？

教學省思：

教學過程中，學生原先對碳的移動抱有疑惑，但透過酵母菌發酵實驗與 BTB 指示劑的變色結果，成功將抽象的呼吸作用轉化為具體的視覺證據。學生親眼見證食物中的碳轉化為二氧化碳氣體釋放。另外，導入原子重排網頁遊戲與實體模型，讓學生親手清點反應前後的碳原子數目，讓學生深刻體驗到「原子並未消失，只是重新排列組合」的概念，有效鞏固了原子守恆與質量守恆的科學認知。但在上課過程中發現，部分學生在運用「證據導向論證」句型時較為生疏，難以流暢地將實驗結果轉譯為科學主張。希望未來的教學可考慮在此環節增加同儕互評或提供更多表達鷹架，以強化學生的邏輯推演能力。

第三堂 植物吃什麼？（碳捕捉）

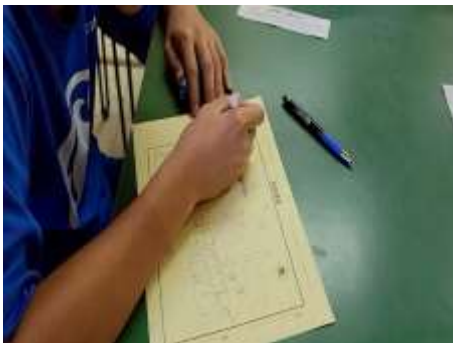


說明：課堂初始以科學史上的經典實驗（海爾蒙特的觀察實驗，探討植物生長來源）作為開場，引發學生的認知衝突。照片為學生進行科學文章的閱讀，辨識重點，提取想法。



說明：教師在學生閱讀文本與建構生物碳循環模型時，以板書指示學生閱讀時需要注意哪些項目，這些項目是論證的要點，學生平時較少接觸，故以明示教學讓學生能在課程中反覆對照。

說明：教師帶領學生進行水蘊草與 BTB 指示劑的實驗。先將兩瓶水皆先吹入二氧化碳，使水變為黃色。上課時先解說實驗的內容，再將一瓶置於無光處，另一瓶置於陽光(或強燈光)下，待學生完成閱讀，瓶中水已變色。



說明：學生透過完成一張碳流動的手繪圖，將這節課習得的光合作用與前一節的呼吸作用整合，形成一個簡化的生物碳循環模型。

說明：教師確立植物為自然「碳捕捉機制」的重要角色，並強調對於地球大氣碳濃度調節的重要性。

教學省思:

本節課以揚·巴普蒂斯塔·范·赫爾蒙特實驗作為引起動機，多數學生能從科學史案例中意識到植物養分來源並非單純來自土壤，順利引發概念上的再思考。九年級學生在文本閱讀與重點整理上整體表現穩定，能依教師提示掌握論證重點，並逐步連結後續學習活動。

在 BTB 實驗觀察中，學生普遍能清楚辨識顏色變化與二氧化碳濃度的關係，並據此理解植物在光照下具有吸收 CO₂ 的作用。部分學生已能進一步嘗試以證據支持其說法，顯示具備初步的科學論證能力。逆向建構光合作用模型時，多數學生能將先前的呼吸作用概念加以轉化，完成模型建構，並理解碳在不同形式間的轉換。

本節課能效協助學生建立植物作為「碳捕捉機制」的核心概念，並初步整合生物碳循環的理解。後續的課程也將加入更多條件讓學生練習討論，如何建構更有效的鷹架協助學生口語表達，將是未來可進一步深化的部分，能加強學生論證表達的完整性與精緻度。

第四堂課：大氣的脈動（數據判讀）

	
<p>說明：複習上一堂植物與碳的關係為何？</p>	<p>說明：請同學依上一堂課所學，重新連結知識說明植物與碳的關係。</p>
	
<p>說明：展示長期二氧化碳監測數據</p>	<p>說明：引導他們發現圖表上的「鋸齒狀波動」與「整體上升趨勢」，藉此培養數據觀察與描述能力</p>
	
<p>說明：提供數據及圖表，請學生提出可能造成鋸齒波動的影響因素（例如季節變化、植物活動），透過證據比較與推理</p>	<p>說明：結論透過長期資料引發認知衝突，幫助學生意識到大自然本身的「碳捕捉」能力已不足以抵消當前的快速變化，。</p>

教學省思：

這堂課刻意不直接給予答案，而是展示長期二氧化碳監測數據，讓真實的科學數據自己說話。起初，學生們能敏銳地觀察出圖表上因季節或植物活動所造成的「鋸齒狀波動」。然而，當我引導他們將視角拉近，對比工業革命後那道急速飆升、徹底超出原本自然波動範圍的紅色上升曲線時，課堂的氛圍有了明顯的轉折。這個強烈的視覺對比成功引發了學生的認知衝突。學生望著數據，真切地意識到單靠大自然原有的「碳捕捉」能力，已經遠遠無法抵消當前人類社會瘋狂的排放速度，並在他們心中種下了環境危機意識，自然而然地為下一堂課「尋找人為介入解方」鋪陳了最強烈的求知動機。

第五堂課：CCUS 科技登場（人為介入）

	
<p>說明：複習上一堂課程，請同學說明地球現今所面臨的問題。</p>	<p>說明：帶領學生進行石灰水實驗，觀察石灰水與 CO₂ 反應生成碳酸鈣沉澱的過程，讓學生理解碳可由氣態轉為固態</p>
	
<p>說明：透過土壤可淨化水質的邏輯，將混濁石灰水中的二氧化碳，留在土壤裡。學生觀察錐型瓶內的水變回澄清。</p>	<p>說明：透過加酸的方式，使碳酸鈣重新釋放 CO₂，同學正仔細觀察 CO₂ 氣泡的產生。</p>
	
<p>說明：請同學回想整堂課程，CO₂它怎麼了？帶領全班共構討論，比較不同技術對碳循環系統的影響</p>	<p>說明：觀賞『減碳速度太慢？現在已經能主動把二氧化碳抓下來！』影片。</p>

教學省思：

石灰水實驗，不僅成功將抽象的觀念具象化，讓學生親眼觀察到氣態二氧化碳轉變為固態碳酸鈣沉澱的過程；而後續「加入酸液」的步驟。當學生湊近仔細觀察，看著錐形瓶中再次冒出 CO₂ 氣泡時，原本以為「用科技抓到碳就解決問題」，但環境的變化有時人類不可控，讓孩子們體悟到「碳封存」在現實中所面臨的穩定性考驗與潛在風險。所以最後的討論中，看學生燒腦的思考，並意識到面對氣候危機，需要更謹慎的科學決策。

第六堂課：未來碳循環（系統設計任務）

	
<p>說明:學生分組討論，設計一種將「碳捕捉後固定封存」的策略。</p>	<p>說明:小組成員上台說明自己組別提出的方案。</p>
 <p>Diagram illustrating the conversion of atmospheric CO₂ to solid carbon (rock). The diagram shows "大氣" (Atmosphere) with an arrow pointing to "岩石" (Rock). Below this, a chemical equation is written: $CO_2 + Ca \rightarrow CaCO_3 + C$.</p>	
<p>說明:第五組學生的學習單，他們的想法是以人為還原的方式，將大氣中的二氧化碳轉換回固態碳，再封存到岩石中。</p>	<p>說明:其他組別的同学舉手表示贊成該組學生的提案。</p>

教學省思：

本節以「2050 零碳島」作為統整任務，多數學生能快速進入情境，連結前幾節課所學的碳循環概念。在系統設計歷程中，各組需要特別提醒須結合自然碳匯與人為技術（如碳捕捉與封存，CCUS）。不過，受限於知識累積仍在發展中，學生在構想方案時仍需要教師逐組引導與提問，協助其釐清想法並逐步完成設計，顯示教師適時的鷹架支持在高層次任務中是關鍵因素之一。

在成果發表與 Gallery Walk 過程中，8 組學生中有 6 組的學生能清楚說明設計理念，並嘗試以碳守恆與封存穩定性作為可行性的基礎。同儕之間能進行基本的提問與回應，課堂互動情形良好。提出方案後，部分的學生已能進一步反思碳封存與運輸過程中的成本和穩定性，也有組別提出不可行的方案，然而想法涉及人類生存與環境之間的關係，顯示學生開始從單純的概念理解，邁向較為完整的科學決策思考。因此，本課程能有效促進學生由知識理解走向應用與評估，未來能加強引導支持，並逐步增加學生自主規劃與修正的空間，以深化學生系統思考與論證的能力。