綠色化學教育的發展與推廣：以國小高年級綠色化學營隊為例

盧志良[1]、黃琴扉[2]

國立高雄師範大學博士生[1] 國立高雄師範大學教授[2]

綠色化學（green chemistry）強調從源頭降低化學品對環境與健康之危害，並透過十二項基本原則促進永續性的化學產品與製程。近年臺灣環境部與教育部積極推動綠色化學教育，透過教材開發、師資培訓與科普活動提升全民永續素養。本文以環境部化學物質管理署辦理 114-115 年綠色化學多元教育推廣計畫案所執行之「114 年綠色化學小學營隊」為案例，探討國小高年級綠色化學課程之設計理念及其教學實踐。結果顯示，以生活情境導向、科學探究取向與安全管理為核心的課程架構，有助提升學生的環境意識與科學思考能力。本文提出綠色化學教材設計原則與國小科學教育可持續推動之建議，期盼為未來綠色化學教學研究與課程發展提供參考。

前言

綠色化學被視為推動永續科技的重要發展方向，其核心概念在於「污染預防優於後端治理」(Anastas & Warner, 1998)。1990 年代以來，美國環境保護署（Environmental Protection Agency, EPA）透過綠色化學挑戰獎推動產學合作(United States Environmental Protection Agency, n.d.)；歐盟則以 REACH 法規（The Regulation on the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals, REACH）提升化學品管理安全標準(European Commission, 2006)。臺灣亦由環境部與教育部推動跨層級之綠色化學教育，包括課程模組、教案開發與產業合作等，這些努力都是臺灣為了永續發展教育所執行的努力（教育部，2023）。在環境部化學物質管理署辦理 114-115 年綠色化學多元教育推廣計畫案的支持下，本文作者承辦了「114 年綠色化學小學營隊」，在營隊辦理的過程中不但要著重綠色化學的核心精神，也要在科學教育領域帶給學生探究實作的學習經驗。

所謂的探究實作是 108 課綱中自然科學領域的必修課程，旨在讓學生透過動手操作，實際進行科學探究活動，培養獨立思考、解決問題的能力指，透過探究式活動，學生能理解化學與環境之交互作用，進而培養科學素養與責任行動力。國小階段尤適合以具象化、情境化與動手做方式引介綠色化學，使學生從日常生活中建構永續意識。

綠色化學理念與生活連結

綠色化學的十二項原則涵蓋原料選擇、安全性、原子經濟、能源效率、可再生資源等層面（American Chemical Society, 2025; Anastas & Warner, 1998）。此理念已廣泛影響生活科技與產業，例如天然清潔劑、生物可降解材料、環保染劑與綠能應用等。

在生活教育層面，綠色化學強調全民皆可實踐永續，而非僅為科學家或政府的責任。例如選擇環保清潔用品、減少化學染色、落實垃圾減量等，均是個人層級可執行的綠化行動。因此，將綠色化學融入學校科學教育具有明顯必要性。

國小高年級學習者特性

依皮亞傑（Piaget）認知發展理論，國小高年級學生處於具體運思階段末期，已具備基本邏輯推理能力，能透過具體操作推導概念並形成初步因果推論(Robert E. Slavin, 2021)。因此綠色化學課程宜具備以下特徵：

1. **具體操作性**：使用天然或安全材料（如沙石、竹炭、植物色素）。
2. **生活情境化**：從食物顏色、家庭用水、垃圾分類等議題出發。
3. **探究流程完整性**：鼓勵學生提出假設、驗證、觀察與反思。
4. **跨領域整合性**：納入藝術、工程與生活科技活動（如天然染布、濾水器設計）。

114 年綠色化學小學營隊課程設計理念

（一）生活情境導向

課程以學生熟悉的生活問題切入，如「清潔劑是否會汙染環境？」、「食物色素是否安全？」、「衣服上的顏色會不會影響我的健康？」、「河川水為何不能直接飲用？」、「我能做些什麼事來保護環境？」等問題，引導學生將綠色化學視為生活議題，而非抽象理論。

（二）探究式學習融入

所有活動均依循基本探究流程：

表 1

探究式學習融入步驟說明

步驟	引導學生進行	舉例
1	提出問題	為什麼？　是否會？
2	假設、推論	我覺得會…　可能是…
3	操作實驗	動手做　五感觀察
4	觀察與紀錄	繪製表格、圖表
5	結論	我發現…

註：資料為作者整理。

搭配學習單協助學生整理想法，提高學習成效。

（三）安全性與廢棄物管理

基於國小科學教育安全標準，課程選用低毒性、可自然分解材料，強調：

1. 個人防護具使用
2. 實驗材料減量原則
3. 廢棄物分類與適當處理
4. 實驗安全規範與緊急應變流程

（四）課程模組示例

課程一：什麼是綠色化學？

本課程從媒體報導的環境污染案例出發，引導學生反思化學使用的利弊，進而理解綠色化學十二項原則的核心精神。透過檢視日常用品（購物袋、清潔劑、餐具）的材料來源，學生能辨識化學產品對環境的潛在影響。

表 2 為教學流程設計：依步驟完成教學，建立學生知識架構。

表 2

課程模組教學步驟說明

步驟	課程導引	對應內容
1	情境導入	地球怎麼了(新聞媒體常見環境汙染報導)
2	發生什麼問題？	為何會有污染？汙染了什麼？
3	對生活有什麼影響？	影響那些環境生態、影響人類什麼？
4	政府如何應對？	制定政策及推動綠色化學
5	我們可以做些什是事？	實踐綠色化學 12 項原則內容

圖 1

（左）情境導入上課情形，（右）教導綠色化學 12 項原則

圖 2

上課簡報示意圖

課程二：生活中的顏色與天然染料

活動包含辨識天然與化學色素、說明植物色素對健康之影響，並進行「敲敲染」DIY。學生觀察天然色素的特性後，再比較化學染料的固色、能耗與廢水等環境成本，進一步理解綠色材料的重要性。

教學流程設計：依步驟完成教學，建立學生知識架構（表 2）。

表 2

生活中的顏色與天然染料課程引導執行步驟

步驟	課程導引	對應內容
1	情境導入	沒有顏色的世界將會如何?
2	探索環境中的顏色	每組小朋友隨機分配顏色，在周邊環境中尋找該顏色並提出。
3	顏色可能有什麼含意？	紅燈與綠燈、芒果黃了、鮮豔的毛毛蟲、藍天與灰暗的天空各代表什麼含意呢?
4	天然色素還是化學合成？	蔬菜水果與人造物上的顏色有何不同？
5	天然的尚好嗎？	食物的天然色素(葉綠素、胡蘿蔔素、茄紅素、花青素)對人體的好處，對應化學染劑對人體的壞處。

6	植物敲敲染動手做活動	從環境中容易取的的無毒植物(腎蕨、咸豐草…)以簡單器材將綠色素拓印至布料，對應化學染劑需要有溶劑、固色劑，產生揮發氣體，電加熱耗能及產生有毒氣體。

圖 3
引導學生說出「沒有顏色的世界將會如何?」上課情形

圖 4
探索天然色素與化學合成染料上課情形

圖 5
植物敲染動手做

圖 6
植物敲染動手做成果

植物葉子敲染活動與綠色化學 12 項原則的連結

1. 原則 1：預防污染（Prevention）
   敲染活動主要使用天然葉片與布料，不需化學染劑，可減少化學污染與後續廢液的產生。

2. 原則 3：設計低危害化學合成方法（Less Hazardous Chemical Syntheses）
   此活動完全不需有毒或危險化學物質，染色來源為植物色素，對學童與環境更安全。

3. 原則 7：使用可再生原料（Use of Renewable Feedstocks）
   葉片來自可再生植物資源，可由庭院、校園或社區環境取得，具有永續性。

4. 原則 10：設計以降解為目標（Design for Degradation）

敲染後的葉子與剩餘植物碎屑均可自然分解，無危害性副產品。成品染色來自植物天然色素，若未添加化學固色劑，染料能自然降解，不造成環境負擔。

5. 原則 12：使用安全的化學製程（Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention）

活動中的工具、安全風險低，不涉及加熱、高壓與化學反應，對小學生或一般民眾較安全。

本活動所使用之工具安全性高，整體安全風險低，過程中不涉及加熱、高壓或化學反應，僅透過輕微敲擊的物理力量，將植物的汁液與色素轉移至布料上，對小學生及一般民眾而言相對安全。若欲以安全且便利的方式加強敲染作品的固色效果，可於敲染前先將布料依適當比例浸泡於鹽水中，晾乾後再行使用，藉此說明安全、簡單的化學處理原理。

課程三：環保淨水模擬器

課程內容包括水污染成因、水循環模型、自來水廠處理流程，以及濾水器操作。學生透過竹炭、砂石層製作濾水器，實際觀察雜質去除效果，並討論濾後水為何不可直接飲用。教師補充混凝、沉澱、過濾與消毒（如氯消毒、臭氧處理）等淨水科技，使學生建立完整概念。

水汙染是人類活動造成、並對環境與健康帶來重大衝擊的問題。當我們試圖修復環境並重新利用水資源時，往往需付出更高的成本。本活動以「乾淨的水」為起點，探討水如何因工業、農業與家庭廢水而受汙染，尤其化學汙染的處理最為困難。了解自來水廠必須經過一連串處理流程，水才能再次被安全使用。課程結合綠色化學十二項原則，說明如何從源頭減少化學物質對水體的汙染，以降低淨水成本並提升用水安全。

課程內容涵蓋水汙染成因、水循環模型、自來水處理流程與濾水器操作。學生以竹炭與砂石層製作簡易濾水器，實際觀察雜質去除效果，並討論濾後水不可直接飲用的原因。教師進一步介紹混凝、沉澱、過濾與消毒（如氯消毒、臭氧處理）等淨水技術，協助學生建立完整的水資源保護與利用概念。

教學流程設計：依步驟完成教學，建立學生知識架構（表 4）。

表 4

環保淨水模擬器課程課程引導步驟

步驟	課程導引	對應內容
1	水的一生	認識自然界的水循環(蒸發、降雨、小溪、大河..)
2	哪裡的水乾淨？	從上游純淨、中游的汙染到下游變色的水。
3	多喝水真的沒事嗎？	認識水的硬度、pH 值、水汙染對人體的影響。
4	把「水」洗乾淨了！	認識自來水廠淨水處理過程。
5	動手做簡易濾水器	認識物理過濾原理
6	自製濾水器安全嗎？	過濾後的水可以喝嗎?想想看哪些汙染物無法用物理方式過濾？

圖 7

認識水的 PH 值上課情形

圖 8

認識自來水廠淨水過程上課情形。

圖 9

環保淨水器製作。

圖 10

環保淨水器驗證濾水效果。

環保濾水器 DIY 活動對應綠色化學 12 原則

1. 原則 1：預防廢棄物（Prevention）
   使用回收寶特瓶與再利用材料製作濾水器，減少新的廢棄物產生。

2. 原則 3：設計低危害化學合成方法（Less Hazardous Chemical Syntheses）
   整個活動皆採用砂石、布、木炭等天然材料，不需化學藥品，降低對環境與人體的危害。

3. 原則 4：設計更安全的化學品（Designing Safer Chemicals）
以安全無毒的材料示範過濾原理，避免使用任何可能造成污染或風險的物質。

4. 原則 5：更安全的溶劑與助劑（Safer Solvents and Auxiliaries）
濾水過程完全不使用溶劑或化學助劑（如凝聚劑、氯等），符合環保與安全概念。

5. 原則 6：節能設計（Design for Energy Efficiency）
濾水器利用重力原理運作，不需電力或加熱，屬於低能耗操作。

6. 原則 7：使用再生原料（Use of Renewable Feedstocks）
木炭、砂石、布料、咖啡渣等都是天然或可再生資源，活動推動對再生材料的認識。

7. 原則 10：設計以降解為目標（Design for Degradation）
砂石、木炭等天然材料可自然分解，不會造成長期污染。

（五）綠色化學教育推廣建議

1. 開發生活化教材

教材內容可從日常情境出發，如食品安全的添加物辨識、節水技巧、減塑替代方案與環境友善清潔劑製作，協助學生理解化學如何改善生活問題，並提升其解決環境議題的能力。

2. 強化教師專業成長

透過辦理安全管理、探究式實驗設計與永續議題導入的專業研習，增進教師對綠色化學原則的掌握。也可建立示範教材與教案共備相關群組，使教師在教學策略與課程規畫相互交流學習。

3. 建置學生永續態度評量

可採用新環境典範（New Environmental Paradigm, NEP）量表（Dunlap et al., 2000）評估學生環境態度。掌握學生在生態關懷、永續意識與行動意願上的改變，並可搭配前後測、質性回饋與學習歷程紀錄，形成多元評量以支援課程改進。

4. 促進家庭與社區參與

鼓勵學生將課堂所學延伸到家庭，如落實垃圾減量、選購環保替代品、推廣節能行為等。學校可設計家庭任務或社區行動方案，使綠色化學理念從校園擴散到家庭與社區，深化永續影響力。

結論

綠色化學教育是推動永續發展的重要環節。透過情境化、探究式與課程明確引導的課程教學引導設計，國小學生能透過具體經驗理解化學與環境的關係，進而落實負責任的永續行動。「114 年綠色化學小學營隊」之課程設計示例可作為未來綠色化學教學、科學營隊設計與課程整合的參考，亦為後續研究提供基礎。

參考文獻

教育部。（2023）。**綠色化學教育與創新應用計畫報告**。

Slavin, R. E.（2021）。**教育心理學：理論與實際第四版**（張文哲譯），學富文化（原著出版於 2018）。

American Chemical Society. （2025）. *12 Principles of Green Chemistry*. https://www.acs.org/green-chemistry-sustainability/principles/12-principles-of-green-chemistry.html

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

Dunlap, R. E., Van Liere, K. D., Mertig, A. G., & Jones, R. E. (2000). Measuring endorsement of the new ecological paradigm: A revised NEP scale. *Journal of Social Issues*, 56(3), 425–442. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00176

European Commission. (2006). *REACH regulation: Regulation (EC) No 1907/2006*.

United States Environmental Protection Agency. (n.d.). *Green chemistry program*. https://www.epa.gov/greenchemistry