

從蛋殼到綠色仿生： 廚餘創新科技與教育實踐之旅

鍾宜璋*

一、引言：蛋殼的意外新生

每天早餐後，被丟進垃圾桶的蛋殼，難道只能成為廢棄物嗎？近年來，科學家和教育工作者正從這些平凡的廚餘中發掘不凡的價值。一種結合生物靈感與環保精神的理念——「綠色仿生」——正在興起，它強調向大自然取經，同時關注永續發展。我們熟悉的仿生（Biomimicry）指的是模仿生物的構造或機制來創新，例如發明飛機是模仿鳥類、創造不會殘膠的膠帶是學習自壁虎腳趾上的纖毛。而所謂綠色仿生則是更進一步，結合綠色化學，和仿生學的各项原則，竟然有許多雷同之處，我們整理學者對綠色化學的定義，¹再與仿生科技的概念進行交集，整理出 8 項策略，作為設計綠色仿生技術和教育推廣的參考（如圖一）。綠色仿生的概念，強調友善環境，不僅模仿自然，更運用天然材料與永續方法來解決問題。換言之，綠色仿生強調的是循環再利用、生態永續的創新策略。從材料選擇到製程設計，都講求節能高效、無毒無害，甚至產品壽命終了後還能被分解或再利用，如圖所示，每個設計都體現出對環境的友善。

綠色仿生的理念似乎聽起來只是理想？但它其實離我們日常生活並不遙遠。以雞蛋殼為例，全球每天都有數以萬計的蛋殼被當作垃圾丟棄，不但滋生異味和害蟲，也是一種資源浪費。²然而，蛋殼主要成分是碳酸鈣（ CaCO_3 ），這是一種用途廣泛的天然材料。如果我們能善加利用，雞蛋殼也可以搖身一變成爲各種高價值材料。本文將從技術創新和教育實踐兩方面，帶領讀者了解蛋殼

* 國立高雄大學化學工程及材料工程學系特聘教授

¹ 環境部化學物質管理署綜合規劃組（2023）。綠色化學定義及原則：<https://topic.moe.gov.tw/greenchem/cp-302-8060-e6081-1.html>。

² Adaikalam, K., Hussain, S., Anbu, P., Rajaram, A., Sivanesan, I., & Kim, H.-S. (2024). Eco-Friendly Facile Conversion of Waste Eggshells into CaO Nanoparticles for Environmental Applications. *Nanomaterials*, 14 (20), 1620. <https://doi.org/10.3390/nano14201620>



圖一：綠色仿生8大策略

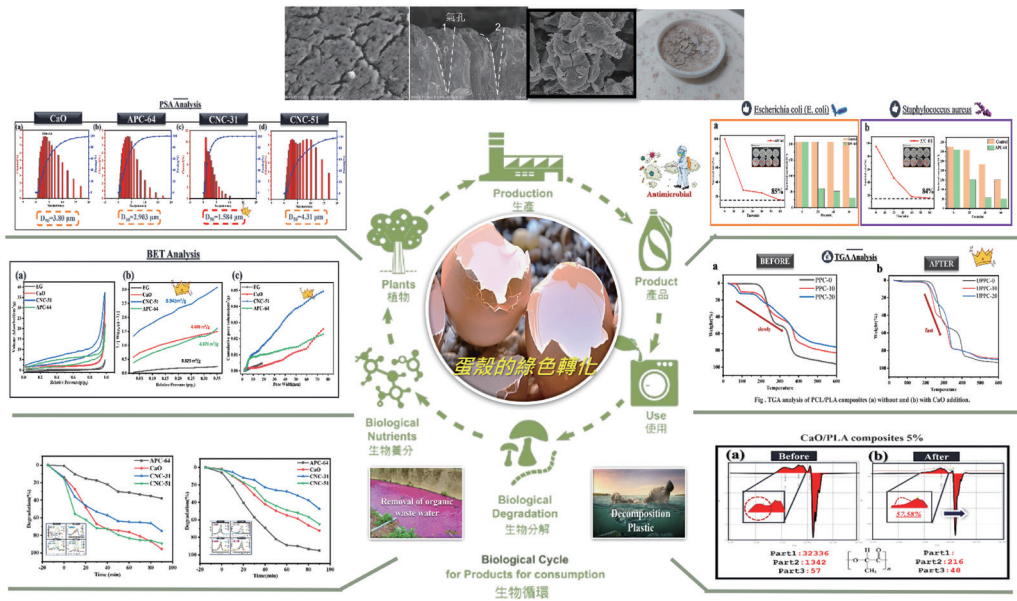
這類廚房廢棄物在綠色仿生領域的多面向應用，以及這些概念如何走進國高中課堂，啟發年輕世代投入永續科學的探究之中。

二、技術應用與創新：蛋殼變身高值化材料

傳統上，將蛋殼這類生物廢棄物轉化為有用材料，往往需要長時間的高溫爐燒、強酸強鹼等繁複工序，不僅耗能且產生汙染。運用綠色仿生的原則，我們找到一種省能高效的方案：微波加熱技術。就是利用我們平常熱菜用的家用微波爐，透過設計特殊的集熱裝置，成功在 20 分鐘左右讓溫度飆升至 1200°C 以上！這種微波法加熱快速且能源利用率高，能使材料均勻受熱，相較傳統電爐更加節能。^{3,4}

³ 鍾宜璋 (2024)。國科會補助專題研究計畫成果報告「開發綠色仿生探究實驗套件進行食物廢棄物——蛋殼與咖啡渣的再生和高值化應用研究」。

⁴ 大愛新聞 (2025)。廢蛋殼轉化抗菌材料節能永續新技術，<https://www.youtube.com/watch?v=4YIZE34ZIE0>。



圖二：利用蛋殼的綠色轉化，可以做到許多污染物的減除、具有殺菌功能，甚至可以分解塑膠⁵

三、環保光觸媒：污染物的剋星

利用微波處理後，蛋殼搖身一變產生出氧化鈣（CaO）。⁶ 這些來自廢棄蛋殼的材料有何魔力？首先值得一提的是它們在環保光觸媒方面的應用。所謂光觸媒，是指能在光線照射下加速化學反應、分解有害物質的催化劑。最廣為人知的光觸媒材料是二氧化鈦（TiO₂），但奈米級的氧化鈣其實也具有類似效用，但成本更低。研究指出，由蛋殼製得的氧化鈣奈米粒子在光照下可有效降解染料等水中有機污染物。例如，常被用來測試的亞甲基藍染料溶液，在添加蛋殼衍生光觸媒後，其顏色會隨著有機分子被分解而迅速淡去，顯示水體獲得淨化⁷。由於蛋殼來源取之不盡且近乎免費，這種由廢棄物變身而成的光觸媒可說是便宜又有效。想像未來的廢水處理廠或是居家濾水設備，都有機會用上這類綠色光觸媒，將原本難解的汙染問題變得迎刃而解。

⁵ 陳皓群（2024）。《從廢棄蛋殼快速微波合成 CaO 為基底的光催化劑及其複合應用》，高雄：國立高雄大學化學工程及材料工程學系碩士論文。

⁶ 參考註解 3，鍾宜璋（2024）。

⁷ 劉發勇（2008）。蛋殼氧化鈣粉、其製備方法及應用，中國發明專利 CN101209112B。

四、塑膠剋星：催化分解與永續循環

除了淨水，我們發現蛋殼衍生材料在塑膠廢棄物的處理上也展現潛力。塑膠難分解一直是環境難題，但 CaO 光催化劑可協助將某些長鏈的高分子裂解成小分子，達到加速分解或資源回收的目的。⁸ 例如，在處理 PET（寶特瓶原料）等常見塑膠時，氧化鈣粉末可作為酯鍵裂解反應的異相催化劑，顯著降低反應所需能量，使用微波爐即可使塑膠分子更容易被切斷。^{9,10} 使用廢蛋殼製成的 CaO 催化劑進行 PET 解聚（乙二醇解），可將使用過的塑膠重新轉化為化工原料。這意味著，我們或許能將回收來的廢塑膠，加上一撮蛋殼催化粉，在微波的溫和條件下「煮」回它的單體或其他有用材料，達成資源循環再利用。由廢蛋殼助攻塑膠解體，不僅降低處理成本，也減少對石油原料的依賴，一舉兩得。未來這項技術若進一步成熟，或許能應用在塑膠回收工廠中，讓難以分解的塑膠垃圾變成有價值的二次原料，減輕環境塑膠汙染。

五、醫療抗菌：從蛋殼中取得生命守護材料

令人驚喜的是，小小蛋殼在醫療領域也大有可為。其中一個方向是製備抗菌材料，以降低感染風險。比如說，蛋殼經高溫處理得到的氧化鈣粉末就被證明對大腸桿菌等病菌有強力的抑制效果。¹¹ 這種源自天然的無機抗菌劑具備廣譜殺菌能力，且不易產生抗藥性。但是，單純的氧化鈣粉容易溶在水中形成強鹼，對人接觸也不好。我們進一步衍生的過氧化鈣粉，可以緩慢釋放過氧化氫，也就是如同我們用來殺菌的雙氧水，可以長效殺菌。此外，煨燒蛋殼粉還能搖身一變成為生醫陶瓷，殺完菌之後又回到碳酸鈣，可與身體內外的環境融合。有趣的是，從環境淨化到醫療防護，廢蛋殼衍生的新材料正在各個領域展現出驚人的高值化應用潛力。

⁸ 參考註解 5，陳皓群 (2024)。

⁹ Chen-Yu Li (李宸宇), Chien-Yeh Tseng (曾建燁), Han-Chuan Chen (陳漢荃), Chao-Wei Guo-Liang (郭梁朝威), Chih-Chi Chen (陳祉綦), and Yi-Chang Chung (鍾宜璋). (2025). A New Route Using Natural Deep Eutectic Solvents and Microwave Treatment for PET Degradation. In 2025 綠點子國際發明暨設計競賽。

¹⁰ Yunita, I., Putisompon, S., Chumkaeo, P., Poonsawat, T., & Somsook, E. (2019). Effective Catalysts Derived from Waste Ostrich Eggshells for Glycolysis of Post-Consumer PET Bottles. *Chem. Pap.*, 73 (6), 1547-1560. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00710-3>

¹¹ 參考註解 7，劉發勇 (2008)。

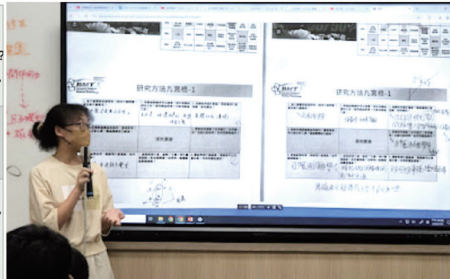
六、仿生概念走進校園：探究與實作的新篇章

從廚房廢棄物，延伸到各種減廢應用，如何讓下一代也參與其中、甚至青出於藍？我們正在推動綠色仿生教學的革新。臺灣自 108 課綱實施以來，強調「探究與實作」的精神，鼓勵學生從做中學、跨領域學習。綠色仿生這一主題，正好契合新課綱的核心理念，它結合了生物、化學、環境科學和工程等知識，又與永續發展議題緊密相關，具有高度的素養導向意義。我們與許多學校合作，將仿生概念引入國高中自然科實驗課程，帶領學生從日常觀察出發，思考自然界的智慧如何應用在生活中。

七、探究九宮格+心智圖：教學利器大揭密

為了讓學生在校園中能夠實際體驗前述蛋殼轉化的神奇，我們開發出一系列，創新研發「探究實驗九宮格」的教學策略，來引導學生思考與發想。所謂九宮格，是一種創意思考工具：在井字形的九個格子中，中央填入要解決的「問題」(注意，我們鼓勵問出有價值的問題，因為現在的網路和 AI 可以找到許多可能的答案)，周圍八個格子則開放學生腦力激盪，填入相關的因素、方法、變因或創意點子。以蛋殼光觸媒實驗為例，老師會先請學生在中心格寫下「如何將蛋殼變成有用的材料？」然後圍繞它從不同角度提出想法，例如可能的步驟(清洗、加熱)、需要的設備(微波爐、溫度計)、預期的應用(淨水、降解塑膠)、安全考量等。這種九宮格發想過程培養了學生全面思考與計畫實驗的能力，也使整個探究過程更有條理。搭配九宮格的是同時引入心智圖進行問題關聯，並透過協力創作團體的學習模式，即讓學生分組合作，每組猶如一個小小研發團隊。小組成員各司其職，有的負責資料蒐集、有的動手操作實驗、有的記錄觀察數據，大家為共同的探究目標集思廣益。這種協作式學習不僅增進了學生的溝通與團隊合作能力，也激發出更多創新的點子。

<p>• (目的、動機)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 為什麼要做這個研究？ ✓ 解決什麼問題？ ✓ 現在有什麼需要改進的？ ✓ 哪些有趣但還很少人探討的？ ✓ 哪裡需要解決，但還沒什麼人去做？ 	<p>• (原理、現況)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 有哪些關鍵字可以搜尋？ ✓ 現行有哪些解決方法？ ✓ 現行作法上有什麼優缺點？ ✓ 研究上要應用哪些學理？ ✓ 可參考哪些文獻、資料？ 	<p>• (設計、架構)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 想要如何設計實驗？ ✓ 實驗架構是什麼？ ✓ 預期會遇到什麼困難？如何解決？ ✓ 有符合目的動機嗎？ ✓ 根據研究成果，可定時滾動修正？
<p>• (實驗器材、藥品、耗材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 實驗用到那些藥品和器材？ ✓ 要對哪裡買？多少預算？ ✓ 用什麼分析工具？ ✓ 哪些需要自己組裝？哪些借用？ 	<p>(探究的主題)解析要探討的：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 主題(問題、需求)為何？ ✓ 驗證原理公式或設計其應用？ ✓ 設定邊界(探討範圍、深度) 	<p>• (實驗步驟、操作方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 實驗步驟分成哪些部分？ ✓ 如何進行分配、協調？ ✓ 如何設計實驗來證明？ ✓ 怎麼分配時間進行？
<p>• (收集、分析結果)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 實驗結果如何？ ✓ 觀察到什麼現象？ ✓ 利用五官體驗到什麼？ ✓ 可以得到量化數據嗎？ ✓ 如何整理分析數據？ ✓ 如何呈現圖表(示意、動畫、影片)? 	<p>• (討論、驗證)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 結果說明什麼？證明了什麼？ ✓ 需要重複實驗驗證嗎？ ✓ 結果有什麼新發現嗎？ ✓ 推論符合邏輯嗎？ ✓ 有公式或原理可以用嗎？ ✓ 如何用一套機制或圖表說明？ 	<p>(結論、展望、應用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 歸納得到什麼結論？ ✓ 比較其它產品或研究，有新穎性？有進步性？ ✓ 實驗還可以怎樣改善？ ✓ 研究還有什麼擴展性？跨領域？ ✓ 未來有那些應用或展望？



圖三：左圖為問題導向九宮格示範例子，右圖為學生針對實驗引入九宮格，對其他學員報告

八、從生活觀察到動手實作：激發科學興趣

綠色仿生教育的一大魅力，在於它具體而生動地連結了課本知識與真實世界。以蛋殼光觸媒探究活動為例，老師會先引導學生回想家裡廚餘的處理，討論蛋殼對環境可能造成的問題，以及是否有更好的解決辦法。學生們帶著問題動手實作時，往往興奮不已：平日不起眼的蛋殼粉末，在他們手中經微波加熱後，居然變成了可以分解汙染的材料！高年級的學生動手製備光觸媒，而低年級的學生則可參與後續的光觸媒效能測試。大家一起設計實驗將蛋殼光觸媒添加到染料溶液中，觀察水色的變化速度；或者將其混入可生物塑膠，看塑膠碎片在光照下是否加速降解。整個過程充滿探索的樂趣，學生在做中學、從錯誤中調整，逐步體會科學研究的思考路徑。更重要的是，親眼見證廢棄物變黃金的轉化，讓環境永續的概念深植學生心中。他們開始明白：原來科學可以這麼貼近生活，而自己也能動手創造改變。

從廚房蛋殼中發掘寶藏的故事，正是綠色仿生魅力的縮影。展望未來，綠色仿生的發展需要更多元的跨領域合作。材料科學家、環境工程師、生物學家可以聯手研發新技術，讓更多廢棄生物資源獲得永續利用；設計師和產品經理則能將這些技術融入日常產品，創造既環保又實用的商品；教育工作者繼續扮演推廣者的角色，將最新的綠色科技轉化為適合各年齡層的學習素材。想像一下，在未來的智慧城市中，汙水處理廠利用仿生觸媒淨水，垃圾回收中心用生物廢料催化塑膠裂解，醫院採用生物材料製成的抗菌塗層保護病患——這些跨領域結合的場景，都是綠色仿生可能帶來的願景。