

# 利用仿生綠色溶劑設計化學實驗組合

鍾宜璋<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 國立高雄大學化學工程及材料工程學系、<sup>2</sup> 國立高雄大學健康及仿生科技研究中心  
E-Mail: ycchung@nuk.edu.tw

## 一、前言

目前中學科學課堂的教學，往往重記憶與筆試，實驗體驗不足，學生往往從一開始就被繁瑣的公式計算和考試導向的練習壓得喘不過氣，對科學的好奇心與創造力逐漸消磨。108 課綱雖強調探究與實作，但許多教師苦於沒有明確方向，難以在課堂中落實真正的探究活動。這樣教育的結果，使學生總是追求唯一的「標準答案」，而缺少主動探索與提出問題的機會。面對這樣的困境，我們高雄大學團隊在數年前開始提出仿生概念設計實驗，試圖增加實驗教育的教育性和趣味性，並聚焦在「綠色仿生」觀念的推廣。我們團隊在 2024、2025 年連續在台北科教館舉辦的臺灣科學節活動中，攤位上大排長龍。學生和家長們親眼見證了平凡的蛋殼經過處理搖身一變，成為能在光线下殺菌並分解染料的奈米光觸媒；更看到幾種常見天然物質混合後，就變身成一種神奇的綠色溶劑，甚至可以協助溶解塑膠！現場從孩童、父母到長者都興趣盎然，小朋友更踴躍親自動手體驗，短短三天展期吸引了約 600 人次參與實驗，準備的 600 份材料包全部用罄，可見此創新教學主題的巨大魅力。這場熱鬧的科學嘉年華不只是瞬逝的煙火，我們團隊將仿生綠色溶劑的理念帶進中學課堂，開發系列實驗課程與教材，讓學生以九宮格問出問題，培養創客精神，親手將看似平淡無奇的素材轉化為環保新材料，在做中學體驗「化學是創造之學」的奧義。

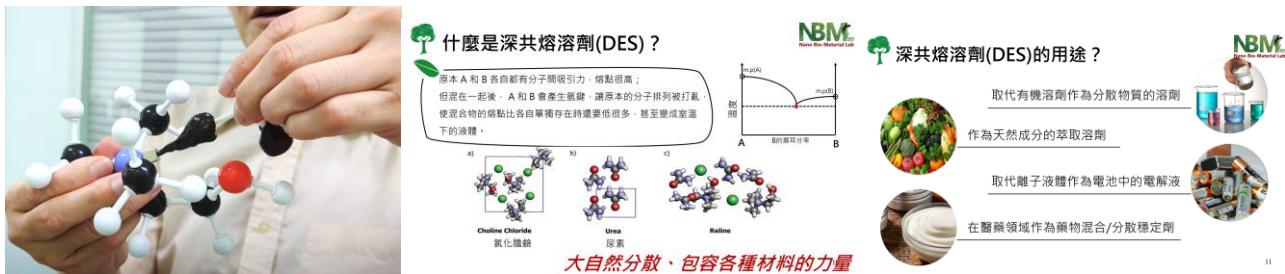


圖一、台灣科學節上的體驗實驗和聽講綠色仿生演示的人潮

## 二、深共熔溶劑：氫鍵之海的奧秘

所謂深共熔溶劑 (Deep Eutectic Solvent, 簡稱 DES)，是一種由兩種或兩種以上化合物所構成的特殊溶劑。當正確的組合配對時，這些物質彼此透過氫鍵等分子間作用力形成緊密網絡，能大幅降低混合物的共熔點，彷彿形成一片“氫鍵之海”將原本的固體結晶結構沖散，使其在遠低於各自熔點的溫度下融為液態。結果，就是誕生出許多室溫下呈液態的新型溶劑。DES 的製備常常非常簡單，例如將天然胺基酸、有機酸、醣類或維生素等作為氫鍵提供者 (HBD) 與氯化膽鹼這類氫鍵受體 (HBA) 以特定莫耳比混合加熱，即可得到透明液體。這些液體具備如離子液體般的優點，卻更加環保低毒、原料廉價易得，可說是「類水而比水用途更廣」的綠色溶劑。值得注意的是，「仿生」二字點出了 DES 與大自然的巧妙聯結。科學家發現，

生物體內許多物質混合物本質上就是天然的深共熔系統 (Natural DES)。例如植物細胞中的有機酸和糖類形成的高濃度汁液、蜂蜜中高濃度的糖類與水，共同構成穩定的液態環境，能在不耗費大量能量的情況下溶解和保存各種養分。這些天然液態組合透過氫鍵和離子作用力彼此吸引，打破單一純物質的晶體結構，呈現低揮發性且可與水互溶的特性。換言之，大自然早已利用「氫鍵之海」的原理，發展出能與環境相容、有效率又溫和的物質混合方式。仿生綠色溶劑正是從這些天然智慧中得到啟發，以生物體常見的分子為素材來設計人造溶劑，達成與生物環境友善相容的目的。



圖二、筆者利用分子組裝結構，從基本作用力上解釋分子間作用力，闡述其中造成 DES 配對的成因及 DES 的應用。

### 三、設計綠色溶劑的化學應用實驗

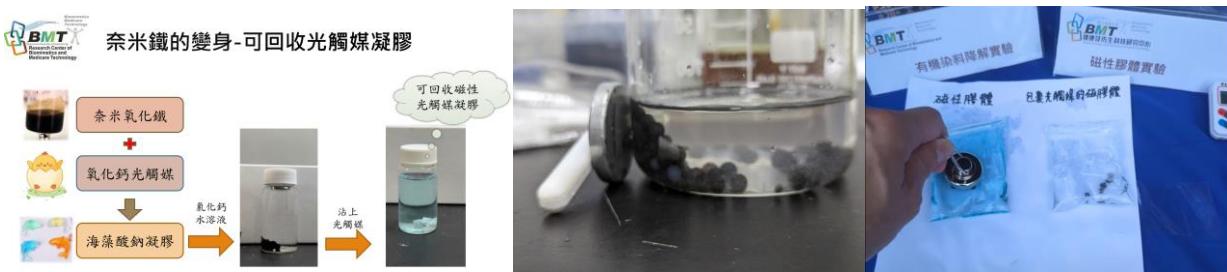
我們設計製作磁性 DES 材料，包括磁奈米粒子、磁流體、磁凝膠等，還有導電 DES 材料的設計優化，朝向手作、探究等方向發展，開發出新穎有趣又具有教育意義的實驗，具有組合性和序列性：

1. **利用 DES 原理製備磁流體：**奈米氧化鐵是親水性的，難以直接分散在油相中。為使其在油相中穩定存在，添加界面活性劑進行包裹是常用的方法。界面活性劑具有親水端和親油端，親水端會吸附在奈米氧化鐵表面，而親油端朝向外部。這樣奈米氧化鐵顆粒的表面被一層親油性的界面活性劑包裹，從而改變其表面特性，使其由親水性變為親油性。包覆後的奈米氧化鐵能夠與油相形成良好相容性，實現穩定分散，避免顆粒聚集和沉降。界面活性劑的濃度需要適當，以確保良好的包覆效果和分散穩定性。



圖三、學生參預實驗修正，並提出改進策略，經過數次修正製程和比例，終於可以製作受到磁場刺激而產生尖刺狀聚集的磁性流體；右圖為學生家長的實作體驗

2. **製作磁性凝膠：**將分散好的奈米粒子用蒸餾水以及酒精洗淨，並放置真空乾燥去除殘留水分，將氧化鐵粉末加入礦物油溶解即可得到油性磁流體；若加入海藻酸鈉溶液可再製成水性磁性膠體。將海藻酸鈉與氯化鈣分別加入蒸餾水當中，取少量的奈米氧化鐵加入海藻酸鈉溶液當中，並充分攪拌。使用刮勺或湯匙輔助，將顆粒丟入氯化鈣溶液，並使用強力磁鐵檢測磁性。



圖四、磁性凝膠的製作流程，體驗磁性凝膠受到磁場吸引的滾動；應用在包裹光觸媒的載體上，可以作為可回收的光觸媒，用來分解水中染料，並且可以重複利用。

3. **DES 導電墨水製作**：利用廚房少用或過期的食物，如果糖和甘油，按照固定比例添加之後，再倒入奈米碳管，可以得到良好的分散。我們讓學生塗在紙上，當成墨水，以吹風機吹乾後，體會 LED 燈泡發亮的導電特性，讓同學學習到綠色仿生的概念、導電的機制，和未來在軟性電子上的應用。



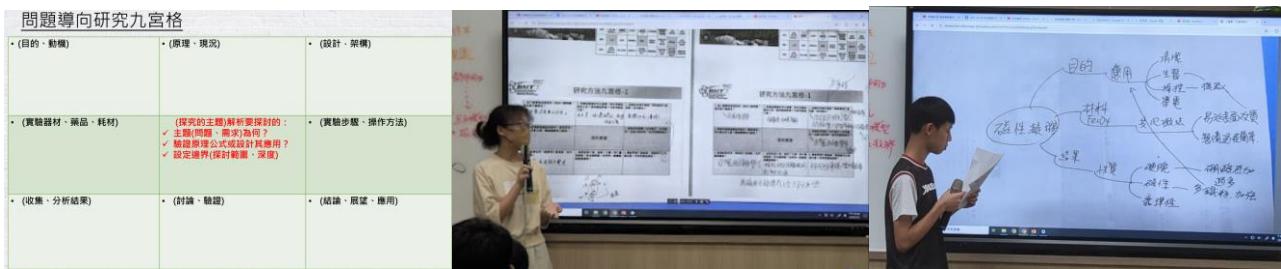
圖五、將果糖和甘油混合製作成導電墨水的步驟說明，並讓同學體會墨水乾燥後的導電性

#### 四、實驗成果和特色

這個實驗計畫的設計成果及特色如下：

1. **以「探究實驗引導學習」概念設計教材架構**：本計畫在國高中教育推廣實驗學習的學習理論依據及作法，主要圍繞在獨創的「實驗探究引導學習法」。這個方法的設計是為了因應 108 課綱中強調的「探究與實作」精神。有別於傳統僅依循實驗手冊進行「食譜式實驗」來「驗證」已知知識的做法，實驗探究引導學習法旨在引導學生主動求知，從被動輸入轉為主動輸出。它綜合探究研究的提示和近年來強調的 maker (自造者) 精神，鼓勵學生手作自造實驗工具。我們實踐的方法是從需求問題或問題情境出發，這些問題盡量源於學生自身的生活經驗或感興趣的事物，藉此激發學生的學習興趣和探究慾望，目標是幫助學生能夠產生「具有探究性」的科學問題。
2. **以「第一性原理思維」為思維框架**：引入第一性原理思維的基本運用方法--一種從原理本質出發，一步步向前推演，尋找適合問題解決方法。在本計畫中，由於氫鍵和離子引力等分子間作用力的解釋，有許多化學結構上的預測和猜想，我們都藉由文獻探討中，找到基本原理，並利用 3D 繪圖軟體和分子模型，對學生進行解釋。與追本溯源或問題學習法不同，第一性原理思維不只聚焦於解決已發現的問題，更能從本質出發探索新的可能性，可能帶來顛覆式創新。
3. **引入探究實作九宮格和心智圖學習法**：本計畫獨創九宮格到曼陀羅的學習方法，用於協助學生提出 7W3H (why, what, who, which, where, when, whom, how, how much, how many) 的問題，避免只問是非題。練習寫下自己的問題，並導向實驗設計，把千言萬語、千絲萬縷、千萬思緒，做成九宮格和心智圖，使問題聚焦和簡化，由申論題變成

填充題，再由填充題變成選擇題。這能幫助學生將龐大的研究清單切成可掌控的大分類，拆出細項，並逐步動手執行最棘手的項目。



圖六、九宮格學習法中的問題導向九宮格設計模板，和學生填寫後在活動中進行報告。

## 延伸學習

人文與社會科學簡訊，12月(27卷1期)從蛋殼到綠色仿生：廚餘創新科技與教育實踐之旅