

應用水晶寶寶建構分子滲透之教學模型

謝甫宜

高雄陽明國中

lkksfe@gmail.com

摘要：本文探討以聚丙烯酸鹽高吸水性聚合物製成的「水晶寶寶」作為滲透作用教學媒材，旨在協助學生直觀理解不同溶液濃度對細胞體積的影響。傳統顯微鏡觀察植物細胞雖可呈現此概念，但操作複雜且觀察門檻高；本活動透過將水晶寶寶分別置於純水、未飽和及飽和食鹽水中，觀察其膨脹或收縮的變化，對應生物課本中高張、低張與等張溶液下動植物細胞的反應。文中詳述水晶寶寶的化學性質，包括聚丙烯酸鈉的三維網狀結構與親水性官能基如何促成其高吸水性，並說明實驗步驟、觀察結果與安全注意事項。結果顯示，純水中水晶寶寶膨脹，未飽和食鹽水中變化不大，飽和食鹽水中則明顯縮小，成功將抽象的滲透壓原理具體化。該教學不僅增進學生對細胞滲透現象的理解，亦能引導延伸探討其在食品加工、農業灌溉與醫療輸液等生活情境中的應用，提升科學素養與批判性思維。

■ 前言

自然課實驗中，在日常教學中，如何讓學生直觀地理解「滲透作用」與「溶液濃度對細胞體積的影響」，一直是自然科教師面臨的重要課題之一。過去多以顯微鏡觀察植物細胞浸泡於不同濃度溶液中體積變化為主，但操作門檻較高、觀察不易。本文提出一套簡便且具視覺效果的實驗活動：「培養水晶寶寶」，以市售的高吸水性聚合物聚丙烯酸鹽類——水晶寶寶為媒材，讓學生能清楚觀察在不同濃度溶液中其體積變化的過程，並進一步連結至日常生活中的泡水膨脹或醃製現象與相關應用，達到兼具趣味性與科學性的教學目標。

■ 活動情境科學概念、水晶寶寶化學性質

一、活動情境與科學概念

在自然課上，謝老師拿出標示著 A、B、C 共三個相同大小的透明玻璃罐，裡面裝著相同體積的透明液體，讓同學分別將十顆水晶寶寶投入三罐玻璃瓶，預測一段時間後這些水晶寶寶的變化。實驗結果發現，A 瓶內的水晶寶寶吸飽水分而飽滿透亮、B 瓶的水晶寶寶略顯乾癟、C 瓶則體積更小。謝老師環視全班後問道：「這些水晶寶寶為什麼在這三個玻璃瓶內體積差異這麼大？這三組玻璃瓶內可能各裝哪種溶液呢？」

經上述的實驗結果引出教科書陳述的核心概念：「不同濃度或不同性質的溶液對細胞體積的影響」。細胞的健康與其所處環境的滲透壓息息相關。滲透壓是指溶液的濃度決定水分子如何經細胞膜進出細胞。了解不同滲透情境對細胞的影響，對我們理解生命現象至關重

要。當細胞處於高張溶液時，即外界溶液的濃度高於細胞內部，水分子會大量從細胞內滲透到細胞外，導致動物細胞因脫水而皺縮，嚴重時會影響其功能甚至導致死亡；而植物細胞雖然有堅硬的細胞壁，但細胞膜會與細胞壁發生質壁分離，進而使植物枯萎。相反地，若細胞處於低張溶液中，外界溶液濃度低於細胞內部，水分子則會大量進入細胞內部，使得動物細胞因吸水過多而膨脹，甚至可能導致細胞膜破裂，例如紅血球在純水中會溶血。然而，植物細胞由於有堅韌的細胞壁保護，吸水後會變得飽滿堅實，形成膨壓，這對植物維持挺立非常重要。只有在等張溶液中，細胞內外溶質濃度相等，水分子進出細胞膜的速率大致平衡。相關概念及示意圖表整理如表 1 及圖 1。

在此情況下，動物細胞能維持正常的形態與功能，就像人體輸液使用的生理食鹽水。理解不同滲透壓情境對細胞的影響，是理解生物體如何適應環境、維持生命活動的基礎。藉由觀察水晶寶寶在不同滲透壓環境下的變化，學生能進一步理解生物課本中所描述的高張、低張與等張情形對細胞的實際影響，並將抽象概念具體化，有效提升學習動機與科學素養。

表 1 不同溶液類型相關科學概念關係表

溶液類型	外界溶液濃度	水分移動方向	細胞體積變化	比喻或觀察現象
高張溶液 Hypertonic	外界溶液濃度高於細胞內部	水分從細胞流出	細胞縮小 (皺縮)	水晶寶寶變小、葡萄變葡萄乾
低張溶液 Hypotonic	外界溶液濃度低於細胞內部	水分從外界流入細胞	細胞膨脹 (甚至破裂)	水晶寶寶變大、紅血球脹破 (溶血)
等張溶液 Isotonic	溶液濃度與細胞內部相等	水分進出達平衡	細胞體積不變	細胞正常狀態，水晶寶寶維持原狀

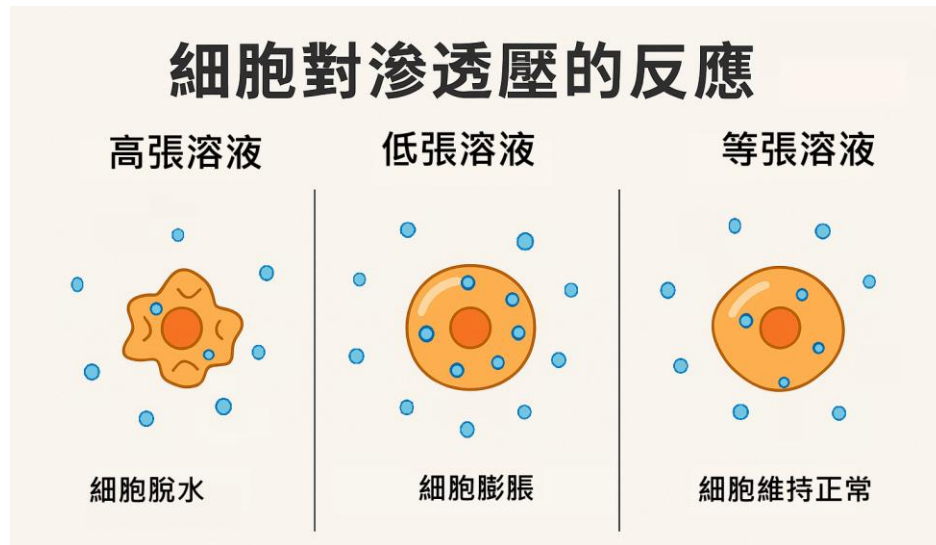


圖 1 細胞對不同濃度溶液反應示意圖

二、水晶寶寶的化學性質

水晶寶寶這種受歡迎的小玩具，主要成分是一種叫做聚丙烯酸鹽（通常是聚丙烯酸鈉）的高分子化合物。它屬於高吸水性聚合物 (Superabsorbent Polymer, SAP) 的範疇，這類材料在日常生活中也廣泛應用於尿布、女性生理用品等。

聚丙烯酸鹽之所以能吸收大量水分並膨脹，關鍵在於其特殊的化學結構。它由許多丙烯酸單元聚合而成的長鏈分子，這些長鏈之間會藉由交聯作用形成一個三維的網狀結構。此網狀結構中，含有大量的親水性官能基（如羧基），這些基團對水分子具有很強的吸引力。聚丙烯酸鈉是一種高分子聚合物，其化學式可以寫作：



其中：

- $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{COONa})-$ 代表聚合物鏈中的一個重複單元。
- COONa 是丙烯酸鈉的羧酸鈉基團，這是吸水的關鍵。
- n 表示這個重複單元在聚合物鏈中重複了非常多次，通常是一個很大的數字。

當水晶寶寶接觸到水時，水分子會透過滲透作用進入其網狀結構中。親水性官能基會與水分子形成氫鍵，將水分子牢牢地束縛在聚合物的內部。同時，由於聚合物內部溶質濃度相對較高，根據滲透壓原理，水會持續被吸入，導致聚合物鏈段向外擴張，使整個水晶寶寶膨脹數十甚至數百倍於其原始體積，變成柔軟、富有彈性的透明凝膠狀。這種獨特的吸水能力和膨脹特性，使得聚丙烯酸鹽成為製作水晶寶寶的理想材料，讓它們能吸收大量水分並保持

其形態，帶來視覺和觸覺上的趣味（周芳妃，2015）。

■ 實驗器材與操作說明

一、材料

市售水晶寶寶固體顆粒、水、保特瓶、鹽。

二、實驗步驟

實驗步驟 1、將水晶寶寶放入水中七天,按時觀察水晶寶寶變化的歷程，如圖 2 所示；

實驗步驟 2、將水晶寶寶分為三批,其一繼續留於水中作為對照組；

實驗步驟 3、另兩批分別置於未飽和食鹽水與飽和食鹽水之中,再浸泡約一天。

實驗步驟 4、隔日再與班上的同學觀察三組水晶寶寶的體積變化情形。

三、實習結果及科學概念

經過實驗步驟的操作與觀察後，可以明顯發現三組水晶寶寶在不同液體中的體積變化有所不同：

- **對照組（純水中）**：水晶寶寶體積保持飽滿，呈現透亮圓潤的外觀。
- **未飽和食鹽水組**：水晶寶寶的體積略為縮小，但仍保有一定程度的膨脹。
- **飽和食鹽水組**：水晶寶寶顯著縮小，表面皺縮，顏色變得較混濁不透光。

這個現象可以用生物學中「滲透作用 (Osmosis)」的概念來解釋。水晶寶寶由吸水性高分子材料組成，類似細胞內部含有大量水分的結構。當這些材料置於不同濃度的溶液中，水分會根據濃度梯度由低濃度向高濃度移動，這與細胞在不同滲透壓環境中的表現一致，對照課本中細胞在**高滲、低滲與等滲溶液**中的狀態，有助於學生從具體實物理解抽象的生物學概念。

- **純水（低滲環境）**：水分進入水晶寶寶，使其膨脹。
- **未飽和食鹽水（近等滲環境）**：水分進出趨於平衡，體積變化較小。
- **飽和食鹽水（高滲環境）**：水分由水晶寶寶流出至溶液中，導致體積縮小。

四、實驗注意事項

1. **水晶寶寶的膨脹需時**：水晶寶寶需完整浸泡至少數天才能達到充分吸水狀態，否則實驗結果會不明顯。

2. 溶液濃度需準確控制：飽和食鹽水可用加鹽至無法溶解為準；未飽和食鹽水則可依一定比例（如 5%）配置，確保結果對比明顯。
3. 避免容器混用：三組水晶寶寶請分別使用乾淨的容器，以免交叉污染影響觀察結果。
4. 觀察需定時紀錄：建議設計觀察記錄表，紀錄水晶寶寶體積、顏色與透明度的變化。
5. 安全操作與回收：水晶寶寶不可沖入排水孔，應集中回收處理，避免造成水管阻塞。
6. 避免吞食，防範誤食風險：水晶寶寶（超吸水性聚合物）一旦被兒童誤食，可能因腸道內繼續吸水膨脹導致腸阻塞等急性醫療問題。因此，進行實驗時應提醒學生水晶寶寶「僅供觀察，嚴禁吞食」，尤其低年級學童應在成人監督下操作，確保安全無虞。

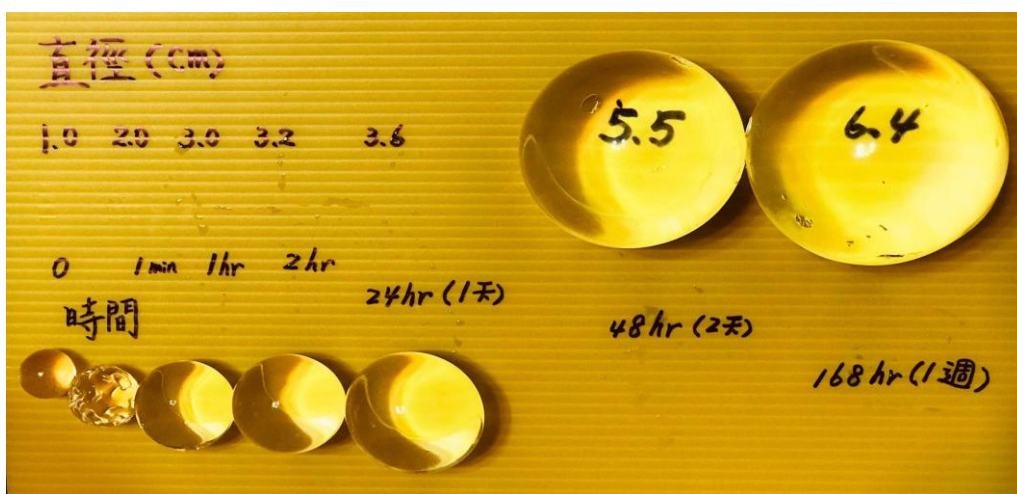


圖 2 水晶寶寶在水中的體積變化歷程

本文以水晶寶寶作為滲透現象的教學模型，不僅讓學生直觀地理解了抽象的滲透作用與溶液濃度對細胞體積的影響，更將課本知識與生活經驗緊密連結。透過觀察水晶寶寶在不同濃度溶液中膨脹或收縮的現象，學生能清楚地將高張、低張、等張溶液的概念具體化。藉由引導式的提問及實驗的安排，讓學生進行實作並思考為何相同的水晶寶寶卻展現出不同的外形變化，取代傳統使用圖示或動畫的方式，可以提供學生對於科學現象的更直接的感受，讓學生親身體驗科學的樂趣。未來，教師可進一步引導學生討論滲透壓在日常生活中的應用，如食品的醃製保鮮、農作物灌溉原理、醫學上的點滴輸注等，使學生認識到科學與生活的緊密聯繫，培養他們的科學素養與批判性思維。

■ 參考資料

周芳妃 (2015)。彩幻珠實驗—認識高吸水性聚合物。科學研習月刊，54(12)，31–38。

<https://www.ntsec.gov.tw/article/detail.aspx?a=5316>