

# 教育部 113 學年度中小學科學教育專案期末報告大綱

## 計畫名稱：探究取向的彈性課程設計 —以鋁空氣電池發展學生的探究能力

主持人：鐘建坪 電子信箱：hexaphyrins@yahoo.com.tw  
共同主持人：張力中、宋文汀  
執行單位：新北市立錦和高級中學

### 一、計畫執行摘要

1.是否為延續性計畫？是 否

2.執行重點項目：

- 環境科學教育推廣活動
- 科學課程教材、教法及評量之研究發展
- 科學資賦優異學生教育研究及輔導
- 鄉土性科學教材之研發及推廣
- 學生科學創意活動之辦理及題材研發

3.辦理活動或研習會等名稱：無

4.辦理活動或研習會對象：無

5.參加活動或研習會人數：無

6.參加執行計畫人數：約 80 位學生，教師、行政人員等共 7 位

7.辦理/執行成效：

科學探究是整合相關科學概念與認知能力的學習活動，而探究能力的養成是自然領綱強調的重點內涵。本研究以鋁空氣電池為課程載體，依據自然領綱探究學習內容設計教學活動，培養學生的科學探究能力。課程讓學生經歷完整探究歷程，包含發現問題、規劃研究、論證建模及表達分享等階段。教學活動分為兩部分：首先在露營情境中，引導學生探索鋁空氣電池的電壓或電流特性。學生需要使用三用電表、繪製變因關係圖，確定研究變因後收集數據並解釋變化原因，最後進行小組分享。其次，讓學生嘗試點亮 LED 燈，體驗電池效能，並透過實驗規劃、結果論證及報告分享，深化學習成效。研究結果顯示，此課程不僅有效提升學生的探究能力與鋁空氣電池相關知識，學生對課程內容與實施方式也給予正面評價。

## 二、研究計畫之背景及目的

### （一）研究計畫的背景與動機

探究(inquiry)是指能夠針對特定事物或現象，進行主動探索、調查、發現或研究，來獲取相關的知識與能力(Edelson et al., 1999; He et al., 2023)。科學的探究歷程包括：觀察現象、搜集資訊、提出問題、確認問題、計畫研擬、收集數據、分析數據、形成結論、修正反思、形成模型等階段(National Research Council [NRC], 1996, 2000)。課程改革文件期待學生能夠實際歷經如科學家的探究歷程，以發展並提升相關的科學探究能力(國家教育研究院，2018；NGSS Lead States, 2013)。

自然領綱強調教師引導學生進行科學學習時，需要著重激發學生的好奇心與主動求知的熱忱，藉由主動探索與實驗操作，促使學生發展科學的核心概念、探究能力與正向的科學態度，並且了解相關的科學本質(國家教育研究院，2018)。

雖然目前審定的教科書已朝向探究為主的教學活動設計，但是此種探究教學活動多以1至2節為主，缺少讓學生成長期針對特定主題進行發現問題、研擬計畫、分析數據、建立模型、產生論點、表達與分享探究的成果，進而對於研究的歷程進行反思。研究顯示學生探究能力的養成與發展需要長時間的投入(鐘建坪，2013)，而總綱設定的彈性課程是一項能夠長時間進行主題式探究的機會。因此如何在彈性課程實施探究取向的主題式課程，以發展學生的探究能力是一項值得探索的主題。

### （二）文獻探討與理論基礎

#### 一、探究能力

科學探究是一項複雜且多面向的歷程，整合相關科學概念與認知能力的學習活動，而探究能力的養成是自然領綱強調的學習重點之一(國家教育研究院，2018)。目前許多文獻已針對探究能力進行闡述(國家教育研究院，2018；Hofstein et al., 2004; NRC, 1996, 2000)。美國國家科學研究委員會(NRC)認為探究能力指學生在探究歷程中進行類似科學家探索自然世界，並基於證據進行論證與解釋過程所需要具備的能力(NRC, 1996)。NRC提出關於探究的相關能力，包括：確定科學問題、規劃和進行調查、使用適當的工具收集和分析數據、以及根據證據發展解釋等(NRC, 2000)。Hofstein 等人 (2004) 發展評估探究型實驗的工具，聚焦於觀察和記錄、提問和假設、規劃實驗、執行實驗、分析結果、

進一步提問，以及以科學方式呈現結果的能力。

自然領綱認為探究能力包含思考智能與問題解決，不僅著重實作的方法技能，亦強調過程中需要的認知能力，其中，思考智能涵蓋想像創造、推理論證、批判思辨、建立模型；而問題解決涵蓋觀察與定題、計劃與執行、分析與發現、討論與傳達(國家教育研究院，2018)。

雖然不同文獻闡述的探究能力不盡相同，但仍可以探究歷程作為基準整合相關的探究能力，包含從現象觀察中發現問題、廣泛找尋資料以確認變因之間的關係、研擬規劃實驗與收集數據、基於證據進行推理以形成結論等能力(吳百興，2018)。同時著重科學學習需要為學生提供探究的機會，並在不同學習階段皆能夠貫徹探究的精神與方法，以培養學生的探究能力。

## 二、探究教學與其相關研究

探究教學在科學教育領域引起廣泛的關注(國家教育研究院，2018；NGSS Lead States, 2013；NRC, 1996, 2000)，它強調學生主動參與、探索議題、發現問題、進行實驗和解決問題來促進科學學習(NRC, 2000)。研究發現經由探究的方式進行科學學習，將有助於學生建立深刻的理解、培養批判思維和解決問題的能力(Crawford, 2014；Fang et al., 2016)。

雖然探究教學具有許多優點，但實施過程中也面臨著一些困難(吳百興等，2010；Bell et al., 2005; Kirschner et al., 2006)，包括：教學時間的限制，教師需要適時地引導，確保學生能夠達到預期的學習目標。為了克服這些挑戰，一些研究提出了不同的改進策略，例如設計適合不同學習準備度學生的探究活動(Llewellyn, 2011)，提供足夠的支持和引導(Kapon & Schvartz, 2024)，並且鼓勵學生之間心智互動的合作學習(Hunter et al., 2021; Jong, 2016; Özkanbaş et al., 2020)。

為了能夠在有限的課堂實施探究，Szalay 和 Tóth(2016)將傳統課堂逐步提供實驗步驟的方式，修改為學生需要在某些部分自行設計與規劃，讓學生不只是按照類似食譜的方式進行實驗，更餘留一些部份能讓學生自反思。結果發現將傳統食譜式實驗活動修改為部分由學生設計的實驗，有助於協助學生發展實驗設計能力與相關的學科知識。

## 三、彈性課程與其相關發展

彈性課程在課程的分類屬於另有課程(Alternative curriculum)(Klein, 1986)，意指學校提供不同於國家課程標準或綱要內容的課程，或是能夠進行不同科目領域的跨科、跨領域整合的課程內容(Lawinside, n.d.)。十二年國民基本教育課程總綱綱要將課程類型區分為「部定課程」與「校定課程」，其中國民中小學的校定課程即屬於彈性學習課程，強調跨域、適性與選修。總綱說明校定課程的目的在形塑學校願景，以促進學生的適性發展。課程內容期待學校開發統整性主題/專題/議題導向的探究課程、社團活動與技藝課程或特殊需求的領域課程等(國家教育研究院，2014)。

目前國內已有關於探究取向的自然科彈性課程的開發。鐘建坪(2023)開發「水質檢測」的彈性課程，主要的探究任務是引導學生設計簡易導電度計，規劃檢測學校附近溝渠水質的導電度。學生從認識學校附近溝渠，提出水質導電度的優劣，教師引導學生設計與組裝簡易導電度計，進行水體收集與檢測，並且輔以數位導電度計進行對照，檢測學校附近溝渠的導電度。接著以環保署資料庫探討學生生活區附近新店溪不同採集點的水質情形。透過簡化後的數據分析，讓學生找出河川汙染與特定成分的關係。曾茂仁等人(2023)以「專題導向的探究學習」研發相關彈性課程，探究任務是引導學生進行細菌檢測。設計架構主要基於 Krajcik 與 Shin (2023) 所提出專題導向教學的架構進行課程設計，包括：藉由驅動問題開啟課程、聚焦相關的學習目標、理解欲探究的情境、進行協作活動以回應驅動問題、使用科技工具幫助學習、發展學習成品以呈現學生對於特定科學知識的理解等。課程內容主要透過細菌培養，探討校園環境的乾淨程度與消毒效益，讓學生進行細菌採樣、分析培養細菌的生長情形、拍攝影片並進行同儕評量。雖然課程實施有進行教學的評量，但是專注特定的探究能力仍有待發展。

#### 四、電化學電池與學生的另有概念

電池為一個經由化學變化提供能量的儲能裝置，最早由科學家-伏打(Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta)，將鋅片與銅片，中間夾有食鹽水紙張，再堆疊串聯，形成最初的具有穩定電流的電池。電池的組成有正極、負極，以及電解質溶液，藉由不同金屬之間氧化還原電位的差異，產生電壓，驅使電子流動。金屬-空氣電池由於空氣易於取得可縮減電池空間與重量，能夠提升電池的能量密度，因此具有開發的潛力(Olabi

et al., 2021)。

電池概念的學習需要架構在氧化還原概念的基礎之上。研究顯示學生對於電化學電池過程放電過程發生的質量改變或是顏色變化等巨觀現象能以實際觀察發現，但對於如何造成差異的微觀機制不甚理解，例如：如何判斷電池的正極與負極、電子如何在不同電極之間流動、電解質溶液中離子移動的情形等(Nakiboglu et al., 2024; Sanger & Greenbowe, 1997)。教學時除了進行實驗的操作之外，微觀粒子的動態行為需要借由視覺化的動畫呈現，學生較能夠從中理解電化學電池中微觀粒子的動態歷程(Doymus et al., 2010)。

## 五、理念與研究架構

自然領綱在第五學習階段提出探究與實作的課程內容，希望學生體驗科學探究歷程與問題解決的機會，包含四個主要項目的探究歷程：發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享。同時領綱亦期望能將探究與實作的精神貫徹各學習階段，使學生能夠具有動手操作與心智思考的訓練，以提供學生統整的學習經驗(國家教育研究院, 2018)。

學生在不同的探究階段，具有其發展的困難與挑戰(鐘建坪、鍾曉蘭, 2024)(見表1)，需要相對應的鷹架策略。發現問題階段，學生通常先備知識不足，常以表象訊息作為可能因素，無法訂出可探索的假設與問題，需要教師提供相關的背景知識，讓學生觀察重複出現的現象，並以非研究情境的範例示句讓學生描寫假設等內容。規劃與研究階段，學生不熟悉研究的系統，不易釐清探究情境所蘊含的變因、變因之間關係等，經常無法有效規劃實驗器材與流程，此時，教師需要提供學生熟悉相關工具的使用，讓學生辨識操作變因、應變變因與控制變因，以釐清進行實驗的操作步驟以及需要紀錄的數據表格。論證與建模階段，學生繪製關係圖生疏，缺乏如何從數據的關係圖描述結果以對應假設等，教師則能在學生已經能夠繪製二次座標圖的基礎上，提醒學生 X 軸、Y 軸的變因與單位，協助學生找出數據分布的意義，讓其對應是否符合原先的假設或問題。表達與分享階段，分組的學生通常推派一人進行報告，缺少完整探究歷程的描述，報告內容多以文字缺乏多重表徵，教師在學生報告前能夠預先示範報告的概要內容，要求每位同學上台皆須呈現內容，適時引導學生進行提問，讓學生聆聽它組分享之後，能夠有所

反思與評價。

表 1 探究學習可能發展困難 (引自鐘建坪、鍾曉蘭, 2024, pp.230-231)

探究學習內容		實作發展困難之處
發現問題	觀察現象	學生先備知識不足，通常只運用感官觀看現象表面而非藉由相關資訊描述可能的成因(Chinn & Brewer, 1993)。
	蒐集資訊	學生通常藉由關鍵字搜尋，缺少組織架構，較少考量文獻合理性(吳美美, 2009)。
	形成或訂定問題	學生通常直接提出「為什麼」的問題，缺少確認變因形成可後續繼續探索的「是什麼？」或「如何進行？」的問題(洪逸文, 2021)
	提出可驗證的觀點	學生通常藉由自身觀點提出錯誤的假說，或是提出假說無法對應研究問題(de Jong & van Joolingen, 1998)。
規劃與研究	尋找變因或條件	學生不易判定研究問題的可能變因，甚至錯誤判斷變因的因果關係(de Jong & van Joolingen, 1998)。
	擬定研究計畫	學生有時會擬定需要高額經費的儀器，或是不知如何使用器材與規劃研究方向等無效的實驗行為(Kuhn et al., 1992)。
	收集資料數據	學生無法依據研究問題設計所需的實驗記錄表格，或是紀錄數據時只記錄有利假說面向，忽略誤差考量(Klahr et al., 1993)。
論證與	分析資料和呈現證據	學生對於如何運用工具整理數據與繪製圖表生疏，並且不易自行提出分析的結果(Jeong et al., 2007)。
建模	解釋和推理	學生無法從資料數據觀察變化趨勢，並且無法說出蘊含的意義(Krajcik et al., 1998)。
	提出結論或解決方案	學生不易從探究結果形成結論，或是說明自己與其他同學論點的異同，或是基於研究結果的解決方案(Krajcik et al., 1998)。
	建立模型	學生不易基於研究結果建構合理模型以明觀察現象，或是覺察所建構模型的侷限性(魯俊賢、吳毓瑩, 2007; Chinn & Brewer, 2001)。
表達與	表達與溝通	學生不易利用不同表徵等表達方式，正確運用科學名詞、符號等呈現探究過程與成果(Krajcik et al., 1998)。
分享	合作與討論	學生容易各自分工，缺少有效地同儕合作(吳美美，2009)。彼此討論時缺少合宜的論證內容(Kollar et al., 2007)。
	評價與省思	學生通常以表象評估同學的報告，較難提出具體的建議或改善方案(吳美美，2009)。學生不易對自己或他人的成果提出反思或說明其侷限性(White & Frederiksen, 1998)。

相較於鋰離子電池，金屬-空氣電池具有較大的能量密度，具有作為儲存能量裝置潛力，因此受到科學界的注意(Li et al., 2023)。雖然目前已有研究 Li/air、Na/air、Mg/air、

Al/air、Zn/air 等金屬-空氣電池，但考量能量密度、氧化還原電位，以及實驗安全性(Olabi et al., 2021)，本研究以鋁空氣電池作為課程模組，讓學生在彈性課程中進行探索不同條件下鋁空氣電池的電壓與電流的關係，嘗試找出何種條件具有較大的電壓與電流，接著以最佳化的條件下，繼續嘗試如何以鋁空氣電池讓 LED 燈發亮，甚至能進行運動手環的充電，藉此過程發展學生的探究能力。

有鑑於此，本研究參酌自然領綱探究學習內容作為探究歷程，以鋁空氣電池作為課程載體，讓學生經歷發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等歷程，以發展相關的探究能力。教學活動區分為二階段的探究歷程，第一階段為學生探索何種條件下可使鋁空氣電池產生較大的電壓與電流(見圖1)。第二階段讓學生以第一階段的結果為基礎，嘗試實際讓 LED 燈發亮或運動手環進行充電(見圖2)。首先，第一階段時，先讓學生沉浸在露營的情境中，嘗試以特定材料找出鋁空氣電池最大的電壓或電流，藉由繪製變因關係圖、熟悉三用電表等工具，確認要進行的變因項目，接著收集數據、繪製關係圖、解釋數據的變化與可能的原因，進行小組分享與報告。第二階段時，學生從第一階段獲得的結果，嘗試在露營的情境，進行 LED 燈發亮或運動手環充電，讓學生實際體驗鋁空氣電池能具有釋放電能的功效，藉由規劃實驗，進行結果論證，並對同儕分享其探究成果。

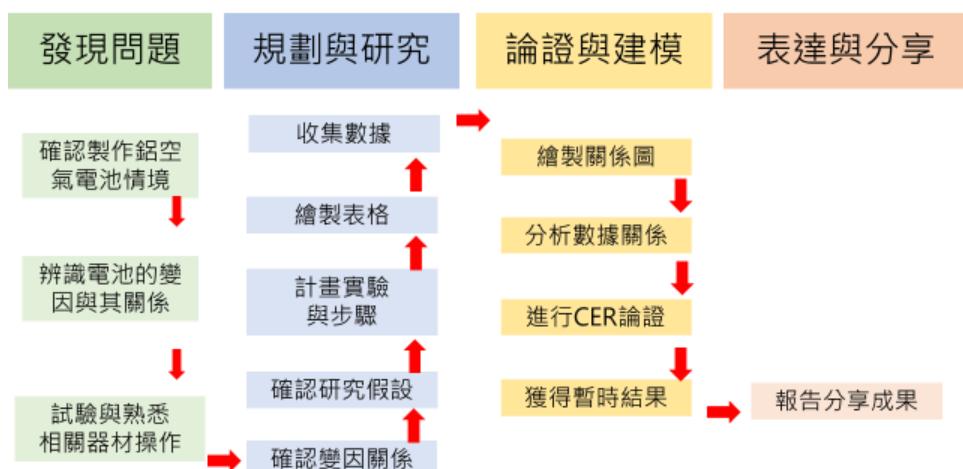


圖1：第一階段探究歷程-找出特定條件下最大的電壓與電流

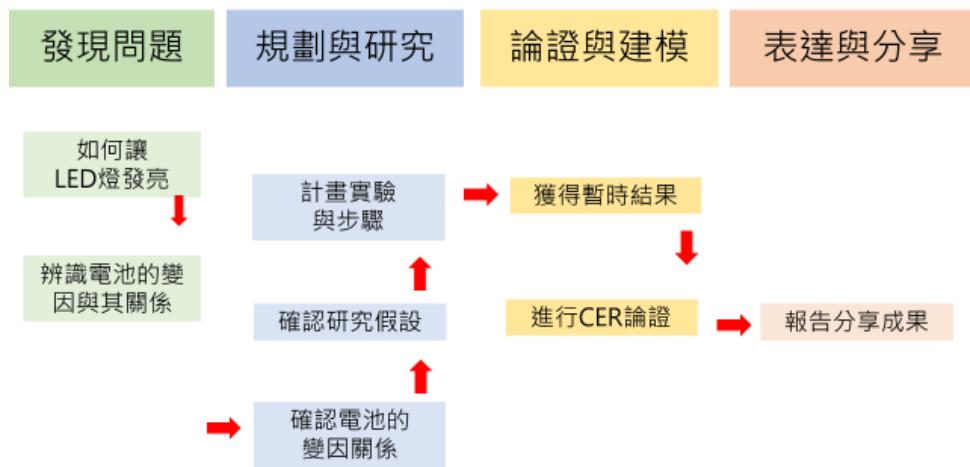


圖2：第二階段探究歷程-嘗試讓 LED 燈發亮或運動手環充電

基於上述文獻分析與探討，本研究的研究目的主要發展鋁空氣電池探究教學模組，強調如何在探究與實作的架構內，促進學生學習鋁空氣電池的相關元素與培養學生的探究能力。研究問題臚列：

1. 在實施「探究取向的彈性課程」時，教師如何規劃教學活動與協助學生優化學習內容？
2. 國九學生在教學前、後，科學探究能力的表現差異為何？
3. 教學之後，國九學生對於課程內容的收穫、學習困難、反思與評價為何？

### 三、研究方法、步驟及預定進度：

#### (一) 研究對象與情境

受試對象藉由立意取樣的方式，選取新北市某完全中學國中部九年級學生。該校學區家長經濟環境屬於小康，每班約有1位同學具有低或中低收入戶證明。國中部畢業學生升高中與高職的比例約為3：7。

#### (二) 教學活動設計

本研究工具主要為前、後測之科學探究能力測驗，以及學生探究歷程表現內容，包括：學習單、上台發表、實作成果等（見圖3）。茲分述如下：

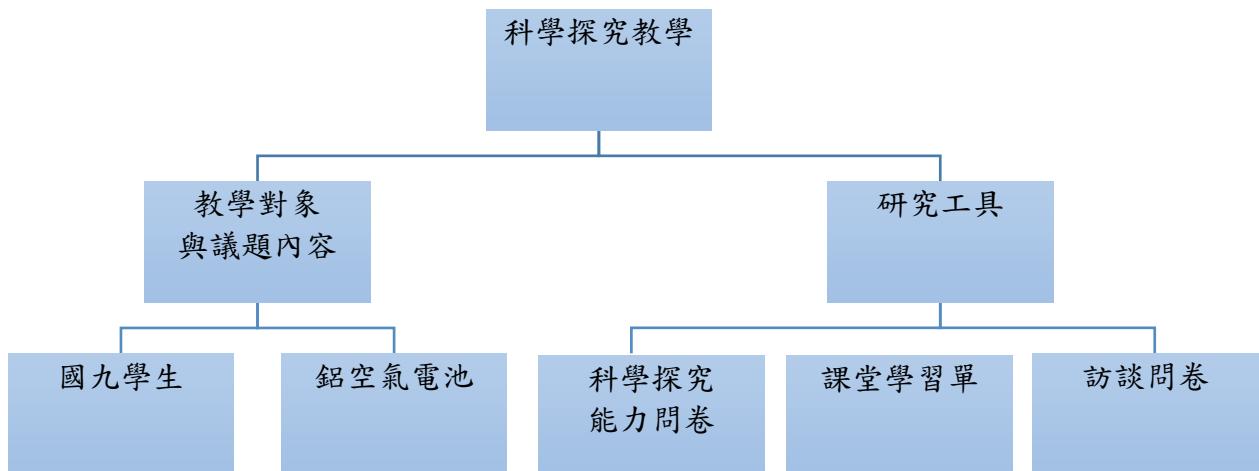


圖3：本研究之組織架構

### 1.科學探究能力試題與評量規準

從文獻分析得知探究能力多以探究歷程作為探究能力的依據，並同時考量多種的認知能力(吳百興，2018)。自然領綱以解決問題的歷程作為探究能力，包括：觀察與訂題、計畫與執行、分析與發現、討論與傳達。Kuo 等人(2015)以提問、實驗、分析、解釋等過程作為探究能力測驗的依據。鑑於討論與傳達的展現多數呈現在學生探究的過程，因此將學生口頭報告作為表達與分享的能力，在紙筆測驗項目參酌林小慧與吳心楷(2019)針對探究能力試題，以推理與論證取代討論與傳達，再細分出探究次項目能力。再依據次項目能力設計對應的探究能力試題。

#### (1) 科學探究能力試題

為避免學習效應，並考量學生學習遷移的成效，設計以水質檢測作為評量學生探究能力問卷。本研究之探究能力試題之設計，主要修改自鐘建坪(2023)，設計提出預測、確認問題、辨識變因、規劃實驗、分析資料、提出主張、運用證據、產生推理等試題。

#### (2) 科學探究能力試題評量規準

本研究參酌林小慧與吳心楷(2019)評量科學探究能力指標，區分為觀察與訂題、計畫與執行、分析與發現、推理與論證。並依據相關次項目與內容說明區分出探究試題之對應題號。科學探究能力、次項目、內容說明，以及對應試題的題號如表 2 所示。

表 2 探究能力評量指標 (修改自林小慧、吳心楷，2019)

探究能力	次項目	內容說明	對應
------	-----	------	----

			題號
觀察 與定題	提出預測	能透過先前的經驗、概念或觀察結果，來預測研究問題可能的答案	6
	確認問題	辨識或提出與情境相符且可被驗證的研究問題	2
計畫 與執行	辨識變因	能辨認相關的自變項與應變項來擬定實驗流程	1
	規劃實驗	能描述與制定實驗流程，並可驗證變項關係	3
分析 與發現	分析資料	能挑選資料數據驗證變項關係，或將數據以另一種表徵方式呈現，以驗證變項關係	5-1
	提出主張	能透歸納、演繹的方式辨識出資料的分佈趨勢，來形成可驗證的陳述或論點	4-1
推理 與論證	運用證據	能透過歸納找出正確數據，以支持主張	4-2
	產生推理	將證據連結到主張，包含使用科學原則、概念或先前經驗進行推理，詮釋或推論資料的意義	5-2

### (3) 探究能力評量規準

設計之探究能力試題屬於半開放式試題，參照 PISA(Programme for International Student Assessment)的評分方式，將學生的回答，依據評量規準設定為3分(完整且作答正確)、2分(大部分作答正確，但有所缺漏)、1分(只有部分做答正確)與0分(無法作答或是回答不相關的內容)。如表3所示，依據學生回答問題的內容作為評量的依據。

表3 探究能力評量規準

評分項目	評分結果			
	3分	2分	1分	0分
觀察 與定題	提出能夠正確預測可能預測的關係，並進行解釋。	能夠正確預測可能的關係，但未進行解釋。	雖有進行解釋，但預測的關係錯誤。或預測正確，但無法進行解釋。	無法回答或是答非所問。
計畫 與執行	確認問題的呈現能夠完整說明關係與其可能的原因。	問題的呈現能夠完整說明關係，但未進行解釋。	問題的呈現只能夠部分說明可能關係。	無法回答或是答非所問。
	辨識能夠完全確認操作變因、應變因、應變變因與控制變因。	確認操作變因、應變變因與控制變因其中二項。	確認操作變因、應變變因與控制變因其中一項。	無法回答或是答非所問。

執行	規劃能夠依據研究問題，詳細說明如何驗證變項關係。	能够依据研究问题，简要说明或验证变项关系。	能够依据研究问题，简要说明，但验证变项关系有错误。	无法回答或是答非所问
分析與	分析能夠依據資料完整繪製關係圖。	能夠依據資料繪製關係圖，但有1個部分錯誤。	能夠依據資料繪製關係圖，但有2個部分錯誤。	無法回答或是答非所問
發現	提出能夠根據關係圖提出完整解釋。	能夠根據關係圖提出部分解釋，並無錯誤。	能夠根據關係圖提出部分解釋，且有錯誤。	無法回答或是答非所問
推理與	運用能夠依據圖表資訊證據的證據，完整提出支持或反對的主張。	簡要提出支持或反對的主張，但未能利用圖表資訊。	說明支持或反對的主張，但有部分錯誤。	無法回答或是答非所問
論證	產生能夠依據圖表資訊推理的證據，完整推論資論的意義。	簡要提出資料推論的意義。	說明結果，但有部分錯誤。	無法回答或是答非所問

### (三)教學設計

教學以電池的開發主題作為設計架構，情境為學生露營時忘記攜帶行動電源，該如何運用手邊的露營材料進行電池的製作。首先，以植物是否需要陽光為題說明探究與實作的階段，讓學生熟悉特定主題進行研究與探究歷程的關係。接著，說明鋁空氣電池的正、負極、電解質與裝置，讓學生思索可能影響鋁空氣電池電壓與電流的變因，並繪製可能的變因關係圖。再讓學生進行試做鋁空氣電池，以完成欲測試變因的探討。再來完成假說的撰寫、繪製數據收集表格、製作規格化的鋁空氣電池，以完成數據的收集。接著繪製數據關係圖、討論數據結果、準備與完成口頭發表。最後，學生需要以全班的實驗結果為基礎，設計電路並實際操作，以實作完成的鋁空氣電池實際讓LED燈發亮。

表4 探究取向教學模組設計

週次	教學活動	評量
----	------	----

1	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 前測</li> <li>● 科學探究歷程概要內容</li> </ul> <p>● 介紹科學探究歷程，以及細部的階段 舉例(例如：綠色植物是否需要日光)，說明科探究的階段內容</p>	 學生能理解科學探究歷程
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 鋁空氣電池概要說明</li> <li>● 討論製作鋁空氣電池可能影響的變因</li> </ul> <p>● 教師說明鋁空氣電池的裝置與發電原理 ● 小組討論製作鋁空氣電池可能影響的變因 ● 小組成員共同繪製變因關係圖</p>	 學生初步理解鋁空氣電池，以及能寫出與繪製可能影響鋁空氣電池的變因
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 小組繪製變因關係圖</li> </ul> <p>● 小組成員共同繪製變因關係圖</p>	 學生繪製完成可能影響鋁空氣電池的變因關係圖
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 試驗製作鋁空氣電池</li> <li>● 練習操作三用電表測量電壓與電流</li> </ul> <p>● 小組成員概要製作鋁空氣電池，並且以三用電表測量電池電壓與電流。</p>	 學生能夠完成1個鋁空氣電池，並量測出電壓與電流
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 試驗製作碳鋁電池</li> <li>● 撰寫操作變因、應變變因、控制變因</li> </ul> <p>● 小組討論完成操作變因、應變變因、控制變因</p>	 小組完成操作變因、應變變因、控制變因撰寫
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製作規格化鋁空氣電池</li> </ul> <p>● 同學熟悉三用電表，並製作規格化的電池。</p>	 同學完成規格化需要進一步試驗的鋁空氣電池
7-11	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 說明如何繪製紀錄表格與對應的關係圖</li> <li>● 製作規格化碳鋁電池，並記錄鋁空氣電池數據</li> </ul> <p>● 小組合作完成特定變因的鋁空氣電池數據。</p>	 學生完成實驗數據記錄表，並完成數據收集
12-13	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 利用數位工具 Canva 準備小組報告</li> <li>● 小組成員藉由共編完成口頭報告海報。</li> </ul>	 學生完成小組口頭報告海報
14-15	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 上台發表各組成果</li> </ul> <p>● 小組同學上台說明組內的實驗成果 ● 師生進行互評與回饋</p>	 學生完成上台報告、小組互評表

16	● 進行 CER 論證	● 學生完成 CER 學習單。
	● 以學生自己的實驗成果進行 CER 論證，說明假說與證據之間的關係。	
17-18	● 試驗以班級上各組同學實驗鋁空氣電池的最佳條件，進行 LED 燈發亮 ● 小組成員思考並完成 LED 發亮試驗。	● 學生能夠利用鋁空氣電池，讓 LED 燈發亮
19	● 概要複習與統整說明本學期的課程內容 ● 統整說明本學期鋁空氣電池與科學探究的關係 ● 回顧學生在不同科學探究歷程的發展情形。	● 教師統整學期學習概況
20	● 填寫後測與回饋問卷 ● 學生能夠完成後測問卷，檢視整學期探究能力的發展 ● 學生完成回饋問卷，以回顧整學期發展困難與需要協助之處	● 學生完成後測與回饋問卷

#### （四）資料編碼與分析

本研究所蒐集之資料區分為質性與量化兩個部份，其中質性資料包括學生科學探究能力問卷，以及學生的口頭報告內容。量化資料主要是將學生的質性資料依照評量規準進行評比而轉化為分數，並以單組前、後測相依樣本  $t$  檢定進行統計分析，以評估教學活動對學生科學探究能力的學習成效。另外，支持教學活動的佐證資料，包括：課堂之學習單、教師教學筆記與課室錄影等內容，能作為相關教學與成果的佐證資料。

### 四、研究成果

#### （一）在實施「議題導向教學」時，教師如何規劃教學活動與協助學生優化學習內容？

##### 1. 提供能夠簡易試驗與學生經驗連結的探究題材

電池是學日常生活 中隨處可見的物品，無論是手機電池還是遙控器電池，學生對其並不陌生。鋁空氣電池的製作材料容易取得，操作過程也相對簡單，具有很大的研究與發展潛力。在實驗過程中，學生將鋁片與電解質溶液等元件結合，並使用三用電表親自測量產生的電壓與電流，體驗到不同於直接購買乾電池或使用交流電的實驗樂趣與成

就感。

## 2. 依據不同的探究歷程設計不同階段的探究活動

課程規劃具備完整的科學探究歷程，每個階段都有明確的學習目標與活動安排。在發現問題階段，教師先介紹科學探究的基本概念，以綠色植物需要日光的簡單例子建立學生的認知基礎，接著引導學生討論影響鋁空氣電池效能的各種變因，並繪製變因關係圖。規劃與研究實驗階段著重於讓學生學會操作技能，包括使用三用電表、製作規格化電池，並明確區分操作變因、應變變因與控制變因。並且進行實驗數據的收集，學習製作紀錄表格。論證與建模階段強調科學論證能力的培養，透過主張-證據-推理架構(CER)訓練學生的邏輯思考，學習如何以科學方式分析數據並提出合理的結論。

## 3. 搭配學習單讓學生有所依循並紀錄所學內容

以學習單作為工具，嘗試幫助學生清楚了解探究歷程並進行記錄，藉由學習單內容的學習指引，讓學生能夠在教師的引導下完成探究活動，並記錄學習成果。首先介紹發現問題、規畫與研究、論證與建模、表達與分享四個階段，並以植物生長的例子具體說明探究過程。接著，以變因關係圖要求學生繪製影響鋁空氣電池效能的各種因素與其之間的可能關係。實驗設計引導學生區分操作變因、應變變因、控制變因，並撰寫研究假設與實驗步驟。再透過實驗數據的記錄表格，讓學生思考該收集與紀錄那些實驗數據，並繪製關係圖進行數據分析。再以 CER 的論證架構，訓練學生的論證能力，幫助學生從數據分析到結論表達的完整學習經驗。

## 4. 著重鷹架提供，讓每位學生在課堂能夠積極投入

教師透過多元鷹架的支持，期望學生能夠積極參與學習活動。在認知方面，教師從學生熟悉的綠色植物入手，循序漸進地引導學生建立科學探究的概念。在操作層面，教師提供詳細的三用電表使用示範、標準化鋁空氣電池製作的流程，以及實驗表格範例，幫助學生模仿並繪製數據表格。同時，透過師生互動與同儕小組合作學習的社會鷹架，使學生能深化對概念的理解，合作完成實驗探討與數據成果分享。

### (二) 國三學生在教學前、後，科學探究能力的表現差異為何？

為了解學生教學前、後科學探究能力差異情形，研究者將學生作答情形，依「總分」

以及分項構念「提出預測」、「確認問題」、「辨識變因」、「規劃實驗」、「分析資料」、「提出主張」、「運用證據」、「產生推理」進行單組前後測t檢定，結果整理於表5。結果顯示學生教學前、後科學探究能力所有類別，包括「總分」( $p < .05$ )、「辨識變因」( $p > .05$ )、「確認問題」( $p > .05$ )、「規劃實驗」( $p < .05$ )、「提出主張」( $p < .05$ )、「運用證據」( $p < .05$ )、「分析資料」( $p > .05$ )、「產生推理」( $p < .01$ )、「提出預測」( $p < .01$ )皆達顯著差異。

表5 科學探究能力單組前、後測t檢定( $N = 71$ )

項目	試驗	平均	標準差	95%信賴區間		t 值	p	Cohen' d
				上界	下界			
總分	前測	7.24	5.48	4.64	2.35	6.100	.000***	0.72
	後測	10.73	6.67					
辨識 變因	前測	1.31	1.01	0.92	0.43	5.557	.000***	0.66
	後測	1.99	1.06					
確認 問題	前測	0.76	0.95	0.79	0.31	4.577	.000***	0.54
	後測	1.31	1.10					
規劃 實驗	前測	0.51	0.84	0.65	0.23	4.133	.000***	0.49
	後測	0.94	0.95					
提出 主張	前測	0.61	0.78	0.53	0.11	3.064	.003**	0.36
	後測	0.93	0.90					
運用 證據	前測	0.72	0.81	0.49	0.11	3.116	.003**	0.37
	後測	1.01	0.90					
分析 資料	前測	1.66	1.35	0.77	0.08	2.454	.017*	0.29
	後測	2.08	1.31					
產生 推理	前測	0.94	0.92	0.54	0.05	2.444	.017*	0.29
	後測	1.24	1.05					
提出 預測	前測	0.73	1.09	0.78	0.20	3.380	.001***	0.40
	後測	1.23	1.19					

\*  $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; \*\*\* $p < .001$

### (三) 教學之後，學生對於課程內容的收穫、學習困難、反思與評價為何？

#### 1. 學生認為在課堂中遭遇的困難之處

##### (1) 不易找尋鋁空氣電池的實驗各項變因

學生認為鋁空氣電池實驗的困難主要在於變因的選擇與控制。C班10號提到能「選擇的項目太多，難以決定操作變因」；C班22號指出「三用電表因指針式設計導致數據偏差」；A班17號表示實驗過程中可能「無法控制其他變因而影響結果」；A班18號則

提到「手部抖動難以穩定電表讀數」。解決之道可透過簡化變因選擇、使用電子式電表提升準確性，以及提供穩定操作的輔助工具來改善問題。

#### **(2) 實驗設計規劃與操作技能不足**

學生在實驗設計規劃與操作技能方面面臨多種困難。A 班 26 號提到「製作食鹽水濃度時，難以確保每次份量平均且完全溶解」；B 班 22 號表示「實驗操作與將構想付諸實行非常困難」；A 班 03 號提到可能遇到「步驟不清或材料選擇」的問題；A 班 07 號則指出「雖有教師指導與資料，但在實際操作時仍感到無從下手」。這些問題顯示學生在規劃與執行實驗時，缺乏熟練的技能與信心，需要更多的引導與練習。

#### **(3) 實驗結果與預期不符時不知如何修正**

學生在面對實驗結果與預期不符時，會感到困惑且不知如何修正。A 班 04 號提到「測電壓時有時測不到，懷疑自己操作錯誤而需重做」；C 班 10 號表示「疊加電池數後電壓未顯著增加，結果與預期不符」；A 班 01 號指出「假設與實作數據不同，思考出的結論無法與實驗結果一致」；B 班 11 號則提到「操作中可能因鹽水比例或鋁箔厚度等失誤，導致結果偏差」。這些問題反映學生在實驗結果偏離預期時，較難即時進行調整與修正。

#### **(4) 報告該如何呈現與上台避免緊張**

學生在報告呈現與上台時，面臨緊張與表達困難的挑戰。B 班 05 號提到「報告時容易緊張，不知講什麼時會尷尬」；B 班 04 號認為報告「需充分準備以應對各種問題」；A 班 05 號強調報告「需完整說明實驗過程，並清楚表達讓台下理解」；A 班 07 號表示「害怕上台講解，導致緊張」；B 班 19 號則提到報告時需要「截取重點並清晰呈現內容有困難」。這些問題顯示學生需要加強準備與練習口頭報告，並學習清楚簡潔地表達以減輕緊張感。

#### **(5) 團隊該如何合作與溝通**

小組成員的團隊合作與溝通在實驗中至關重要。C 班 13 號認為「需要協調組員間的工作分配，否則容易陷入混亂」；A 班 25 號指出「2-3 人一組時需合理分工，但特殊想法可能導致無法融入」；C 班 01 號提到「部分隊友不投入，僅少數人在認真完成報告」。這些問題顯示團隊應加強溝通，明確分工並互相支持，確保每位成員都能參與貢獻。

### **2. 學生在課堂中如何針對困難進行解決**

#### **(1) 向他人學習並尋求協助**

在學習過程中，向他人學習並主動尋求協助能有效解決困難。A 班20號提到會「主動向同學和老師尋求幫助，學習實驗技巧與控制方法」；A 班03號表示在「遇到問題時會舉手詢問老師，清楚說明不會的部分」；C 班24號則「觀察成績較好的同學操作，並一步步學習」。這些例子顯示，透過請教他人與觀摩學習，可以克服操作上的困難並提升技能。

#### **(2) 有意義的調整方法並反覆試驗**

在實驗過程中，面對困難時需要調整方法並進行反覆試驗。C 班16號指出「運用已學知識不斷修正影響因素，調整實驗方式」；A 班08號強調「進行實驗時需思考每步驟是否與實驗目標相符」；A 班05號提到「使用滴管和磅秤等工具確保濃度配製的準確性」；C 班11號對於鹽水濃度不均勻則認為「改變實驗方法以解決不均勻問題」；C 班01號表示「即使多次失敗也不斷重試，最終達成成功」。這些例子顯示實驗過程需要有意義的調整與反覆試驗。

#### **(3) 心理調適與多加練習以完成報告**

準備與進行口頭報告時，心理調適與多加練習是關鍵。B 班05號提到「透過多次練習和討論來完善報告內容」；A 班05號強調「與組員分享想法，討論出完整的報告內容」；C 班20號認為上台報告分享時「調整心態是重要環節」；A 班7號則表示「透過內心自我鼓勵與深呼吸來穩定情緒」。這些方法顯示，透過練習、合作與心理調適，可以更從容地完成報告。

#### **(4) 小組分工合作與討論修正**

學習任務的達成需要小組分工合作與修正討論。A 班23號提到「與組員多次討論並慢慢修正」；B 班22號強調「努力與組員溝通並教導實驗操作」；B 班07號指出「透過討論找出問題並進行調整以獲得正確數據」；B 班18號提到「控制變因並記錄下來以免遺忘」；C 班10號則表示「在報告前分配每位組員的負責部分」。小組需要分工與討論，較能有效完成實驗與報告。

### **3.學生對於課程的收穫**

#### **(1)深化科學知識的理解**

透過實驗與學習活動，學生認為對科學知識的理解更加深入。C 班10號提到「為了計算操作變因，練習了重量百分濃度與莫耳濃度的換算過程」；A 班04號表示「了解鋁空氣電池的運用，並能將其應用於生活中」；B 班02號則提到「更明白自己在學習什麼，並非死記硬背，而是理解知識如何實際運用」。這些經驗呈現學生透過實驗過程的實踐將科學知識內化。

#### **(2) 實驗操作技能的提升**

透過實驗活動，學生學會多項操作技能。A 班24號提到「獲得實驗操作經驗，學會準確控制實驗條件，並培養耐心與細心的品質」；B 班05號表示「在操作過程中學會製作鋁空氣電池及使用三用電表」；A 班11號提到「學會使用三用電表並思考影響電壓的因素，遇到問題時主動尋找答案」；A 班20號則認為最大的收穫是「學會如何製作鋁空氣電池且具環保性」。

#### **(3) 團隊合作精神的培養**

為了解決不同階段的探究任務，學生需要進行小組互動，以培養團隊合作。A 班05號提到「增加與他人溝通的機會，了解團隊合作與彼此互相幫助的重要性」；C 班13號強調在「製作鋁空氣電池的過程中，學習到分工合作的重要」；C 班23號則表示最大的收穫是「與組長一起學會什麼是團隊合作」。

#### **(4) 口語表達能力的提升**

透過上台報告分享，學生認為能夠促進口語表達能力，思考如何融和多種內容以求在短時間內讓聽者理解。C 班16號提到「在報告中能了解其他組的理念成果，並訓練自己的口條能力」；C 班10號表示「學會將複雜的實驗過程以簡單的話語與圖片呈現，提升報告的吸引力」；B 班10號則提到「雖然仍會緊張，但比以前進步許多，並認為多次上台報告的機會是最大的收穫」。

### **五、討論**

本研究以鋁空氣電池為載體，設計探究取向的彈性課程，旨在發展學生的科學探究能力。透過長時間的教學實施，讓國九學生經歷完整的探究歷程，包含發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等四個階段。

### **(一)探究能力發展的理論驗證與實證支持**

本研究基於學生探究能力的養成與發展需要長時間投入的論述(例：鐘建坪，2013)。透過整學期的彈性課程實施，學生在科學探究能力總分達到顯著提升( $p < .001$ ，Cohen's  $d = 0.72$ )，這一結果不僅支持長期投入探究教學的重要性，更提供具體量化證據。同時，本研究依循自然領綱強調的四階段探究歷程進行課程設計，讓學生體驗從發現問題到表達分享的完整科學探究過程。這種設計理念與 Crawford(2014)及 Fang 等人(2016)的研究發現相互呼應，證實完整探究歷程對於培養學生概念深入與探究能力的重要性。

### **(二) 教學載體選擇的創新與比較**

相較於鐘建坪(2023)的水質檢測課程和曾茂仁等人(2023)的細菌檢測課程，本研究選擇鋁空氣電池作為探究載體。鋁空氣電池不僅材料容易取得、操作相對簡單，更重要的是與學日常生活經驗具有高度連結性，且鋁空氣電池能兼具環保概念與未來發展的可能性，這種選擇呼應 NRC(2000)強調的探究教學應與學生生活經驗結合的理念。此外，本研究採用露營情境作為探究背景的設計，相較於傳統實驗室情境更貼近生活應用，這種情境化的學習設計與 Krajcik 和 Shin(2023)提出的專題導向教學架構中「理解欲探究的情境」要素相呼應，有助於提升學生的學習投入。

### **(三)依據探究學習困難，預先規劃對應的鷹架策略**

針對探究學習過程中可能遭遇的困難，本研究參考鐘建坪和鍾曉蘭(2024)提出的探究學習困難表，預先規劃對應的鷹架策略。研究結果驗證學生在「不易找尋實驗各項變因」、「實驗設計規劃與操作技能不足」、「實驗結果與預期不符時不知如何修正」等方面確實遭遇困難，這些發現與 de Jong 和 van Joolingen(1998)、Kuhn 等人(1992)的研究結果高度吻合。學生常將實驗活動的主要目的理解為遵循指示，而未能掌握更重要的概念性或程序性目標，因此需要讓學生有更多時間去觀察、反思和建構實驗背後的概念知識，或是藉由 SageModeler 等模擬軟體協助學生支持關於變因關係的確認。

### **(四)探究能力表現層級仍然有所侷限**

經過整學期的探究取向彈性課程教學，學生在各項探究能力均有顯著提升，顯示課程對於提升學生的科學探究能力具有正向效果。然而，從表現層級分析可以看出，學生

的能力發展仍存在一定的侷限性。例如在「確認問題」、「規劃實驗」、「提出主張」、「運用證據」、「產生推理」與「提出預測」這六項能力中，仍有半數以上學生停留在較低層級(0或1級)，顯示他們在資料處理與邏輯推理方面的能力尚未完全成熟。然而，「辨識變因」與「分析資料」有半數以上學生停留在較低層級(0或1級)，而到達較高層約莫只有10%(3級)。而「辨識變因」與「分析資料」能力的高層級表現(2或3級)比例分別從36%與54%達到71%與82%，可能與學生基礎能力較高有關。整體而言，課程確實促進了學生的探究能力發展，但未來需針對低層級表現的學生進行更具針對性的輔助教學，以突破其發展瓶頸並縮小能力差距。

## 六、結語

本研究顯示，鋁空氣電池探究與實作教學模組能有效提升學生的探究能力。然而，部分高階探究能力的發展仍需進一步關注，教師在實施課程時需克服多方面挑戰。未來可針對教學模組設計進一步優化，並加強針對性教學支援，以促進學生全面的探究能力發展。相關結語如下：

### 1. 規劃與實施鋁空氣電池之探究與實作教學模組

本研究藉由文獻探討與分析，釐清探究能力的本質，再與教師進行共同備課，設計並實施鋁空氣電池的探究與實作教學模組。藉由課程的施行，學生能夠理解電池的運作原理、三用電表的使用，以及串、並聯概念等相關概念。探究過程中不僅讓學生思考變因、設計實驗，並實際進行操作與紀錄等動手操作的經驗，還培養學生解釋、推理等的科學探究能力。

### 2. 以鋁空氣電池為主題提供學生體驗完整的科學探究歷程

以鋁空氣電池為主題，提供學生體驗完整的科學探究歷程，包括：確認問題、找出變因之間的關係、規劃實驗、收集數據、分析數據以及解釋結果等。讓學生能夠深入了解科學探究的歷程和方法，期待能夠提高對於科學探究的認識知識(epistemic knowledge)。

### 3. 探討教師施行鋁空氣電池探究教學課程模組，遭遇的困難、挑戰與解決之道

雖然文獻已經提供教師在實行探究歷程中可能遭遇的困難，但是不同的教學模組、不同的對象可能存在些微的差異。通過教學實踐的過程分析實際教學中的問題和挑戰，為教師提供更好的教學策略和方法。

#### 4.探討學生在探究教學模組中探究能力發展的差異

不同的學生其探究能力會有所差異。藉由了解不同學生在探究能力上的差異，教師需要針對性地調整教學策略，以滿足學生的學習需求，並提供更有效的評量和反饋。例如：針對不同學習能力的學生提供適切的鷹架補助，以促成未來課堂之內差異化探究的施行。

### 參考文獻

吳百興(2018)。建構高中學生探究能力之影響模式：從學習經驗、科學好奇心以及科學投入的因素進行探討。未出版之博士論文。臺北：國立臺灣師範大學科學教育研究所。

吳美美(2009)。探究小組協作資訊尋求的成功與困難因素。教育資料與圖書館學，47(2)，123-146。

林小慧、吳心楷。科學探究能力評量之標準設定與其效度檢核。教育心理學報，50(3)，473 – 502。DOI:10.6251/BEP.201903\_50(3).0005

洪逸文、王靖華(2021)。科學探作與實作：從 why 到 what- 探究問題的層次在教學與學習的意義。臺灣化學教育，42。http://chemed. chemistry.org.tw/?p=40257

國家教育研究院(2018)。十二年國民基本教育課程綱要：自然科學領域。新北市：國家教育研究院。

曾茂仁、王秀勻、楊全琮(2023)。自然科學領域彈性學習課程：細菌檢測。臺灣化學教育，53。http://chemed.chemistry.org.tw/?p=43269

魯俊賢、吳毓瑩(2007)。過程技能之二階段實作評量：規劃、實踐與效益探究。科學教育學刊，15(2)，215-239。DOI:10.6173/CJSE.2007.1502.05

鐘建坪(2013)。模型本位探究策略在不同場域學習成效之研究。未出版之博士論文。臺北：國立臺灣師範大學科學教育研究所。

鐘建坪(2023)。發展探究與實作取向的彈性水質檢測課程。臺灣化學教育，53。

http://chemed.chemistry.org.tw/?p=43484

鐘建坪、鍾曉蘭(2024)。探究與實作紙筆測驗的規劃與實施。載於邱美虹(主編)，*探究與實作評量*(227-257 頁)。臺北：臺師大出版中心。

*Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. The Science Teacher, 72(7), 30–33.*

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research, 63*(1), 1-51. <https://doi.org/10.3102/00346543063001001>

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction, 19*(3), 323-393. <https://www.jstor.org/stable/3233918>

Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, volume II* (pp. 515– 541). Routledge.

de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research, 68*(2), 179-201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>

Doymus, K, Karacop, A, & Simsek, U. (2010). Effects of jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. *Educational Technology Research and Development, 58*(6), 671–691. <https://doi.org/10.1007/s11423-010-9157-2>

Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the Learning Sciences, 8*(3-4), 391–450. <https://www.jstor.org/stable/1466642>

Fang, S. C., Hsu, Y. S., Chang, H. Y., Chang, W. H., Wu, H. K., & Chen, C. M. (2016). Investigating the effects of structured and guided inquiry on students' development of conceptual knowledge and inquiry abilities: a case study in Taiwan. *International Journal of Science Education, 38*(12), 1945-1971. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1220688>

Fang, S. C., Hsu, Y. S., Chang, H. Y., Chang, W. H., Wu, H. K., & Chen, C. M. (2016). Investigating the effects of structured and guided inquiry on students' development of conceptual knowledge and inquiry abilities: A case study in Taiwan. *International Journal of Science Education, 38*(12), 1945-1971. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1220688>

He, P., Chen, I. C., Touitou, I., Bartz, K., Schneider, B., & Krajcik, J. (2023). Predicting

- student science achievement using post-unit assessment performances in a coherent high school chemistry project-based learning system. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(4), 724–760. <https://doi.org/10.1002/tea.21815>
- Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. *International Journal of Science Education*, 26(1), 47–62. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070342>
- Hunter, K. H., Rodriguez, J. M. G., & Becker, N. M. (2021). Making sense of sensemaking: using the sensemaking epistemic game to investigate student discourse during a collaborative gas law activity. *Chemistry Education Research and Practice*, 22, 328-346. <https://doi.org/10.1039/D0RP00290A>
- Jeong, H., Songer, N. B., & Lee, S.-Y. (2007). Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37(1), 75-97. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9014-9>
- Jong, J. P. (2016). The effect of a blended collaborative learning environment in a small private online course (SPOC): A comparison with a lecture course. *Journal of Baltic Science Education*, 15(2), 194-203. <https://doi.org/10.33225/jbse/16.15.194>
- Kapon, S. & Schvartz, M. (2024). Guided Inquiry into a Physics Equation. *Cognition and Instruction*, 42(1), 159-206. <https://doi.org/10.1080/07370008.2023.2197232>
- Klahr, D., Fay, A. L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25(1), 111-146. <https://doi.org/10.1006/cogp.1993.1003>
- Klein, M. F. (1986). Alternative curriculum conceptions and designs. *Theory Into Practice*, 25(1), 31-35. <https://doi.org/10.1080/00405848609543195>
- Kollar, I., Fischer, F., & Slotta, J. D. (2007). Internal and external scripts in computer-supported collaborative inquiry learning. *Learning and Instruction*, 17(6), 708–721. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.021>
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313- 350. <https://doi.org/10.1080/10508406.1998.9672057>
- Krajcik, J., & Shin, N. (2023). Student conceptions, conceptual change, and learning progressions. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education III* (121-157): Routledge.

- Kuhn, D., Schable, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9(4), 285-327.  
<https://www.jstor.org/stable/3233558>
- Kuo, C. Y., Wu, H. K., Jen, T. H., & Hsu, Y. S. (2015). Development and validation of a multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities. *International Journal of Science Education*, 37(14), 2326-2357.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1078521>
- Lawinside (n.d.). *Alternative curriculum define*.  
<https://www.lawinsider.com/dictionary/alternative-curriculum>
- Li, T., Huang, M., Bai, X., & Wang, Y. X. (2023). Metal-air batteries: A review on current status and future applications. *Progress in Natural Science: Materials International*, 33(2), 151-171. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2023.05.007>
- Llewellyn, D. (2011). *Differentiated science inquiry*. Thousand Oaks, California: Corwin Press.
- Nakiboglu, C., Rahayu, S., Nakiboglu, N., & Treagust, D. F. (2024). Exploring senior high-school students' understanding of electrochemical concepts: patterns of thinking across Turkish and Indonesian contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 25, 42-61. <https://doi.org/10.1039/D3RP00124E>
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. National Academies Press.
- Olabi, A. G., Sayed, E. T., Wilberforce, T., Jamal, A., Alami, A. H., Elsaid, K., Rahman, S. M. A., Shah, S. K., Abdelkareem, M. A. (2021). Metal-air batteries—A review. *Energies*, 14, 7373.
- Özkanbaş, M. & Kırık, Ö. T. (2020). Implementing collaborative inquiry in a middle school science course. *Chemistry Education Research and Practice*, 21, 1199-1217.  
<https://doi.org/10.1039/C9RP00231F>
- Szalay, L., & Tóth, Z. (2016). An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 923-961.  
<https://doi.org/10.1039/C6RP00044D>
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: making

science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.

[https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2)