

# 綠色仿生—仿生概念+綠色化學的跨領域實驗教育

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

近年來，「仿生」的概念已經在各個生活層面逐漸發展，並被採用以改善現有的工程技術。仿生學(Biomimicry)的起點，是從大自然 38 億年的試誤與演化中學習，最初重點是著重在形態層次的模仿 (form-based emulation)，例如模仿翠鳥鳥喙的流線形態設計高速列車，或模仿鬼針草的鈎-毛黏附性而發明魔鬼氈等。然而，隨著工業化帶來的化學物質污染日益嚴重，全球面臨慢性疾病危機，以及碳排放造成氣候異常、淨零排碳成為國際共識，仿生專家逐漸思考，僅僅停留在形態模仿的層面，已不足以解決根本問題。問題的核心應是在於化學設計的源頭，傳統化學界在設計新材料時，往往忽略毒理學或環境危害機制，導致產品具有毒性或難以分解。這種環境的壓力迫使科學界和教育界必須轉向與環境親和的思維。因此，轉捩點發生在將仿生學推向更深入的層次--從宏觀的形態模仿，轉向微觀層次和化學層面的仿生。

筆者團隊在這幾年致力推廣「綠色仿生概念」，旨在將仿生學與「綠色化學」(Green Chemistry) 結合，我們發現兩者竟有許多雷同之處，後者更強調在設計階段就預測和避免環境危害。在這個文章中，我們將分享 2 個網路上大師級的演講，第一個是被稱為綠色化學之父的 John Warner 博士，他是一位化學家、教育家、和企業家，以綠色化學領域的創始人之一所為人著稱，目前為華納-巴布科克綠色化學研究所(Warner-Babcock Institute for Green Chemistry)的聯合創始人、總裁兼首席技術官，並同時身為超越良性(Beyond Benign)組織的聯合創始人兼總裁。<sup>1</sup> 另一段影片為 Molliann Jones 在 TEDx 活動中的演講，她擁有化學學士和生物擬態碩士學位，致力於永續設計，保護大自然的野生景觀。她遵循「生活友善化學」設計的原則，並將仿生學與綠色化學教育作為她的職涯支柱。<sup>2</sup>

綠色仿生學的核心在於模仿大自然如何以生命友善的化學 (Life Friendly Chemistry) 進行運作，例如自然界能在室溫、常壓和以水為溶劑的環境下，合成出高效的分子。<sup>2</sup> 研究者藉此發展出「分子層次的仿生學」，例如研究非共價衍生化 (Non-Covalent Derivatization, NCD)，學習分子間如何相互作用。<sup>3</sup> 我們整理學者對綠色化學的定義，再與仿生科技的概念進行交集，整理出如圖一的 8 項策略，作為設計綠色仿生技術和教育推廣的參考。<sup>4</sup>

影片一：智慧生態學：綠色化學與仿生學 (Intellectual Ecology: Green Chemistry and Biomimicry | John Warner)<sup>3</sup> 本影片由綠色化學與材料設計專家 John Warner 主講，其核心理念與本計畫提倡的「綠色仿生科技」有高度共鳴，尤其強調從化學設計的源頭減少毒性與環境危害。Warner 博士指出，現今社會面臨慢性疾病危機，部分原因在於有毒化學品的使用，而解決之道在於創新的設計思維。他創立的綠色化學框架，包含 12 項原則，旨在讓科學家在設計階段就預測環境危害。這與本計畫的綠色仿生 8 大策略中的「減少污染和毒性」高度



圖一、綠色仿生 8 大策略<sup>4</sup>

吻合。他特別介紹 NCD 的概念，稱其為分子層次的仿生學。人類工業界往往使用高溫、高壓和有害試劑來合成複雜分子，但大自然卻能在室溫、常壓和以水為溶劑的環境下，表現出卓越的性能。NCD 的思想是學習分子間如何相互作用，這直接呼應我們致力推廣的仿生理念：學習自然界 38 億年的演化，並加以去蕪存菁的模仿。



圖二、綠色化學之父 John Warner 的演講<sup>3</sup>

此外，Warner 博士強調化學教育的嚴重缺失--化學家在學術生涯中，往往沒有接受毒理學或環境機制的課程訓練。這凸顯我們推動綠色仿生教育的急迫性與重要性，目標是灌注對地球更相容的工程觀念和原理，並將仿生與綠色、奈米概念結合。在本期特輯中，我們會介紹高雄大學團隊透過研究深共熔溶劑(deep eutectic solvents)分子間作用力(如氫鍵和離子吸引力)如何創造出低毒性、高效率的綠色材料，以實踐仿生和綠色化學的精神。也會看到屏東大學團隊結合綠色化學理念與現代教學需求，以微型化概念導入化學教學，創造一滴水的分析平台。

影片二：大自然的化學：唯一的真正希望 (Nature's Chemistry: The Only Real Hope | Molliann Jones | TEDxISU) Molliann Jones 在影片中提倡以大自然作為藍圖，將其成功、永續的化學設計轉化為現代解決方案。<sup>2</sup>她指出，若要實現真正的永續發展，我們需要將仿生學創新推向微觀層次 (micro scale) 的化學設計。解決這個挑戰的關鍵在於跨領域合作，且應該讓生物化學家參與每一個設計環節，並使科學與商業之間的合作成為常態。Jones 倡議在設計中

採用仿生學的「生命原則」之一：使用生命友善的化學。這與本計畫將綠色仿生科技作為核心理念的發展方向一致。她強調，設計師應將生化學家、仿生學家和毒理學家帶入設計環節，以彌合科學與商業之間的差距，這體現了我們科教實作學門中強調的跨領域學習與整合的精神。本期特輯就介紹了中興大學團隊應用微觀層次的仿生，創造出如沙漠甲蟲體表的微結構，可以捕捉霧水，在缺水地區獲取乾淨水資源。也可以看到彰師大團隊設計生物分子層級的DNA學習教具—電泳平台，可大幅促進學生的探究學習。

Jones 舉例說明了化學仿生在永續發展上的成功應用，具體體現多項綠色仿生策略：

1. Grow Oyster Reefs (生長牡蠣礁)：模仿天然牡蠣殼，促進生物多樣性，並具有二氧化碳捕捉的應用研究，屬於資源與永續發展的概念範疇。
2. Spintex (蜘蛛絲生產)：模仿蜘蛛絲的生物化學製程，在室溫下完成，水是唯一的副產品，效率比相似塑膠纖維高出一千倍。這完美契合綠色仿生策略中的「使用水或綠色溶劑當介質」和「增加能源效益」。
3. Sudo (TameIt 催化劑)：模仿過氧化物酶(peroxidase enzyme)來氧化病原體和有毒化學物質，其催化劑可生物降解，體現綠色仿生策略的「設計可分解產物」和「減少污染和毒性」目標。



圖三、Molliann Jones 的 TED 演講<sup>2</sup>

本新知介紹的兩部影片，印證世界推動的新潮流--綠色仿生科技的時代重要性，並支持其在減少毒性、提高能源效率、以及促進跨領域化學創新等核心策略上的發展。

#### 參考資料

- (1) 綜合規劃組. 綠色化學整合專區. 綜合規劃組. <https://topic.moenv.gov.tw/greenchem/cp-592-10086-cb4a2-1.html> (accessed 2025-12-02).
- (2) *Nature's Chemistry: The Only Real Hope* | Molliann Jones | TEDxISU; 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=WP4170RC6zQ> (accessed 2025-12-02).
- (3) *Intellectual Ecology: Green Chemistry and Biomimicry* | Bioneers; 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=yotD6zRemsM> (accessed 2025-12-02).
- (4) 鍾宜璋等, 113 年度科教實作計畫成果簡述, 國立高雄大學, 2024; 綜合規劃組. 綠色化學整合專區. 綜合規劃組. <https://topic.moenv.gov.tw/greenchem/cp-302-8060-e6081-1.html> (accessed 2023-12-31).