

國小綠色化學氧化還原活動設計與實踐成果

王玉純¹、張育傑²、黃琴扉^{3,*}

¹ 中原大學環境工程學系

² 臺北市立大學地球環境暨生物資源學系

³ 國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所

*Email: t3944@nknknu.edu.tw

摘要：本團隊依循國際學術基礎與環境部彙整之綠色化學十二項原則，設計「國小綠色化學氧化還原實驗活動」，以素養導向課程為核心，強調從源頭防止污染、降低化學危害並培養環保意識。本課程之活動使用日常容易取得的安全材料，兼顧環境友善與學生操作安全，引導學生培養動手實作與問題解決能力。課程設計上，是讓學生從生活情境出發，認識竹筴漂白殘留問題，並結合氧化還原概念，在觀察與操作中內化綠色化學精神。實踐結果顯示，學生參與的滿意度與理解度皆高，證明該活動能有效提升學習興趣與理解成效。本研究期望透過經驗分享，為中小學教師設計綠色化學課程提供參考，推動在地化、生活化與全球化兼具的永續教育。

■ 綠色化學理念與重要性

生活中的各個面向，無論是飲食、穿著、居住、交通、教育還是娛樂，都與化學緊密相連，然而，過去許多化學製程與產品，造成環境汙染的疑慮，為了保護環境並促進人類永續發展，「綠色化學」(green chemistry)的概念因應而生。為了減少化學物質對環境造成的危害，Anastas 和 Warner 於 1998 年出版了《綠色化學：理論與實踐》一書，首次系統性地闡述並界定了綠色化學的概念，其定義是：「設計化學產品與製程，以降低或避免有害物質的使用和產生」(Green chemistry is the design of chemical products and processes that reduce or eliminate the use or generation of hazardous substances)，核心理念則是「從源頭防止環境汙染的化學概念與作法」(黃琴扉等，2021)，期待化學製程從源頭到產出，都能兼顧科學帶來的效益與環境保育的責任。

以國內而言，環境部化學物質管理署(以下簡稱化學署)亦於近十年來加強對綠色化學的實踐與推廣，在化學署的網站中亦對綠色化學提出明確的定義(<https://www.cha.gov.tw/np-304-1.html>)，該定義中指出綠色化學(green chemistry)的精神是不使用有害、有毒的物質，且盡可能減少廢棄物的產生，是一種從源頭阻止環境汙染的化學，並且強調產品生產過程，不僅要減少消耗量、提升原子利用率，還要避免不必要的衍生物和廢棄物。整體而言，綠色化學的

概念，就是要從源頭開始，充分利用原料和能源，盡可能減少有害物質釋放，以降低對環境的衝擊。其中，該網站中更引用了由英國諾丁漢大學 (The University of Nottingham) 的三位學者 Samantha, Richard 和 Martyn 提出的「PRODUCTIVELY」縮寫，以 12 個英文字母組成的單字來詮釋綠色化學 12 項基本原則，以幫助民眾記憶(<https://www.cha.gov.tw/cp-306-2973-bcbb0-1.html>)，其中 P 代表防廢(Prevent wastes)、R 代表再生(Renewable materials)、O 代表簡潔(Omit derivatization steps)、D 代表可解(Degradable chemical products)、U 代表保安(Use safe synthetic methods)、C 代表催化(Catalytic reagents)、T 代表節能(Temperature, Pressure ambient)、I 代表監測(In-Process Monitoring)、V 代表降輔(Very few auxiliary substances)、E 代表物盡(E-factor, maximize feed in product)、L 代表低毒(Low toxicity of chemical products)、Y 代表思危(Yes, it's safe)(圖 1)。



圖 1 綠色化學 12 項基本原則

(引自化學署網站 <https://www.cha.gov.tw/cp-306-2973-bcbb0-1.html>)

環境部化學物質管理署以上述概念為主軸，進行多元方案的綠色化學研究與發展計畫，期待綠色化學能在教育界與產業界同步帶來正向效益，本團隊有幸於 2024 至 2025 年執行環境部化學物質管理署之國小綠色化學教案活動開發，在教案執行過程中獲得許多小學教師與學生的良好回饋，故將本期「國小綠色化學氧化還原實驗設計與實踐」成果彙整分享，期待

能提供職場教師或後續研究人員交流參考。

■ 國小綠色化學氧化還原活動設計與實踐

綠色化學雖然是近年來結合科學教育與環境教育的重要議題之一，但國小的素養導向活動中仍十分缺乏綠色化學實驗活動的規劃與設計，為了研發適合國小學童使用的綠色化學實驗活動，本團隊黃琴扉老師於 2022 年亦於臺灣化學教育期刊發表了《國小綠色化學視訊實驗活動設計與實踐》一文(黃琴扉, 2022)，當時採用的教具包概念獲得學習者極佳的評價，因此在 2024 年的教具包規劃中，也沿用了 2022 年的手提教具包理念，並將內容設計為「檢測竹筷是否殘留漂白劑」的小實驗，引導學習者思考生活中用來漂白竹筷的漂白劑，與氧化還原概念的相關性；以下將針對實驗活動的設計與實踐過程進行細述，並分析學生參與本活動後的感受為何。

一、實驗器材的準備

由於本團隊黃琴扉老師於 2022 年研發的手提教具包獲得參與者高度好評，因此本研究延續手提教具包的概念，修改教具內容物，以建構「氧化還原綠色化學材料包」(圖 2)(表 1)。



圖 2 (左)本團隊自行研發的綠色化學實驗材料包外觀
(右) 氧化還原綠色化學材料包內容物

表 1 「氧化還原綠色化學材料包」內容物列表及材料包特色

器材	份量	材料包特色
塑膠試管	5 個	1. 所有器材與藥品， 均為日常生活中容易
塑膠滴管(有刻度)	1 個	

塑膠量杯(有刻度)	3 個	購得，且均具備高度安全性。 2. 所有藥品的環境污染性低，且未用完的藥品可置放保存。 3. 符合綠色化學中，防廢、可解、保安、低毒、思危等要素。 4. 為安全起見，需事先將竹籤尖端剪掉。 5. 活動過程中應提醒學生將筷子以磨砂紙磨光滑。
竹筷	1雙	
便利商店免洗筷	1雙	
中秋烤肉長竹籤	1支	
牙籤	2支	
磨砂紙	1片	
塑膠咖啡匙	1個	
碘酒(以小滴瓶盛裝)	1個	
白醋(以小滴瓶盛裝)	1個	

二、實驗活動操作模式 (共兩節課，80 分鐘)

(一)教學策略步驟一(20 分鐘)：認識綠色化學

在課程的一開始，講師先運用化學署綠色化學教材中的「生活中的化學」進行授課，其簡報內容中包含了生活中常見的化學反應與變化，以及綠色化學基本概念，此外更包含了竹筷的氧化還原理論基礎；透過上述生動活潑的簡報內容，可引發學生的學習興趣，並且建構基礎科學知識(圖 3)。





圖 3 「生活中的化學」教材內容 (引自化學署綠色化學教材)

(二)教學策略步驟二(10 分鐘)：提出問題(圖 4)

1. 講師引導學生思考，如果平常使用的各種竹筷或竹籤，可能殘留二氧化硫。
2. 講師引導學生思考，並了解空氣中二氧化硫的量如果太多，當下雨時，二氧化硫溶於水形成亞硫酸，將可能形成酸雨。
3. 講師引導學生思考，如果竹筷或竹籤上可能殘留二氧化硫，那該怎麼辦?這些二氧化硫可以用簡單的方法檢驗出來嗎?
4. 講師說明簡易氧化還原概念基礎，並說明運用氧化還原實驗，可初步檢測竹筷或竹籤上是否有二氧化硫殘留。



圖 4 講師透過課程講解與提問，促進學生主動思考

(三)教學策略步驟三(10 分鐘)：開箱囉!介紹教具!

延續 2022 年活動中獲得學生喜愛的「大家一起開箱趣」環節，本次實驗也在課程一開始，

啟動「大家一起開箱趣」。引導國小學童將小手提箱材料包的內容物逐一擺放在桌面上檢查，講師則逐一講解每一個器材的名稱與功能(圖 5)。



圖 5 老師跟學生一起開箱，並逐步講解實驗步驟

(四)教學策略步驟四(30 分鐘)：進行實驗(表 2)

表 2 教學實驗步驟

實驗步驟	步驟細節	教學實況
樣本準備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 取竹筷、竹籤、牙籤各數段。 2. 先用砂紙輕輕摩擦表面，去除碎屑，使可能殘留的藥劑更易被溶出。 3. 將打磨好的竹樣剪成適合放入試管的長度。 	
溶液準備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在三個塑膠量杯中分別量取： <ul style="list-style-type: none"> - 10 mL 白醋 - 10 mL 稀釋碘酒(碘酒與水1:4) - 10 mL 清水(對照組) 2. 若無法精準量取，可用滴管粗略取等量。 	

■ 活動實踐成果

本研究辦理的綠色化學氧化還原課程活動過程，共計 42 人參與(男生 25 人，女生 17 人)，由授課過程中可以發現參與學童上課皆十分投入，反應熱烈，整體活動滿意度達 96%，此外，在綠色化學相關的知識概念上，依據營隊問卷分析結果，絕大部分學童學習成效均十分良好，相關問卷分析結果如表 3。

表 3 參與活動學生問卷分析結果

題目		答對率
1. 什麼是綠色化學 (green chemistry)，何者描述錯誤？	a. 在不使用有害、有毒的物質，且有效減少產生廢物，是一種從源頭完全阻止環境污染的化學。 b. 其使用的原料化學成分呈現綠色。(正答) c. 從源頭開始，就充分利用原料和能源，減少、甚至無有害物質釋放，以降低對環境的衝擊。	81%
2. 下列關於溶解的原理，哪一項最正確？	a. 糖溶解之後，糖顆粒就完全消失不見了 b. 溶解是物質變小，均勻分布在水裡 (正答) c. 糖跟鹽會溶解，胡椒粉不會 d. 在一個限度內，溫度越高，糖的溶解度也會提高	93%
3. 酸雨的成份主要是哪一種酸？	a. 鹽酸 b. 硝酸 c. 亞硫酸 (正答) d. 醋酸	98%
4. 我對於氧化還原的理解程度？	1. 非常不了解 2. 不了解 3. 沒意見 4. 了解 5. 非常了解	4.6

由上述的資料分析中可以發現，學生不但對於課程內容表達正向態度，在綠色化學的知識與氧化還原的理解程度，均能達到良好表現。

■ 結語

本團隊設計的「國小綠色化學氧化還原實驗活動」主要是結合綠色化學理念與素養導向課程設計的原則，強調從源頭防止污染、降低化學危害及培養學生環保意識。在實驗設計上，本團隊遵循綠色化學的基本原則，包括防廢、低毒、保安與思危，所有器材均來自日常生活易取得且安全性高的材料包，強調在降低對環境衝擊的同時，也能培養學生的動手操作能力與問題解決素養。課程流程採「引發動機、提出問題、開箱材料、進行實驗、補充理論」的步驟設計，成功引導國小學生從生活情境出發，認識竹筷可能的漂白殘留問題，並進一步結合氧化還原化學概念，讓學生在動手做與觀察中，內化綠色化學的精神。從活動的整體實踐結果發現，學生參與活動的滿意度與理解度都很高，顯示該綠色化學教學活動的設計可以同步提升學生的學習興趣與理解成效；希望透過本文的經驗分享，可以提供中小學教師設計綠色化學課程的參考，推動綠色化學向下扎根，並進一步實踐在地化、生活化與全球化兼具的永續發展教育目標。

■ 致謝

本文感謝環境部化學物質管理署計畫支持。

■ 參考文獻

行政院環境保護署毒物及化學物質局 (2021)。何謂綠色化學。<https://www.tcsb.gov.tw/cp-305-2972-75e5e-1.html>

黃琴扉、林寬禮、施雪雯、陳盈瑗 (2021)。讓化學陪著地球永續發展 - 淺談綠色化學。國立科教館生活補給站(電子期刊)，60(5)。
<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?cat=15571&a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=17191>

黃琴扉 (2022)。國小綠色化學視訊實驗活動設計與實踐。臺灣化學教育，47，
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=42014>

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

U.S. EPA. (2025). Basics of Green Chemistry. <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry>