

# 114 學年度海洋教育創新課程與教學研發基地研發課程模組

## (一) 基本資料

課程模組名稱 (總標題)	pH8.1 永續守護計畫	設計者姓名	黃勤展
			葉鈞喬
適用年級	高中組 <input checked="" type="checkbox"/> 一年級 <input type="checkbox"/> 二年級 <input type="checkbox"/> 三年級	融入領域 (或科目)	自然領域

## (二) 課程模組概述

課程模組名稱	大自然的無機碳匯及海水酸化認知實驗		
實施年級	高中一年級，30 人	節數	共 3 節， 150 分鐘。
課程類型 <sup>1</sup>	<input type="checkbox"/> 議題融入式課程 <input checked="" type="checkbox"/> 議題主題式課程 <input type="checkbox"/> 議題特色課程	課程實施時間	<input type="checkbox"/> 領域/科目：_____ <input type="checkbox"/> 校訂必修/選修 <input type="checkbox"/> 彈性學習課程/時間 <input checked="" type="checkbox"/> 其他：多元選修
課程設計理念	<p>學生能在操作中具體觀察並理解海水酸化的科學原理，提升對碳循環及酸鹼平衡的科學素養。透過探究與討論，培養批判性思維及跨域整合能力，並建立對環境永續的責任感與行動意識。最終達成「獲取知識、養成能力、轉化態度」三方面的整合學習成效。本課程以台灣在地海洋生態為核心情境，引導學生從實驗室觀察連結真實海洋，並透過課後評量深化學習。</p>		
總綱核心素養 <sup>2</sup>	A2 系統思考與解決問題、B1 符號運用與溝通表達		
與課程綱要的對應			
領域 / 學習重點	<p>核心素養</p> <p>自 S-U-A2 能從一系列的觀察、實驗中取得自然科學數據，並依據科學理論、數理演算公式等方法，進行比較與判斷科學資料於方法及程序上的合理性，進而以批判的論點來檢核資料的真實性與可信性，提出創新與前瞻的思維來解決問題。</p> <p>自 S-U-B1 能合理運用思考智能、製作圖表、使用資訊及數學運算等方法，有效整理自然科學資訊或數據，並能同時利用口語、影像、文字與圖案、繪圖或實物、科學名詞、數學公式、模型等或嘗試以新</p>	海洋教育議題	<p>核心素養</p> <p>海 A2 能思考與分析海洋的特性與影響，並採取行動有效合宜處理海洋生態與環境之問題。</p> <p>海 B1 能善用語文、數理、肢體與藝術等形式表達與溝通，增進與海洋的互動。</p>

	媒體形式，較廣面性的呈現相對嚴謹之探究過程、發現或成果。		
學習表現	<p>探究能力-思考智能 (t) 想像創造 (i) ti-Vc-1 能主動察覺生活中各種自然科學問題的成因，並能根據已知的科學知識提出解決問題的各種假設想法，進而以個人或團體方式設計創新的科學探索方式並得到成果。</p> <p>認識科學本質 (n) an-Vc-3 體認科學能幫助人類創造更好的生活條件，但並不能解決人類社會所有的問題，科技發展有時也會引起環境或倫理道德的議題。</p>	學習表現	海洋科學與技術：探討海洋環境變化與氣候變遷的相關性。
學習內容	<p>CJd-Vc-1 水可自解離產生 <math>H^+</math> 與 <math>OH^-</math>。</p> <p>CJd-Vc-2 根據阿瑞尼斯的酸鹼學說，物質溶於水中，可解離出 <math>H^+</math> 為酸；可解離出 <math>OH^-</math> 為鹼。</p> <p>CJd-Vc-3 <math>pH = -\log[H^+]</math>，此數值可代表水溶液的酸鹼程度。</p> <p>CJd-Vc-4 在水溶液中可幾乎 100% 解離的酸或鹼，稱為強酸或強鹼；反之則稱為弱酸或弱鹼。</p>	實質內涵	<p>海 U16 探討海洋生物資源管理策略與永續發展。</p> <p>海 U18 了解海洋環境汙染造成海洋生物與環境累積的後果，並提出因應對策。</p> <p>海 U19 了解全球的海洋環境問題，並熟悉或參與海洋保護行動。</p>
SDGs 永續發展目標	SDG 14 保育海洋生態：保育及永續利用海洋生態系，以確保生物多樣性並防止海洋環境劣化。		
學習目標	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透過實驗展示二氧化碳對溶液 pH 及碳酸鈣溶解度的影響。</li> <li>2. 學生能夠藉此理解海洋中鈣化生物的鈣化作用(無機碳匯)的概念。</li> <li>3. 學生能夠藉此了解海洋酸化現象(使碳酸根濃度下降)及其對海洋生態系統的影響。</li> <li>4. 學生能描述海洋酸化對台灣在地海洋生態的具體影響，並提出個人行動方案。</li> </ol>		
教學資源	<p>檸檬酸、小蘇打粉、石灰粉 酚酞指示劑 (pH8.2 變色；過去表層海水平均 pH=8.2，工業革命後降至 pH=8.1 以下) 石灰水 (海苔乾燥劑)、玻棒 二氧化碳發生器 (側枝玻璃試管及橡皮管) 二氧化碳收集器 (壓克力水槽、試管架及 2.5cm×15cm 試管及 7 號橡皮塞) 衛生紙、吸管、鉛筆、紙張 (用於記錄) 自製光度計 (塑膠籃、樂高積木、水平儀、照度計) 海水在不同 pH 影響的對照表</p> <p>海洋酸化時間軸海報 (1750 年→2024 年→2100 年)</p>		

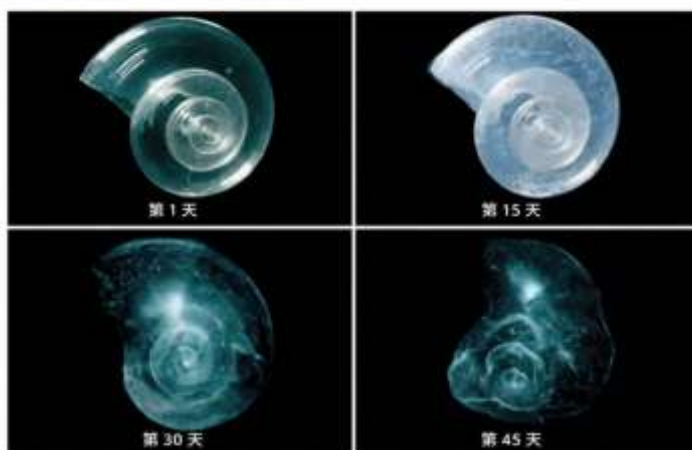
貝類殼體溶解案例照片

課後 Google 表單評量連結  
課後反思學習單

### (三) 課程模組課程設計

課程主題名稱：大自然的無機碳匯及海水酸化認知實驗		
學習活動	時間	備註（評量方式）
<p>課前準備：</p> <p>酚酞指示劑（pH8.2 變色；過去表層海水平均 pH=8.2，工業革命後降至 pH=8.1 以下）</p> <p>石灰水（海苔乾燥劑）、玻棒</p> <p>二氧化碳發生器（側枝玻璃試管及橡皮管）</p> <p>二氧化碳收集器（壓克力水槽、試管架及 2.5cm×15cm 試管及 7 號橡皮塞）</p> <p>衛生紙、吸管、鉛筆、紙張（用於記錄）</p> <p>自製光度計（塑膠籃、樂高積木、水平儀、照度計）</p> <p>海水在不同 pH 影響的對照表</p> <p>海洋酸化時間軸海報（1750 年→2024 年→2100 年）</p> <p>貝類殼體溶解案例照片</p> <p>課後 Google 表單評量連結</p> <p><b>第一節課：海洋酸化的科學機制與實驗準備</b></p> <p><b>第一階段：快速導入與核心概念</b></p> <p>主題(一)：海洋鈣化作用介紹：鈣化作用、生物體碳酸酐酶的功能。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 海洋中貝類、珊瑚、浮游生物利用碳酸鈣（CaCO<sub>3</sub>）形成骨骼、外殼的過程（鈣化作用）</li><li>2. 鈣化作用通常發生在 pH 8.4 到 7.8 之間的海水中；pH 越低則鈣化作用越慢</li><li>3. 生物碳酸酐酶的功能：協助 <math>\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-</math> 的催化反應</li></ol>	10 分鐘	<p>觀察與提問</p> <p>教師觀察學生對貝殼在海水酸化溶解案例的反應與初始概念，作為課程前測基準。</p>

## 貝殼在海水中溶解



(圖片來源: David Littschwager / 美國國家地理學會)

在超過 10 年的期間，NOAA (美國國家海洋暨大氣總署) 科學家收集了 72,000 個海水樣本，他們的數據顯示，由於氣候變遷，海洋正變得更加酸化。這種酸度的微小變化，就足以溶解像這種翼足類 (pteropod) 動物的殼。在實驗室中，牠的殼在高酸度的海水裡只需 45 天就會溶解。而在野外，翼足類的殼在南極海域已經開始溶解了。

圖片資料來源 [連結](#)

石滬文化是否可能因為海水酸化而消失：「新豐石滬是先民以卵石砌成的捕魚設施，仰賴鈣化生物(如藤壺、貝類)維持結構。

主題(二)：海洋酸化現象：影響碳酸鹽飽和度的因素、全球碳酸鹽飽和度分佈、生物骨骼中霏石與方解石的分佈。

1. 影響碳酸鹽飽和度 ( $\Omega$ ) 的因素：碳酸根濃度、 $\text{CO}_2$  濃度、溫度、壓力
2. 全球碳酸鹽飽和度分布：熱帶淺海  $\Omega$  高、深海  $\Omega$  低
3. 生物骨骼中霏石 (aragonite) 與方解石 (calcite) 的分布

### 第二階段：實驗原理與設計說明

一、實驗設計理念：

1. 為什麼使用石灰水 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 模擬鈣化作用 (6分鐘)
2. 酚酞指示劑的關鍵作用 (pH 8.2 變色點說明, 4分鐘)
  - 工業革命前海水的平均 pH 值
  - 碳酸鈣開始明顯溶解的臨界點
  - 海洋緩衝系統由強轉弱的轉折點

20 分鐘



### 3. 自製光度計的量化觀察原理（4分鐘）

#### 二、實驗步驟詳解：

利用石灰水觀察二氧化碳如何影響碳酸鈣的生成。

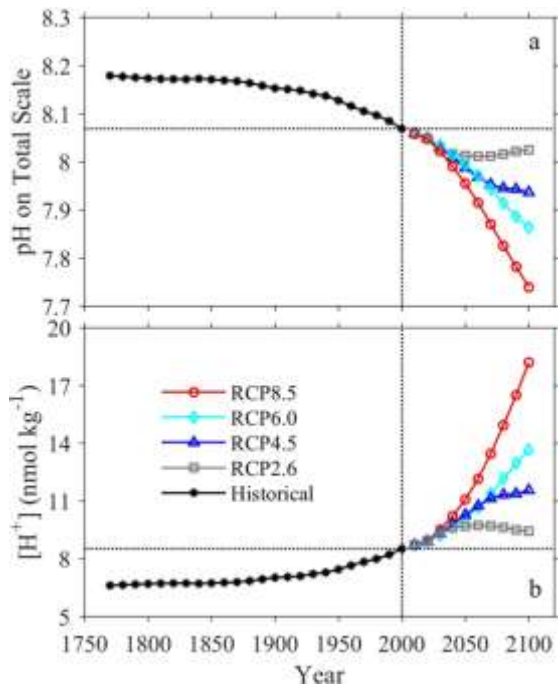
鈣化模擬： $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$  沉澱（2分鐘）

酸化觀察：過量 $\text{CO}_2$ 使酚酞褪色（2分鐘）

溶解現象： $\text{CaCO}_3$ 在酸性環境下溶解（2分鐘）

#### 三、海洋酸化時間軸介紹

- 1750年(工業革命前, pH 8.25) → 1950年(pH 8.15) → 2024年 (pH 8.1) → 2100年預測 (pH 7.80)
- 「pH只下降0.1,  $\text{H}^+$ 濃度卻增加26%, 相當於珊瑚生長速率下降10-15%」



### 全球表層海洋 pH 與海洋酸度的長期變化。

(a) 1770年至2100年間全球表層海洋總尺度 pH (pHT) 的年平均變化；

(b) 同期間海洋酸度 (氫離子活度, [H<sup>+</sup>]) 的變化趨勢。研究顯示，自工業革命以來海洋 pH 持續下降，而氫離子濃度持續增加，反映全球海洋酸化現象逐漸加劇。

資料出處：Jiang, L.-Q., Carter, B. R., Feely, R. A., Lauvset, S. K., & Olsen, A. (2019). Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future. *Scientific Reports*, 9, 18624.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-55039-4>

### 第三階段：實驗材料準備與操作練習

主題：動手準備與熟悉操作

活動內容：

1. 材料發放與檢查：各組領取並檢查實驗材料
2. 操作示範：教師示範關鍵步驟，影片說明 [連結](#)

- 石灰水調配與酚酞添加
- CO<sub>2</sub>通入的速度控制
- 光度計使用方法 (延長至 10-15 分鐘)
- 設置對照組：「無 CO<sub>2</sub>通入」與「持續通入 CO<sub>2</sub>」兩組對照

20 分鐘

操作評量

教師巡視各組，確認儀器組裝正確、對照組設置完成。

小組練習：學生練習基本操作

問題釐清：解答學生疑問，確保理解

30 分鐘

實驗記錄評量

評量項目：

- 實驗記錄表完整度
- 對照組與實驗組數據比較
- 透光度-時間曲線繪製

## 第二節課：實驗操作與成果分析

### 第四階段：分組實驗操作

主題：探索海洋酸化實驗

實驗流程：

#### 步驟一：鈣化作用模擬

準備飽和石灰水

加入酚酞指示劑（呈現紅色）

緩慢通入少量 CO<sub>2</sub>，觀察白色沉澱形成

記錄現象：「紅色→紅色混濁」（此時 pH 仍高於 8.2，酚酞未褪色）

#### 步驟二：持續酸化觀察（15 分鐘）

繼續通入 CO<sub>2</sub>，觀察顏色變化

放大 pH 7.8~8.3 區段變化：採用分段慢速通氣，每 30 秒至 2 分鐘記錄一次光度計數據

記錄酚酞褪色時點（pH<8.2）

觀察碳酸鈣沉澱開始溶解（酚酞完全褪色後）

使用自製光度計量化透光度變化

#### 步驟三：數據記錄與初步分析

填寫實驗觀察記錄表

小組內初步討論實驗現象

#### 步驟四：反覆評估儀器精準度與誤差

重複測量 5 次，計算變異係數 CV%

組間交換樣本互測，討論人為誤差來源

### 第五階段：數據整理與視覺化

主題：從數據看見海洋變化

數據處理：

1. 整理各組實驗數據
2. 計算平均值與趨勢
3. 製作簡易圖表
4. 標記 pH 8.2 褪色時刻與透光度急遽上升的對應關係

小組數據比較表

組別	酚酞褪色時 pH	透光度最大變化
----	----------	---------

12 分鐘

8 分鐘

數據分析評量

評量項目：

- 圖表製作正確性
- 小組數據比較討論品質
- 能否說明透光度急遽上升的原因

第 1 組				
第 2 組			8 分鐘	<p>口頭發表評量 各組 1 分鐘，評量說明 清晰度與海洋連結的 準確性。</p>
第 3 組				
第 4 組				
<p>5. 各組討論：哪組透光度變化最大？為什麼？ 6. 引導討論：「為什麼 pH 8.2→8.0 時透光度變化不大，但 pH 8.0→7.8 卻急遽上升？」 關鍵發現總結：pH 變化與碳酸鈣溶解的關係</p>				
<p><b>第三節課：實驗操作與成果分析</b></p>			20 分 鐘	<p>反思討論評量 評量項目： • 小組討論參與積 極度 • 發表時能否連結 實驗與真實海洋 • 個人行動計畫合 理性</p>
<p><b>第六階段：成果發表與延伸討論</b> 主題：從實驗室到真實海洋 活動內容： • 快速分享：各組 1 分鐘重點發表 • ★關鍵連結討論：實驗現象與真實海洋酸化的關聯（使用 對照圖海報）【強化】 • pH 8.2→8.1 看似微小（H<sup>+</sup>增加 26%）卻影響巨大：珊瑚生 長速率下降 10-15% (IPCC, 2014) IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.  • 對石滬生態的影響：藤壺、貝類鈣化速率降低，石滬結構 弱化 • 對台灣漁業的影響：牡蠣殼薄化、翼足類（pteropod）殼溶 解</p>				
<p><b>第七階段：小組反思討論</b> 主題：反思海洋酸化的成因與影響</p>			12 分 鐘 (課	<p>Google 表單評量（量 化） 反思學習單（質性） 評量面向：</p>

<p>★小組討論（三題擇一深入）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 為什麼海洋會酸化？（連結 CO<sub>2</sub> 排放、工業活動）</li> <li>• 海洋酸化對石滬生態有什麼影響？（石滬結構、生物多樣性）</li> <li>• 海洋酸化對台灣漁業有什麼影響？（牡蠣、文蛤等養殖產業）</li> </ul> <p>★情境推演：不同未來情境分組討論</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 樂觀情境（2040 年達淨零碳排）：pH 穩定在 8.05，部分珊瑚礁可恢復</li> <li>• 現狀延續：pH 降至 7.95，50% 珊瑚礁消失</li> <li>• 悲觀情境（持續高碳排）：pH 降至 7.80，90% 珊瑚礁死亡</li> </ul> <p>★小組發表：每組 1 分鐘</p> <p>★行動思考（個人行動計畫）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 初階：個人減碳行動（隨手關燈、減少塑膠）</li> <li>• 中階：影響他人（家庭減碳計畫、社群媒體倡議）</li> <li>• 進階：社會參與（淨灘、公民科學計畫）</li> </ul> <p><b>第八階段：課後評量</b> 主題：深化學習、確認理解</p> <p>★Google 表單線上評量（課堂內完成）</p> <p>內容包含：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 選擇題：海洋酸化原因（CO<sub>2</sub>→碳酸→H<sup>+</sup>→pH 下降）</li> <li>• 判讀題：pH 變化判讀（pH 8.2 的意義、酚酞變色點）</li> <li>• 分析題：生物影響分析（珊瑚、貝類、石滬生物的反應）</li> <li>• 解釋題：實驗結果解釋（透光度變化代表什麼？）</li> </ul> <p>★課後反思學習單（課後完成）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 今天最大的發現是什麼？</li> <li>• 海洋酸化會影響哪些生物？請舉台灣在地案例說明。</li> <li>• 如果你是石滬守護者，你會怎麼做？請提出三個具體行動。</li> <li>• （選填）你認為這門課可以如何改進？</li> </ul> <p><b>擴展活動</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 戶外學習或參觀水族館，觀察海洋生物如何應對 pH 變化。討論全球暖化對海洋酸化的長期影響</li> <li>• 生物實驗延伸活動（含倫理規範：禁止使用脊椎動物、頭足類；建議替代方案：影片觀察、碳酸鈣材料模擬）</li> <li>• 參與台灣海洋酸化監測公民科學計畫</li> </ul>	<p>堂) + 課 後</p> <p>彈性</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 科學概念理解</li> <li>• 海洋議題連結</li> <li>• 行動意識深度</li> </ul> <p>自主學習紀錄</p>
---	-----------------------------------	--

教學實踐、省思與建議	
課程模組實踐情形與成果	<p>教學省思： 執行成果：本實驗設備已執行 10 場以上教學，涵蓋從小學到高中學生共 8 場、教師研習 1 場、社會人士 2 場、國外學者參與研討會 2 場、海洋課程研發諮詢課程 1 場。</p> <p>教學實踐遇到之狀況：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 視覺判斷不易：pH 8.0-9.0 之間變化不夠明顯，學生容易錯過關鍵轉變。</li> <li>• <math>\text{CaCO}_3</math> 溶解不明顯：pH 8.2 以下仍看不出明顯溶解。</li> <li>• <math>\text{CO}_2</math> 通入速度控制困難：影響鈣化沉澱與溶解現象。</li> <li>• 石灰水濃度不一致：各組自製石灰水濃度差異大。</li> </ul>
課程模組省思與建議	<p>未來修正意見： 教學省思： 量化工具（自製光度計）是本課程的核心創新，將不可見的化學變化轉為客觀數據，顯著提升學生的科學素養。 pH 8.2「酚酞褪色時刻」是最佳的教學黃金時刻，切勿讓學生只機械式記錄數據而錯失意義轉化的契機。 增加實際案例後，學生對海洋酸化的危機感明顯提升。</p> <p>未來修正意見： 可製作「海洋酸化實驗教學套件包」，推廣至其他高中及海洋教育中心。 建議申請教育部、海洋委員會補助，提供免費或低價套件。 可製作大型展示裝置（10 公升透明容器），搭配投影機即時顯示數據，改善後排學生觀察困難的問題。</p>
附錄	
大自然的無機碳匯及海水酸化認知實驗模組課程設計 詳細教案請看檔案” 模組 2-大自然無機物碳匯及海水酸化實驗說明”	

#### (四) 評量規準

評量面向	優 (4 分)	良 (3 分)	可 (2 分)	待加強 (1 分)
實驗	操作正確、數據記錄	操作正確、記錄完	操作有小失誤，記	操作明顯錯誤，

操作	完整，能設置對照組並說明差異	整，但對照組說明不完整	錄部分缺漏	記錄不完整
數據分析	能正確繪製透光度曲線，清楚標示 pH 8.2 轉折點，並說明非線性關係	能繪製曲線並標示轉折點，但說明不夠完整	曲線繪製有誤，轉折點說明不清	無法完成數據分析
海洋議題連結	能具體說明實驗現象與石滬、貝類、珊瑚等台灣在地案例的關聯	能說明與海洋生物的關聯，但在地案例連結不完整	只能泛泛說明海洋酸化影響，無具體案例	無法連結實驗與海洋議題
反思發表	發表清晰，能提出有說服力的行動計畫，連結個人行為與海洋保護	發表清晰，行動計畫合理但缺乏深度連結	發表不夠清晰，行動計畫過於籠統	未能完成發表
課後評量	Google 表單得分 90% 以上，反思學習單有深度且具體	Google 表單得分 75-89%，反思學習單完整但不夠具體	Google 表單得分 60-74%，反思學習單部分完成	Google 表單得分低於 60%，反思學習單未完成

#### (五) 合作資源與專家諮詢建議單位

##### 學術研究機構：

- 中央研究院生物多樣性研究中心(專長：海洋生態、珊瑚礁研究；可諮詢：鈣化生物對酸化的反應機制)
- 國立中山大學海洋科學系(專長：海洋化學、酸化監測；可諮詢：pH 測量技術、數據分析)
- 國立臺灣海洋大學(專長：海洋生物、養殖技術；可諮詢：生物實驗設計與倫理規範)

##### 科普教育單位：

- 國立海洋生物博物館(資源：後場展示資源；可合作：不同時間水質透光量的影響)
- 臺灣海洋教育中心(資源：課程教材、教師研習；可合作：跨校交流、教案分享)

環境監測組織：

- 海洋公民科學計畫（資源：長期監測數據、公民科學平台；可合作：實地監測、數據分析）

## 課後反思學習單

### 大自然的無機碳匯及海水酸化認知實驗 — 課後反思學習單

姓名： \_ \_ \_ \_ \_ 班級： \_ \_ \_ \_ 日期： \_ \_ 年 \_ \_ 月 \_ \_ 日

1. 今天最大的發現是什麼？（請結合實驗觀察說明）

-----  
-----

2. 海洋酸化會影響哪些生物？請舉台灣在地案例說明。

-----  
-----

3. 如果你是石滬守護者，你會怎麼做？請提出三個具體行動。

- 行動一：
- 行動二：
- 行動三：

4. （選填）你認為這門課可以如何改進？