

簡易手做 DNA 水平電泳槽系統模組設計與開發

陳子恩、張家豪、葉美辰、耿全福

國立彰化師範大學生物系

E-Mail: kencf@cc.ncue.edu.tw

一、前言

DNA 電泳是現代生物技術研究與應用的核心基礎技術之一，廣泛應用於基因選殖、重組 DNA、基因轉殖、基改生物、親子鑑定及法醫鑑識等領域，是學生進行 DNA 分析的重要基礎。根據高中 108 課綱核心精神，生物教育應強調「探究與實作」的學習歷程，使學生能從提出問題、假設驗證到結果分析，發展出完整的科學思維。目前在高中生物有關 DNA 分析的教學實務上，普遍缺乏落實「探究與實作」本質的合適教案，且由於商用電泳設備價格昂貴，造成多數學校無法提供該設備給每位學生進行實際操作使用，導致多數學生僅能以書本的文字介紹或圖片影像間接學習，常常因學習內容過於抽象造成學習效果不佳。有鑑於上述 DNA 教學困境，本研究團隊以「自製實驗教具」為核心理念，開發出一套簡易手作 DNA 水平電泳槽系統模組，不僅具備商業電泳槽的功能，還具備經濟實惠、操作安全方便、容易維護等優點。本研究團隊同時以「強化探究」為目標，設計一套「密室犯罪捉兇手」的教案，搭配 DNA 電泳教具的使用，使學生能在模擬法醫鑑識的情境中親手完成 DNA 分離與指紋比對實驗，理解電泳原理與 DNA 鑑識的應用價值，實現從抽象概念到真實操作的「探究與實作」學習。

二、教具核心概念與設計架構

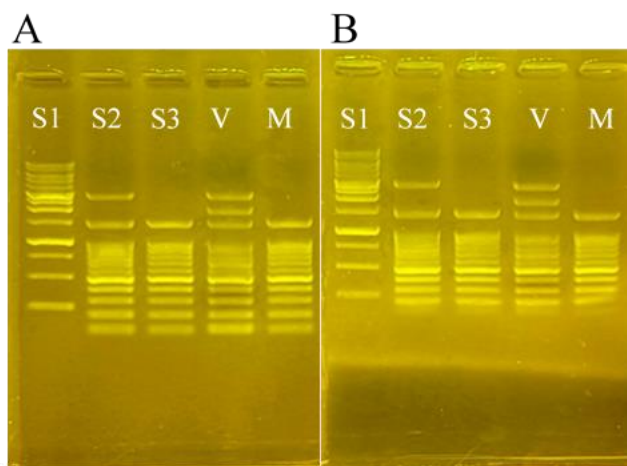
本 DNA 電泳教具模組的核心概念是「自製實驗設備、強化探究」，也就是：（一）運用材料市場既有零件與裝置，低價自製 DNA 電泳教具模組（即電泳槽與電池模組，見圖一），具有推廣功能。（二）能符合「密室犯罪找兇手」推廣教案的設計內容需要，亦即教具能具象化教案中「DNA 指紋技術實驗結果」（即電泳結果，見圖二），以利教師藉由教具呈現的實驗結果，引導學生連結已學過知識與當下觀察現象，進行更高階的探究活動。

依據教具模組核心概念，本設計架構由電泳槽與電池模組兩部分組成（見圖一）。在電泳槽設計方面，旨在呈現教案內 DNA 指紋技術的電泳過程與結果，以及方便學生觀察該結果。DNA 指紋技術是一種經 PCR 處理後，運用 DNA 電泳技術來辨別檢體的方法。DNA 指紋技術的電泳步驟中，會在瓊脂膠孔洞內 loading 來自嫌疑犯、死者、與兇手的 DNA 指紋檢體（其內有可變數目串聯重複序列（VNTRs）或短串聯重複序列（STRs）），隨後這些 DNA 分子在凝膠電場的正極吸引作用下，會依分子大小不同而產生不同遷移速度，最後各自呈現獨有的片段分布圖紋（如圖二），最後根據此結果判斷找出真凶。在電池模組設計方面，旨在提供電泳槽穩定的驅動電力與提升教具的推廣功能。因此，該設計以乾電池組為主體，搭配簡易接線材料組合成電池模組，在沒有插座設備的條件下仍能順利運作。

本團隊開發的教具，經超過 1000 人時的操作，證實與商用電泳槽具備相同實驗效果（圖二 A，B），更兼具方便操作、經濟實惠、容易保養等優點，亦可克服教學場域的侷限性，提升教具的推廣功能。



圖一：DNA 水平電泳槽系統模組。



圖二：DNA 指紋分析圖。A，商業電泳槽結果；B，本教具電泳結果。S1-3：代表三位嫌疑犯；V：被害人；M：兇手

三、教具設計特色與課程綱要連結

為落實 108 課綱「自然科學領域核心素養」，本教具著重電泳槽與電源模組的兩項設計特點。第一點，電泳槽採用透明壓克力為凝膠槽結構，以利學生清楚觀察電場中 DNA 條帶的移動過程與實驗結果。第二點，電池模組使用乾電池組搭配簡易接線材料，提供學生組裝與拆卸的動手做學習機會，以利學生分辨出凝膠槽的正負極位置。因此本教具在這兩項特點下，引導學生具象化已學過的 DNA 指紋與遺傳多樣性等知識，並在理解電泳分離原理時，培養學生「能將所習得的科學知識，連結到自己觀察到的自然現象及實驗數據」素養具體內涵。

此外，為符合 108 課綱「探究與實作」課程內容需求，本教具結合「密室犯罪捉兇手」教案，帶領學生在模擬法醫鑑識的情境中，連結生活議題，動手完成 DNA 分離與指紋比對實驗，以及近身接觸教具所呈現的可視性專業分子鑑識過程之一。這不僅提升學生的實作興趣，並培養學生的科學推理與問題解決能力。進一步地，學生也能在教師引導下，深入理解與探討「DNA 指紋」與「遺傳多樣性」等概念。同時，該動手做的學習歷程可培養學生科學探究的精神與方法。

延伸學習

DNA 手做電泳槽製作影片：<https://www.youtube.com/watch?v=VMvuhD8d-Hk>

DNA 指紋介紹影片：<https://www.youtube.com/watch?v=7onjVBsQwQ8>

電泳介紹影片：<https://www.youtube.com/watch?v=4OJAzQsZnbo&t=1s>