

探究二氧化碳氣體與水的作用-氣體溶解和逸散 與 pH 值變化

周金城

國立臺北教育大學自然科學教育學系

Email: ccchou62@tea.ntue.edu.tw

摘要：本文探討二氧化碳在水中的溶解與逸散過程，並透過實驗讓學生理解氣體溶解度、壓力與 pH 值變化的關聯。我們首先分析 108 課綱及三大版本國小自然科學教材對二氧化碳的介紹，發現各版本均涵蓋其性質、來源、檢測方法與應用，但對環境影響與固碳概念的深度有所不同。為了深化學生的理解，我們設計了探究實驗，讓學生在透明塑膠杯中加入純水與廣用指示劑，並透過吹氣、靜置與打氣筒等方式，觀察二氧化碳的溶解與逸散如何影響水的酸鹼值。結果顯示，二氧化碳溶解會降低 pH 值，而逸散則使 pH 值回升。為強化學生的探究能力，建議可以讓學生探討溫度變化、攪拌、氣體交換速率等因素對二氧化碳溶解度的影響，並與海洋酸化、湖泊水質變化及氣候變遷進行連結。透過這些活動，我們不僅幫助學生建立二氧化碳的科學概念，也讓他們思考如何減少碳排放，以減緩全球暖化。此外，本研究亦提供教師可行的教學策略，使科學探究更貼近生活，提升學生的環境素養與問題解決能力，並鼓勵他們在日常生活中實踐環保行動。

■ 前言

隨著全球暖化問題日益嚴重，提升國小學生對二氧化碳的相關知識已成為重要的教育課題。二氧化碳 (CO₂) 作為大氣成分之一，不僅在自然界的氣體循環中扮演關鍵角色，也與氣候變遷、環境污染及能源使用等議題密切相關。因此，如何在小學科學教育中深化學生對二氧化碳的認識，並幫助他們理解其性質、來源、檢測方式與環境影響，是值得探討的課題

根據 108 自然科學課程綱要 (第三學習階段)，學生需學習以下與二氧化碳相關的知識：

INa-III-4(4-1)：了解大氣主要氣體的組成，包括氮氣、氧氣、二氧化碳與水蒸氣。

INb-III-2(2-2)：透過助燃性不同，鑑別氧氣與二氧化碳。

INb-III-2(2-3)：透過澄清石灰水實驗，鑑別二氧化碳。

INd-III-1(1-2)：透過蠟燭燃燒實驗，認識氧氣與二氧化碳的製造與性質，並探討空氣對物質變化的影響。

INe-III-2(2-3)：透過實驗或影片觀察化學反應，如紙張燃燒產生二氧化碳、鐵生鏽、雙氧水與胡蘿蔔產生氧氣等，進一步理解化學變化形成新物質的概念。

然而，除了這些基本課綱內容，是否能透過更多簡單實驗，讓學生更深入理解二氧化碳的性質與環境影響，值得進一步探討。

我們整理了康軒版(王美芬，2024)、南一版(盧秀琴，2024)與翰林版(賴信志，2024)五年級自然科學課本中空氣相關單元中有關二氧化碳的內容。三個版本皆介紹了二氧化碳的基本性質、來源、檢測方法及應用，並強調二氧化碳是不助燃的氣體，可與氧氣的助燃性做區別。此外，教材皆提及澄清石灰水檢測法，說明二氧化碳能與氫氧化鈣反應，使澄清石灰水變混濁。雖然三個版本都提到植物透過光合作用吸收二氧化碳，但僅南一版明確提及「固碳」的概念，解釋植物如何固定二氧化碳以減少大氣中的含量。

在二氧化碳的來源部分，南一版與翰林版特別提到蠟燭燃燒後，廣口瓶內的二氧化碳濃度上升，使澄清石灰水變混濁，而康軒版與翰林版則皆提到酵母菌發酵可產生二氧化碳，使麵包蓬鬆。在環境影響方面，南一版與翰林版明確指出二氧化碳是溫室氣體，並說明過量排放可能導致全球暖化。整體而言，南一版對固碳與環境影響的討論最為完整，而翰林版則補充了二氧化碳在日常生活中的應用，如碳酸飲料與乾冰，使學生能加理解二氧化碳的影響與用途。

由於二氧化碳是主要的溫室氣體之一，因此學生應該進一步學習其來源、影響、應用及管理方式，以培養對環境變遷的理解，並思考如何減少碳排放。首先，二氧化碳的平衡是大氣環境中的重要議題。大氣中的二氧化碳來自自然過程(如火山噴發、生物呼吸、燃燒)及人為活動(如工業生產、交通排放)。透過學習二氧化碳的來源，學生可以更清楚人類活動如何影響環境，並思考如何減少額外的二氧化碳排放，以維持自然碳循環的平衡。

其次，學生應該認識二氧化碳對環境的影響。過量排放的二氧化碳會導致全球暖化，進而引發氣候變遷，如冰川融化、海平面上升與極端氣候。此外，二氧化碳溶解於水中可能會降低水的pH值，導致酸雨的形成，進一步影響生態環境。學生可以透過二氧化碳溶解於水的實驗，探討二氧化碳如何影響水體酸鹼值，模擬其對生態系統的影響。

除了環境影響，學生也應學習二氧化碳的應用與管理。在日常生活中，二氧化碳可應用於食品製造(如發酵過程產生氣體使麵包蓬鬆、碳酸飲料製造)，也可作為乾冰、滅火器的主要成分。此外，為了減少二氧化碳對環境的影響，現代科技發展出二氧化碳捕集與封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)，以及再生能源技術，如種樹減碳、使用太陽能、風能等環保能源，這些都是學生應該認識的環境保護策略。

為了讓學生更深入理解二氧化碳的性質與環境影響，教師可以設計更多探究實驗。例如，透過小蘇打與醋反應製造二氧化碳，並驗證其不助燃的特性，讓學生實際觀察氣體的產生與特性。此外，進行蠟燭燃燒與澄清石灰水變混濁實驗，幫助學生理解燃燒產生二氧化碳的過程。最後，可透過溶解度與氣體逸散實驗，觀察二氧化碳如何影響水的酸性，模擬海洋酸化的現象，讓學生更具體理解環境變遷的科學原理。

透過這些實驗與討論活動，學生不僅能強化對二氧化碳的理解，還能思考如何在日常生活中落實環保行動，如節能減碳、減少浪費、選擇低碳能源等，以實際行動減少二氧化碳的排放，為環境永續發展貢獻力量。

■ 認識生活中的二氧化碳溶解於水中的概念

二氧化碳在水中的溶解與逸散過程，與自然水域的酸鹼變化、水生生物的生存，甚至極端環境下的氣候災害息息相關。當二氧化碳溶入水中時，會與水分子結合形成碳酸 (H_2CO_3)，使水的 pH 值降低，導致水體酸化。然而，當水體受到攪動或氣體交換加快時，二氧化碳會從水中逸散，使水的 pH 值回升。這一現象不僅影響海洋與湖泊的水質，也與人類管理水生環境的方式息息相關。

在人工水域中，魚缸與池塘通常使用打氣機來維持水質與魚類的生態平衡。打氣機的作用在於攪動水體，促進氧氣溶解，防止水中氧氣不足而導致魚類窒息。同時，這種攪動也會加速氣體交換，幫助水體排出過量的二氧化碳，避免水質因二氧化碳累積而變酸。特別是在夜間，水生植物停止光合作用但仍會釋放二氧化碳，若無適當氣體交換，水質可能會變得過酸，影響魚類與其他水生生物的健康。因此，打氣機不僅能提供充足的氧氣，還能維持水體的酸鹼平衡。

然而，在某些極端環境下，二氧化碳的溶解與逸散可能會造成嚴重災害。例如，1986 年 8 月 21 日，非洲喀麥隆的尼奧斯湖突然釋放大量二氧化碳氣體，造成近 2000 人窒息死亡。這場災難的主因是湖泊的熱分層現象導致二氧化碳長期積累於深層水域，當湖水因強風吹拂或季風冷卻發生對流時，深層水快速上升至表層，壓力驟降導致水中的二氧化碳迅速逸散，形成高濃度的二氧化碳氣團，最終導致附近居民與動物因缺氧窒息。這一事件顯示出，環境變化對氣體溶解與逸散的影響，不僅影響水體生態，也可能對人類安全造成威脅 (Zumdahl & DeCoste, 2016, p. 716)。

透過溶解度與氣體逸散的探究實驗，學生可以進一步理解二氧化碳如何影響水的酸性，並模擬海洋酸化的過程。這些科學概念不僅能幫助學生理解水體化學變化的機制，也能引導他們思考如何減少二氧化碳排放，以降低對環境的影響。

■ 動手做觀察二氧化碳溶解於水中的實驗

我們設計簡單的實驗方法，幫助國小學生認識二氧化碳對水的作用性質。在透明塑膠杯中加入約 5-6 mL 的清水，建議使用瓶裝水，以確保初始水質接近中性。一般而言，自來水多為中性或微鹼性，但若發現水偏酸，可更換水源。接著，在水中滴入一滴廣用指示劑，觀察顏色變化。為了方便教師的教學使用，建議將指示劑分裝到滴瓶中使用。

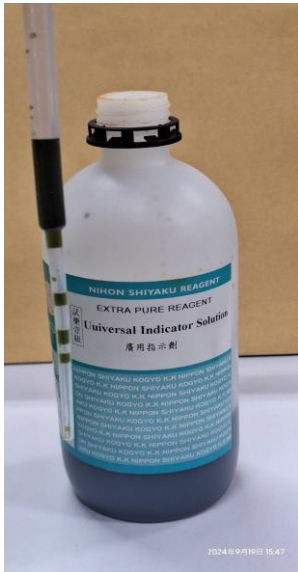


圖1 廣用指示劑



圖2 將指示劑分裝到滴瓶中

實驗開始前，加入廣用指示劑的純水應呈現藍色或綠色。接著，學生以嘴巴使用吸管對杯內的持續吹氣約 30 秒，使二氧化碳溶入水中，就可觀察溶液顏色變為黃色，顯示水的酸性增加。注意當水量增加，要讓溶液變色吹氣的時間也會變久。



圖3 吹氣前溶液呈現淡藍色



圖4 吹氣後溶液呈現淡黃色

塑膠杯中溶液顏色，可以使用廣用指示劑 pH1~11 的參考對照表，確認溶液的酸鹼性。對照酸鹼圖卡，我們知道溶液由偏鹼性轉變為偏酸性。也可以讓學生嘗試吹氣再久一點，觀察水溶液是否可以越吹越酸。當然，我們知道不可能再越吹越酸，因為水對二氧化碳的溶解量是有固定比例的，且是達到一個飽和平衡狀態。

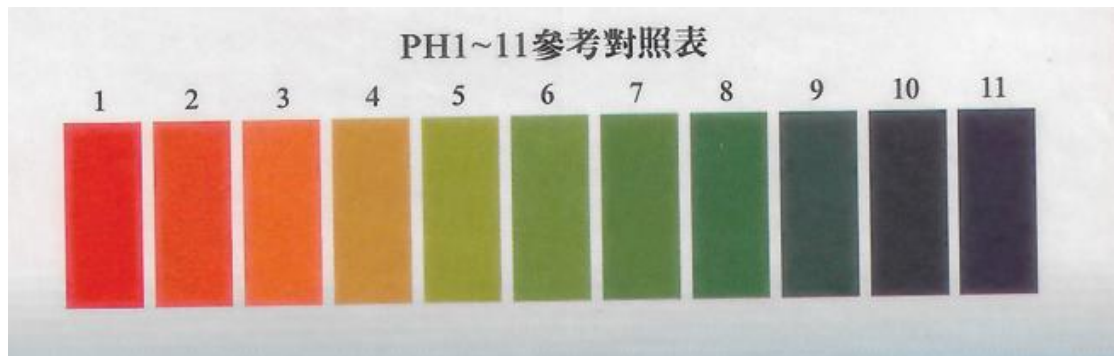


圖5 廣用指示劑的pH1~11的參考對照表

若實驗只做到溶解階段，學生可能會誤以為二氧化碳能夠永久溶解在水中，且不會再逸散。因此，教師應設計進一步的觀察，讓學生發現二氧化碳的逸散過程。可以將已變成黃色的水溶液靜置約一小時，此時水中的二氧化碳會逐漸逸散回空氣中，導致溶液酸性降低，顏色逐漸恢復至原本的藍色，顯示水的 pH 值回升至接近中性。

然而，由於等待一小時的時間較長，可能不利於課堂教學時間安排，因此可使用打氣筒對變成黃色的水溶液打入空氣，約 30 秒到 1 分鐘，即可觀察到溶液顏色逐漸由黃色變回藍色，說明二氧化碳從水中逸散。同時，教師也可設計對照組，讓學生對變成藍色的水溶液打氣，觀察其顏色是否發生變化，以確認打氣的影響主要來自二氧化碳的逸散，而非其他因素。

為了進一步探究影響二氧化碳溶解與逸散的因素，教師可設計更多變因操控的實驗，讓學生進行思考與操作。除了使用打氣筒，學生還可以探討其他物理或化學方式來影響二氧化碳的溶解度與逸散速率，例如：

1. 改變水溫：加熱或冷卻水，觀察水溫對二氧化碳溶解度的影響。
2. 攪拌或搖晃水體：增加氣體與水的接觸機會，加快二氧化碳的逸散。
3. 增加氣體接觸面積：將溶液倒入較寬口的容器，觀察是否會加速二氧化碳逸散。
4. 注入更多空氣：使用鼓風機或吹氣，模擬環境中氣體交換的影響。

透過這些探究活動，學生可以更清楚氣體在水中的溶解與逸散機制，進一步理解海洋酸

化與二氧化碳在環境中的動態變化，培養科學探究能力與環境保護意識。

■ 結語

透過動手做實驗，學生能夠觀察二氧化碳在水中的溶解與逸散過程，並理解氣體交換如何影響水體的酸鹼變化。當持續打氣時，空氣中的氣體與水體進行交換，使溶液中的二氧化碳逐漸逸散，而水中的碳酸 (H_2CO_3) 會解離回二氧化碳與水，進而降低氫離子 (H^+) 濃度，使水的 pH 值回升至接近中性。這個現象與碳酸平衡反應 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) 息息相關，與環境中的海洋酸化、湖泊水質變化有著相似的科學機制。

這項實驗不僅幫助學生理解二氧化碳的水溶性與逸散機制，還能促使他們思考人類活動如何影響大氣與水體的碳平衡。例如，海洋酸化現象正是因為工業排放導致大氣中的二氧化碳增加，使海水吸收更多二氧化碳，進而降低 pH 值，影響珊瑚礁與水生生物的生存。同時，這也可與酸雨的形成進行連結，讓學生進一步探討如何透過環保行動減少二氧化碳排放，保護地球環境。

透過這樣的探究活動，學生不僅能學習科學概念，還能培養觀察、變因控制與數據分析的能力，進一步訓練科學思維。這項實驗能讓學生從簡單的氣體溶解與逸散現象，延伸至全球環境議題，提升他們的環境素養與問題解決能力，並思考如何透過日常行動，如節能減碳、減少污染與保護水資源，為環境永續發展盡一份心力。

■ 參考文獻

王美芬主編(2024)。國民小學自然科學 5 上。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域。臺北市：教育部。

盧秀琴主編(2024)。國民小學自然科學 5 下。臺南市：南一書局。

賴信志主編(2024)。國民小學自然科學 5 下。台南市：翰林出版事業股份有限公司。

Zumdahl, S. S., & DeCoste, D. J. (2016). Principle of Chemistry. (8th) CA: Cengage Learning.