

# 教育部 114 學年度中小學科學教育專案期中報告大綱

計畫名稱：發展探究取向彈性課程：以簡易水質過濾器為主題培養學生  
科學探究能力與認識論知識

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、執行單位對計畫支持(援)情形與參與計畫人員

本項專案研究計畫參與人員為計畫主持人以及協同主持人。行政人員協助計畫送審以及相關經費核銷事宜。行政對口單位成員包括：校長、教務主任、教學組長、設備組長、以及相關協助行政人員。學校方面非常樂見教師能夠自主申請專案計畫進行行動研究，同時也全力配合研究方案進行。

## 二、研究計畫之背景及目的

### (一) 研究計畫的背景與動機

探究學習是一種主動學習的過程，讓學習者透過系統性的觀察、實驗和研究來建構知識。這個過程涵蓋從觀察現象、提出問題到收集分析數據，最終形成結論和模型等多個關鍵階段。現代教育改革特別強調讓學生體驗真實的科學探究過程，以培養其科學思維和探究能力(國家教育研究院，2018；NGSS Lead States, 2013)。

認識論知識(epistemic knowledge)是指對知識本質的理解，包含知識如何被建構、驗證與發展的過程(Sandoval et al., 2016；OECD, 2019)。探究與認識論知識(epistemic knowledge)之間存在密切的互動關係。探究不僅是一種學習方法，更是建構認識論知識的重要途徑(Duschl & Grandy, 2013)。透過探究過程，學習者得以理解科學知識如何被建構、驗證與發展，這正是認識論知識的核心內涵。

經濟合作暨發展組織(Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) (2019)強調科學教育應同時關注探究能力的培養與認識論知識的發展。Soulios 和 Psillos (2016) 發現職前教師進行模型本位探究(model-based inquiry)之後，對科學中模型的本質與目的理解有所提升，同時對科學現象的概念理解也有所改善。然而，研究發現教師在認識論知識的教學上仍面臨挑戰(Start et al., 2023)，建議應著重開發能同時促進探究能力與認識論知識發展的教學策略，並建立更完善的評量工具(Johnston et al., 2017; Vorholzer et al., 2022; Zetterqvist & Bach, 2023)。

有鑑於此，教學現場需要進一步探討如何促進學生探究能力與認識論知識發展的教學策略。意即如何透過教師創造具支持性的學習環境，引發學生的學習動機，鼓勵其動手實作與主動探索，協助學生不僅建立科學概念、發展探究技能，更能理解科學知識的來源與建構歷程，進而培養認識論知識，亦即學生對知識建構的核心概念與價值，以及不同推理方式如何用來證成我們如何知道某事的理解 (Kind & Osborne, 2017)。雖然目前教科書的實驗設計已納入探究式教學活動，但多限於短期食譜式實驗的設計，難以讓學生深入體驗完整的研究歷程。研究指出，科學探究能力與認識論知識的培養需要持續且深入的學習過程(鐘建坪，2013；Yang et al., 2018)。因此，善用彈性課程進行長期的主題式探究教學，將是提升學生科學探究能力與認識論知識的重要途徑。

## (二) 文獻探討與理論基礎

### 1. 探究學習與相關研究

探究學習是一種強調學生主動學習的方法，有助於培養學生的探究能力並提升學習成效。相關研究顯示，探究學習對學生的概念理解、過程技能，以及情意態度都有正面的影響 (Crawford, 2014; Fang et al., 2016; Jegstad, 2024)。然而，探究學習的實施需要教師具備相關的知識和技能，並搭配適當的資源和評量方式 (Bell et al., 2010; Strat et al., 2023; Wu & Wu, 2020)。此外，研究亦發現，探究學習的成效會受到學生的先備知識、學習動機，以及教師的教學能力諸多因素的影響 (Jegstad, 2024)。因此，在實施探究學習時，應根據學生的具體情況進行調整，例如：設計符合不同學習準備度學生的探究活動、提供充分的支持和引導，或鼓勵學生之間促進心智互動的合作學習 (Hunter et al., 2021; Jong, 2016; Kapon & Schwartzer, 2024; Llewellyn, 2011; Özkanbaş et al., 2020)，方能達到最佳的學習效果。

### 2. 探究能力與其評量研究

在探究學習的歷程中培養學生的探究能力已成為現代科學教育的核心目標(Wu & Wu, 2020)。國際間對探究能力的研究提供了豐富的理論基礎，美國國家科學研究委員會(National Research Council, NRC)將探究能力定義為學生模擬科學家探索自然世界，並基於證據進行論證與解釋的綜合能力(NRC, 2000)。十二年國民基本教育自然領域課程綱要(簡稱自然領綱)將探究能力分為思考智能與問題解決兩大面向。思考智能強調想像創造、推理論證、批判思辨、建立模型；而問題解決涵蓋觀察與界定問題、規劃與執行研究、分析與發現結果、討論與傳達成果(國家教育研究院，2018)。

Kuo 等(2015)將探究能力視為在探究活動中所需的知識與技能，即認為科學探究能

力即是探究歷程中特定類別向度的能力項目(Vo & Simmie, 2025)。學者 Vo 和 Simmie 系統性分析 2000 年至 2024 年間評量科學探究能力的研究，發現探究能力的評量主要有四大類別向度，包括：形成問題與假設、設計實驗、分析數據、歸納結論。其向度與內容與自然領綱探究能力中問題解決向度是相符合的能力。

當教師進行探究教學時，需要考量如何評估學生的探究能力。探究能力評量方式多元，可以透過錄影觀察學生的探究能力表現(e.g., Emden and Sumfleth, 2016)，或是藉由紙筆測驗方式進行(e.g., Lin & Shie, 2024)。目前藉由科技發展，許多探究能力試題已藉由數位網路環境進行評量(e.g., Kuo et al., 2015)。因此，當教師進行探究教學的同時，需要考量並發展對應的探究能力試題，以評量學生的探究能力(林小慧、吳心楷，2019)。

### 3. 認識論知識與評量架構

認識論知識(epistemic knowledge)涉及對科學知識建構與驗證過程的理解(Yang et al., 2018)。根據國際學生能力評量計畫(The Programme for International Student Assessment, PISA)2018年科學框架，科學素養所需的能力受到內容知識、程序性知識和認識論知識的影響(OECD, 2019)。其中，認識論知識被定義為兩個主要面向：其一是科學的基本構念與定義性特徵；其二是這些構念與特徵在檢驗科學知識過程中的作用(OECD, 2019, 2023)。具體而言，認識論知識包括的層面：(1)對科學觀察、事實、假說、模型和理論本質的理解；(2)對科學目標的理解，即產生可靠的自然世界解釋、預測未來事件，並將此與技術應用加以區分；(3)對科學價值觀的理解，例如重視同儕審查的出版、追求客觀性及消除偏見；以及(4)對科學推理本質的理解，包括演繹、歸納、溯因、類比及基於模型的推理等(OECD, 2023)。

Yang 等人(2018)發展評量高中生科學認識論知識(Epistemic Knowledge of Science, EKS)，探討與學習者的學習時間、興趣、自我效能及性別等的關係。該研究提出科學認識論知識包含六個向度：(1)科學知識的地位(Status of scientific knowledge, EKS1)：描述科學知識的形式與地位，包括：假設、理論、模型和概念等。(2)科學實務的本質(Nature of the scientific enterprise, EKS2)：強調科學活動中的合作、溝通、同行評議，以及科學家個人創造力的角色與價值。(3)科學測量(Measurement in science, EKS3)：探討測量與誤差之間的關係，以及測量誤差如何影響科學知識的可信度。(4)科學中模型的使用(Use of models in science, EKS4)：說明物理系統或抽象模型在科學中的目的與作用。(5)科學中的推理與論證(Reasoning and argumentation in Science, EKS5)：涉及科學推理，包括演繹、歸納、溯因、類比、基於模型的推理及論證過程。(6)探究的角色(Role of Empirical

Inquiry, EKS6)：探討不同形式的探究在建立科學知識中的功能與目標，例如：假設檢驗或辨識自然世界中的模式以建立解釋性模型。綜合而言，Yang 等人的研究有助於深入了解學生的學習背景因素如何影響其對科學認識論知識的理解，並提供教育實務在培養學生科學認識論知識的具體參考。

#### 4. 認識論知識的相關研究

過去的科學教育研究多集中於學生的內容知識與程序性知識，但對認識論知識的探討相對較少(OECD, 2019)。研究指出，許多學生在回答 PISA 認識論知識相關問題時，傾向聚焦於科學現象的內容知識或科學方法本身的程序性知識，而非直接運用認識論知識(Zetterqvist & Bach, 2023)。這種現象可能呈現出認識論知識相較於內容知識與程序性知識更具挑戰性，且學校教育中通常重視內容知識與程序性知識的學習(Zetterqvist & Bach, 2023)。

科學探究即為科學模型的建構歷程(Jong et al., 2015)。Chen(2022)將科學建模視為一種認識論的實踐，特別關注學生在建模不同階段中所經歷的認識論不確定性(epistemic uncertainty)。研究結果顯示，認識論不確定性主要源於學生在應用認識論知識時遇到的挑戰，例如解釋現象、分析數據以及提出論證等。該研究將建模過程劃分為四個階段，詳細說明每個階段涉及的不同形式認識論不確定性，以及學生可以運用哪些認識論知識來促進知識發展。研究建議教師在建模過程中引導學生反思其認識論知識，幫助學生有效地應對認識論不確定性，從而促進知識的建構(Chen, 2022)。

另外，Yang 等人(2018)依據認識論知識架構設計類似 PISA 試題，以探討高中學生的認識論知識的差異。結果顯示，學生對於科學知識本質的理解優於對科學認知本質的理解，意涵臺灣的科學教學與學習較注重讓學生了解科學知識的形式與功能，但在幫助學生認識科學探究與論證的角色與價值方面所提供的機會較少。因此，若在探究課程提供更多論證的學習機會，能有效促進學生對科學認識論知識的理解。

#### 5. 探究取向的彈性課程

彈性課程屬於另有課程(Alternative Curriculum)(Klein, 1986)。學校提供不同於國家課程標準或綱要的課程內容，以強調跨領域學習、適性發展與選修課程的重要性(國家教育研究院，2018)。因應108課綱的要求，普通高中需要開設探究與實作必修課程，因此高中學生能夠實際歷經長時間且完整的科學探究，然而一般的國中、小學生若需要歷經長時間探究，則需要依賴彈性課程的開設。

國內已開發多項以探究導向為基礎的自然科彈性課程。例如：鐘建坪(2023)設計的

水質檢測彈性課程，透過引導學生設計簡易導電度計，檢測學校周邊溝渠水質，並結合環保署資料庫分析新店溪不同採樣點的水質，探索河川污染與特定成分的關聯。鐘建坪(2024)以鋁空氣電池為課程載體，讓學生經歷完整探究歷程。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，接著點亮 LED 燈，檢驗鋁空氣電池效能。學生透過實驗規劃、結果論證及報告分享，深化學習成效。曾茂仁等人(2023)則以專題導向的探究學習為基礎，開發細菌檢測課程，讓學生進行細菌採樣、培養與分析，探討校園清潔與消毒效果，並拍攝影片進行同儕評量。鄭志鵬(2023)以塑膠議題為主軸，規劃不塑之課的跨領域環境教育課程。首先認識問題階段，讓學生了解塑膠的基本特性、熱塑性與回收機制，並透過充滿塑膠的一天活動及實地淨灘體驗，認識人類對塑膠的依賴程度與其環境危害。再由學生思考與規劃沒有塑膠的兩週行動方案，思考如何在生活中實踐減塑。最後透過行動執行減塑計畫，並將成果整理成報告分享。課程最後，學生運用廢棄塑膠製作海報，統整學習歷程。整體課程除了培養學生對塑膠議題的意識與行動力，也著重培養資訊整理、討論表達等多元能力。

這些課程不僅強調跨科、跨領域學習與探究能力的培養，也注重學生的多元能力的提升。然而，如何在探究過程中兼顧學生探究能力與認識論知識的發展，仍需深入的探討。

## 6. 水質過濾純化

過濾(Filtration)是一種常見的分離技術，主要用於從液體或氣體中去除固體顆粒。其基本原理在於利用如濾紙、濾網或其他多孔材料等過濾介質來攔截固體顆粒，同時允許液體或氣體通過，例如：使用濾紙過濾咖啡渣，即利用濾紙的多孔結構，其孔隙尺寸足以讓咖啡液穿透，但足夠細密以阻擋較大的咖啡渣顆粒。

Karimi 等(2022)透過水質過濾相關的教育活動，發現有助於提升 K-16 學生對工程領域的興趣，並加深其對工程師在解決水資源挑戰中關鍵角色的理解。該活動涵蓋基礎過濾、奈米科技應用及水質檢測，並透過實作體驗、討論與反思，促進學生對水質過濾原理、方法及水質檢測工具的認識。例如：學生可利用透明 PET (Polyethylene Terephthalate)瓶填充天然過濾材料，如砂、鵝卵石與較大石塊，透過重力作用使污水流經過濾層，進而觀察與評估水質過濾後的變化。

## 7. 理念與研究架構

探究能力是學生在科學學習過程中的核心能力，涉及問題發現、假設建構、實驗設計、數據分析、論證與溝通等多個層面。雖然學生能從探究歷程獲得助益，但在不同的

探究階段仍須面臨諸多挑戰(鐘建坪、鍾曉蘭, 2024), 例如, 在發現問題階段, 學生因先備知識不足, 難以訂定可探究的假設與問題, 因此需要教師提供背景知識與範例指引。規劃與研究階段, 學生不熟悉研究系統, 難以釐清變因與規劃實驗, 因此需要教師指導變因控制與數據紀錄。論證與建模階段, 學生繪製圖表生疏, 難以從數據分析結果, 教師可引導變因設定與數據解讀。表達與分享階段, 學生報告內容侷限於文字, 缺乏完整歷程呈現, 教師可示範報告要點, 要求學生完整表達, 並鼓勵反思與評價。

同時, 認識論知識對於理解科學在探究中扮演的角色至關重要, 包括解釋科學結果的可信度、認識不確定性作為科學的本質、理解同儕評審如何維持科學的客觀性、辨識科學知識的界限, 以及理解科學知識如何隨時間由學術共同體建構(Chen, 2022)。然而, 如何協助學生在探究過程中發展認識論知識亦面臨挑戰, 例如: 學生對知識的本質缺乏理解, 難以判斷科學模型的適用範圍, 或無法有效評估數據與理論之間的關聯性。此外, 學生在建構知識時, 可能會因為對變因的操控或證據的解釋不夠嚴謹, 而產生錯誤推論(Chen, 2022; Yang et al., 2018)。因此, 在探究活動中, 教師需要適時引導學生理解科學知識的發展方式, 幫助他們克服認識論上的不確定性, 以期能夠同時發展科學探究能力與認識論知識。

有鑑於此, 本研究讓學生在有限的條件下, 自行設計與製作簡易水質過濾器, 並觀察水質過濾情形。同時參酌自然領綱探究學習內容, 融合探究學習與小組合作學習, 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(見圖1與圖2)。

首先, 教師引導學生認識乾淨水源的重要性與SDGs永續發展的理念, 並以日常生活中取得水源的困難作為切入點, 激發學生興趣。接著, 學生分組根據教師設定的限制材料, 繪製初步設計圖, 討論水質過濾的原理與可能遇到的問題, 並思考並繪製想要記錄濾液的觀察項目, 例如: 透明度、顏色及雜質變化等。完成初步實驗後, 學生透過觀察實驗結果及記錄遇到的困難, 發現設計中存在的缺陷與改進空間。此階段教師提供必要的背景知識與指導, 幫助學生釐清實驗變因、掌握數據紀錄, 並鼓勵彼此討論與反思。隨後, 學生根據初步結果進行設計修正, 繪製改進後的設計圖, 再次實作以驗證改良的效果。最後, 各組透過成果發表, 分享研究情境、初步規劃與修正設計的對比、實作過程中遇到的挑戰以及解決策略, 並進行相互評分, 以深化對科學探究與認識論知識的理解。

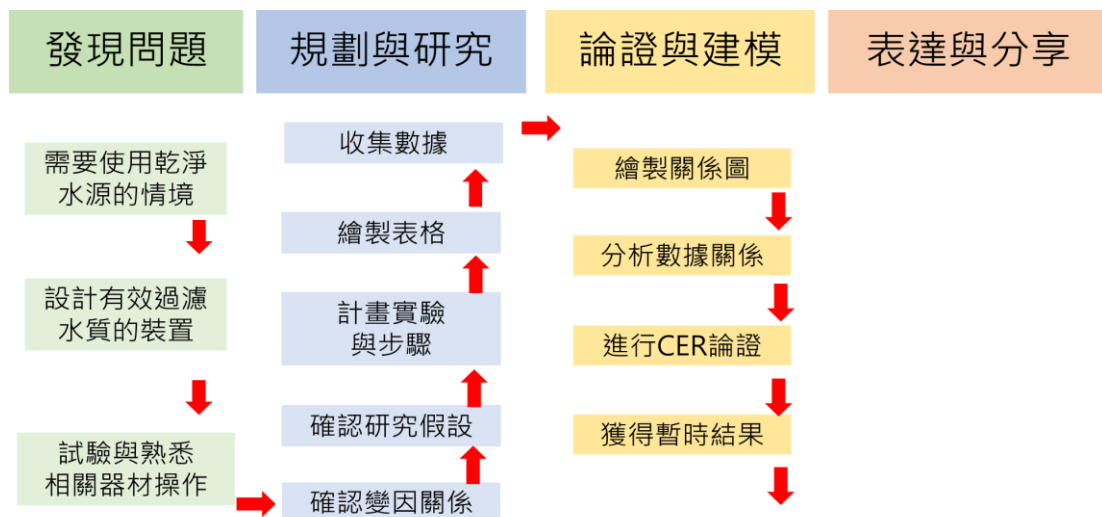


圖1：第一階段探究歷程- 設計與實作濾水裝置

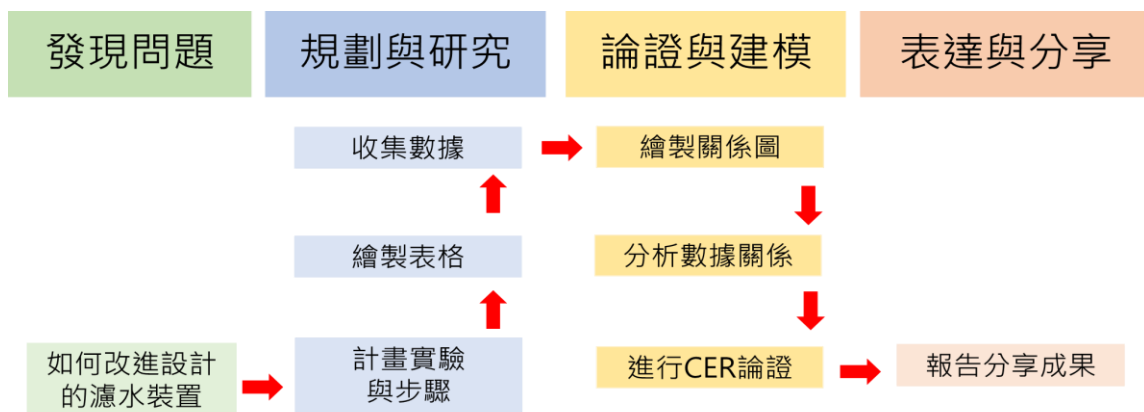


圖2：第二階段探究歷程-修正設計與實作濾水裝置

基於上述文獻分析與探討，本研究的研究目的主要發展水質過濾教學模組，強調如何在探究與實作的架構內，培養學生探究能力與發展認識論知識。研究問題臚列：

1. 國八學生在教學前、後，科學探究能力的表現差異為何？
2. 國八學生在教學前、後，認識論知識的表現差異為何？
3. 國八學生在教學前、後，科學探究能力與認識論知識的相關性為何？
4. 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？
5. 在實施「探究取向的彈性課程」時，教師遭遇的困難與其解決的策略為何？
6. 教學之後，國八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

本研究採用立意取樣方式，選取新北市某完全中學國中部八年級學生作為研究對

象。該校學區內家長的經濟環境多屬小康，每班約有一名學生持有低收入戶或中低收入戶證明。選擇八年級學生作為研究對象，主要考量其已適應國中生活，尚未面臨九年級的升學壓力，較能反映國中生的學習情況。

## (二) 教學活動設計

本研究工具主要為科學探究能力問卷與認識論知識問卷，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：

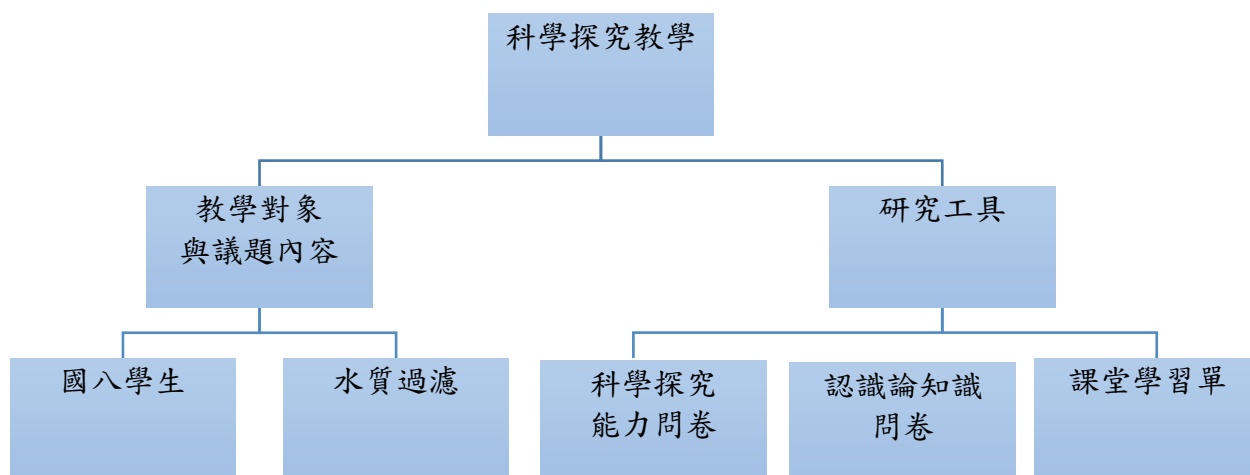


圖3：本研究之組織架構

### 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；Vo & Simmie, 2025)，例如：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(國家教育研究院，2018)。林小慧與吳心楷(2019)針對探究能力設計紙筆測驗試題，以觀察與定題、計劃與執行、分析與發現、推理與論證、推理與論證作為主要能力，再細分出探究次項目能力，包括：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。依據次項目能力設計對應的探究能力試題。本研究之探究能力之評量以紙筆測驗為主，因此參酌林小慧與吳心楷(2019)之探究能力架構進行設計。

#### (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

參考林小慧與吳心楷(2019)對科學探究能力的評估方法，將其分為觀察與訂題、計

畫與執行、分析與發現以及推理與論證四個層面。並根據次項目與內容說明，設計對應的試題與題號詳列於表 1 中。

表 1 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

所設計的探究能力試題採用半開放式題型，並參考 PISA 的評分方式，根據評量標準將學生的回答分為四個等級：3 分（回答完整且正確）、2 分（大部分正確但有部分遺漏）、1 分（僅部分正確）、0 分（未作答或回答與題目無關）。如表 2 所示，評分依據學生回答內容進行判定。

表 2 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	提出預測	能夠正確預測可能的關係，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
	確認問題	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

計畫與執行	辨識變因與控制變因。	能夠完全確認操作變因、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	規劃實驗	能夠依據研究問題，詳細說明如何驗證變項關係。	能夠依據研究問題，簡要說明或驗證變項關係。	能夠依據研究問題，簡要說明，但驗證變項關係有錯誤。	無法回答或是答非所問
分析與發現	分析資料	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	提出主張	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
推理與論證	運用證據	能夠依據圖表資訊的證據，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	產生推理	能夠依據圖表資訊的證據，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

## 2. 認識論知識試題與評量規準

本研究採用 Yang 等(2018)提出之認識論知識架構，包括：科學知識地位(ESK 1): 關注科學知識的形式和地位，包含假設、理論、模型和概念；科學事業本質(EKS 2): 強調合作、溝通、同儕審查和科學家個人創造力的角色與價值；科學測量(EKS 3): 測量與誤差之間的關係，以及測量誤差如何影響科學知識的可信度；模型使用(EKS 4): 物理系統和抽象模型作為科學啟發工具的目的和角色；科學推理(EKS 5): 科學中使用的推理類型，如演繹、歸納、假設、類比等；實證探究(EKS 6): 不同形式實證探究在建立知識中的功能和目標。

### (1) 認識論知識試題

問卷依據 Yang 等(2018)架構，設計6個情境題組，每個題組4小題，其中3題為單選題，另1題為簡答題，每個認識論知識向度各有4題，整份試題為24題，作答時間約35分鐘。試題分類項目如表3所示，而試題舉例如下。將進行專家審查，待修正後作為正式問卷。

表3 認識論知識試題向度與內容說明

向度	題目數量	試題題號與內容說明
科學知識地位 (EKS 1)	4題	5 : 地震預測模型差異處理 7 : 缺乏長期觀測數據的處理 17 : 區域性與全球趨勢差異處理 20 : 模型複雜度和預測能力的平衡
科學事業本質 (EKS 2)	4題	1 : 研究站數據差異處理 3 : 研究成果發表時機 4 : 時效性和嚴謹性的平衡 21 : 實驗室差異結果處理
科學測量 (EKS 3)	4題	2 : 預算超支的測量方案 13 : 系統偏差校正 15 : 未預期大氣成分的處理 16 : 太空探測數據可靠性確保
模型使用 (EKS 4)	4題	6 : 異常地震活動的解釋 8 : 地震預測模型的科學價值評估 14 : 環境觀測資料遺失處理 22 : 基因編輯預測模型考量
科學推理 (EKS 5)	4題	10 : 細菌生長模式的處理步驟 11 : 細菌群體行為研究優先順序 18 : 新舊測量方法數據差異處理 23 : 基因編輯非預期效應的處理
實證探究 (EKS 6)	4題	9 : 異常實驗數據處理 12 : 區分偶然現象與有意義發現 19 : 氣候預測模型偏差處理 24 : 確保基因編輯研究的科學性和安全性

## (2) 認識論知識評量規準

所設計的認識論知識問卷共有6題簡答題，評分規準參考 PISA 的評分設計模式，將學生的回答內容依照完整回答、部分正確或有些缺漏、無法回答或回答與問題無關，評分為2分、1分、0分（見表4）。教師與學生在課堂上一起根據學生的口頭發表進行評分。

表4 學生發表內容的評量規準

評分項目 與試題內容	評分結果		
	2分	1分	0分
科學知識地位 (模型複雜度和預測能力的平衡)	完整說明模型複雜度和預測能力的平衡	部分說明模型複雜度和預測能力的平衡	無法回答或是答非所問

<b>科學事業本質</b> (時效性和嚴謹性的平衡)	完整說明時效性和嚴謹性的平衡	部分說明時效性和嚴謹性的平衡	無法回答或是答非所問
<b>科學測量</b> (確保太空探測數據可靠性)	完整說明如何確保太空探測數據可靠性。	部分說明如何確保太空探測數據可靠性。	無法回答或是答非所問
<b>模型使用</b> (地震預測模型的科學價值評估)	完整說明地震預測模型的科學價值評估。	部分說明地震預測模型的科學價值評估。	無法回答或是答非所問
<b>科學推理</b> (細菌群體行為研究優先順序)	完整說明細菌群體行為研究優先順序。	部分說明細菌群體行為研究優先順序。	無法回答或是答非所問
<b>實證探究</b> (確保基因編輯研究的科學性和安全性)	能夠完整說明確保基因編輯研究的科學性和安全性。	簡要說明確保基因編輯研究的科學性和安全性。	無法回答或是答非所問

### (三)教學設計

本次教學活動以設計與實作簡易水質過濾器為起始，探討學生如何從探究歷程中發展探究能力與認識論知識(見表5)。首先，發現問題階段，教師以水資源安全與 SDGs 永續發展的理念引起學生關注，提出「如何用簡單材料自製水質過濾器」的探究問題。學生根據日常經驗探討如何在有限的材料下，設計裝置將混濁泥沙進行過濾以獲得乾淨的水源。此過程嘗試發展學生的問題意識，同時開始思考科學知識如何形成，以發展認識論觀念。

接著，在規劃與研究階段，學生根據初步構思的計畫，分組討論水質過濾器的結構設計與材料運用，並規劃實驗流程與數據紀錄方式。此階段強調設計實驗過程與掌握控制變因，學生藉由實際操作反思裝置設計的優缺點。當學生面對實驗操作與數據記錄上的困難，教師適時示範操作流程，指導如何準確觀察水的透明度、顏色及雜質變化，並鼓勵同儕間的互助與討論。嘗試透過實際操作，讓學生逐步體會到科學知識不是一次得來，而是在不斷試錯與修正中動態建構，進一步發展其認識論知識與數據分析能力。

再來進入論證與建模階段，學生根據實驗記錄進行數據整理與圖表繪製，嘗試建立解釋水質過濾效果的模型。學生在比較過濾前、後數據的過程，逐漸發展科學論證能力。過程中教師可以透過提問和示範，指導學生分析變因間的關係，幫助他們釐清不確定性。此過程讓學生意識到科學知識的構建是一個持續修正的過程，而非絕對固定。

最後，表達與分享階段，各小組將探究歷程與實驗結果整合後進行成果發表。學生藉由口頭報告與圖表展示等方式，闡述初步設計與修正過程中的發現、挑戰與改進策略，並進行反思。這一過程不僅考驗學生的溝通與協作能力，也促使他們從全程探究中回顧學習經驗。教師在發表過程中提供即時回饋，透過反思與討論深化學生對科學知識建構與認識論不確定性的理解。

表5 探究取向教學模組設計

周次	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> <li>● 介紹科學探究歷程，以及細部的階段</li> <li>✚ 舉例說明科探究的階段內容</li> </ul>	✚ 學生能理解科學探究歷程
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自製水質過濾器概要說明</li> <li>● 討論影響自製水質過濾器過濾效果的可能變因</li> <li>✚ 小組討論影響過濾器過濾效果的可能影響變因</li> <li>✚ 小組討論寫出研究假設</li> </ul>	✚ 學生初步自製水質過濾器，以及能寫出可能影響的變因
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設計裝置指出相關材料名稱與功能</li> <li>✚ 小組成員共同設計裝置，並繪製設計圖</li> </ul>	✚ 學生共同設計裝置，並繪製過濾器設計圖
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 小組討論實驗測量需要觀察的項目</li> <li>✚ 小組討論實驗測量需要觀察的項目，並繪製實驗記錄表格。</li> </ul>	✚ 學生能依據想要觀察的項目繪製實驗記錄表格。
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製作簡易水質過濾器</li> <li>✚ 小組依據操作變因製作簡易水質過濾器</li> </ul>	✚ 小組依據操作變因製作簡易水質過濾器
6-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 進行實驗操作，紀錄初步實作結果</li> <li>✚ 小組記錄初步實驗結果，包括濾液濁度、顏色、雜質等情形。</li> </ul>	✚ 小組記錄初步實驗結果
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 依據初步實驗結果，繪製關係圖</li> <li>✚ 小組依據初步實驗結果，繪製關係圖。</li> </ul>	✚ 小組依據初步實驗結果，繪製關係圖

9	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 依據關係圖，討論結果是否符合預期</li> <li>✚ 小組依據關係圖，討論結果是否符合預期。</li> </ul>	✚ 小組依據關係圖，討論結果是否符合預期
10-11	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 進行簡易過濾器設計修正</li> <li>✚ 小組依據思考如何修正，並繪製新的設計圖</li> </ul>	✚ 小組依據思考如何修正，並繪製新的設計圖
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製作新的簡易水質過濾器</li> <li>✚ 小組依據修正後的想法製作簡易水質過濾器</li> </ul>	✚ 小組依據修正後想法製作簡易水質過濾器。
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 依據實驗結果，繪製關係圖</li> <li>● 說明新的簡易過濾器的優化效果</li> <li>✚ 小組依據實驗結果，繪製關係圖</li> <li>✚ 小組說明新的簡易過濾器的優化效果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ 小組依據實驗結果，繪製關係圖</li> <li>✚ 小組說明新的簡易過濾器的優化效果</li> </ul>
14-15	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 小組準備報告</li> <li>✚ 小組依據學習單，寫下主題、假設、裝置、結果、修正裝置、修正結果，以及反思等。</li> </ul>	✚ 小組依據學習單，寫下實驗相關內容與反思等
16-17	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 小組上台報告，發表探究歷程</li> <li>✚ 小組報告實驗主題，包括：假設、裝置、結果、修正裝置、修正結果，以及反思等。</li> </ul>	✚ 小組進行實驗主題報告
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 填寫後測與回饋問卷</li> <li>● 學生能夠完成後測問卷，檢視整學期探究能力的發展</li> <li>✚ 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</li> </ul>	✚ 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與認識論知識問卷問答內容。量化資料主要有認識論知識問卷單選試題學生作答結果，以及學生認識論知識問卷與探究能力問卷質性資料依照評量規準進行評比而轉化為分數。藉由單組前、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與認識論知識的學習成效。其餘，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。

### (五) 研究流程與步驟

研究進程分為五個主要工作階段，各階段的任務如圖4所示。第一階段著重於資料蒐集與文獻探討，深入分析相關研究主題與理論。同時，開始設計教學方案，針對研究目的發展量化與質性試題。同時透過與相關領域專家討論，進一步完善研究方向與計畫內容。第二階段進行實際教學，根據設計的教學方案實際在課堂執行。教學過程詳細記錄教學內容與學生的反應，並進行即時的教學反思。同時，透過觀察與訪談，收集學生在學習過程中的行為表現與反饋。第三階段整理學生相關資料，將收集到的質性與量化數據進行彙整，並透過編碼與分類，進行資料分析以獲得量化成果。第四階段撰寫研究報告，對前三階段的研究過程與成果進行整理、反思，並分析其成因並探索可能的解決方案。藉由團隊成員之間討論，針對教學過程中可能存在的問題，提出改進建議，為未來相關研究提供參考。最後，第五階段則是完整針對教學與課程的實踐進行闡述，以完成成果報告。同時，嘗試透過校內教師研習與撰寫文章投稿等形式，將成果分享與推廣，為相關領域的發展提供新的啟發。

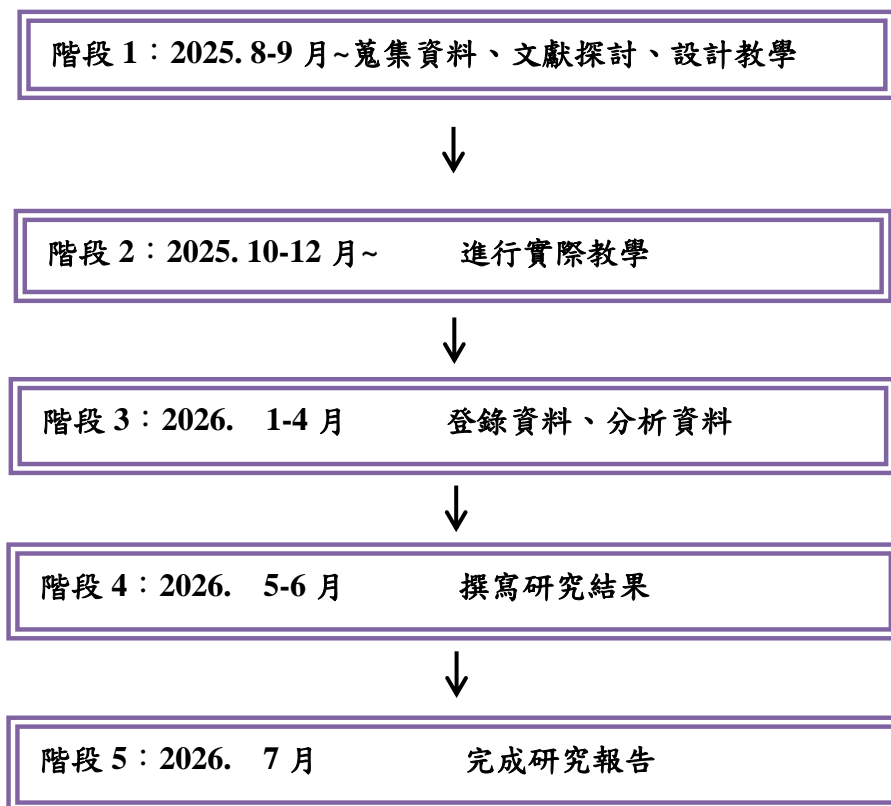


圖 4：本研究工作流程圖

## 四、預期成果

### 1. 規劃與實施簡易水質過濾器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，再與教師共同備課，設計並實施簡易水質過濾器的探究與實作教學模組。藉由課程的施行，學生能夠理解水質過濾的基本原理、過濾材料的特性及其影響，以及如何使用實驗工具進行測量與分析等相關概念。在探究過程中，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、推理等科學探究能力。

### 2. 以簡易水質過濾器為主題提供學生體驗完整的科學探究歷程

以簡易水質過濾器為主題，提供學生體驗完整的科學探究歷程，包括：確認問題(如何透過簡易過濾器獲取乾淨的水)、找出變因之間的關係(過濾材料的種類與過濾效果)、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，從而提高對於科學探究的認識論知識。

### 3. 探討教師施行簡易水質過濾器探究教學課程模組，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，但不同的教學模組、不同的對象可能存在些微差異。通過教學實踐的過程分析實際教學中的問題和挑戰，可以為教師提供更好的教學策略和方法。例如，可能面臨學生對於過濾材料的理解不足或操作不熟練的情況，教師可以透過示範與分組討論來解決。

### 4. 探討學生在探究教學模組中探究能力發展的差異

不同學生的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，教師可以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，藉由指導如何選擇過濾材料或設計實驗流程，以促成未來課堂內差異化探究的施行。

### 5. 探討學生在探究教學模組中認識論知識發展的差異

不同學生的認識論知識發展會有所不同。藉由了解學生在認識論知識上的差異，教師可以針對性地調整教學策略，幫助學生理解科學知識的本質與探究方法。例如，透過

引導學生反思水質過濾的實驗結果與日常應用之間的關聯，進一步提升其認識論知識，促進學生對科學探究本質的更深層理解。

## 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。

林小慧、吳心楷(2019)。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

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>

鄭志鵬(2023)。108課綱下龍山國中彈性課程的樣貌。《臺灣化學教育》，53。

<https://chemed.chemistry.org.tw/?p=43246>

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, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 27(3), 305–326. <https://doi.org/10.1080/09500690802582241>

Chen, C. Y. (2022). Epistemic uncertainty and the support of productive struggle during scientific modeling for equity: Designing for engagement in science practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(3), 471–501. <https://doi.org/10.1002/tea.21732>

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* (Vol. 2, pp.

- 515-541). Routledge.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Emden, M., & Sumfleth, E. (2016). Assessing students' experimentation processes in guided inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(1), 29–54. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9564-7>
- Fang, S. C., Hsu, Y. S., & Hsu, W. H. (2016). Effects of explicit and implicit prompts on students' inquiry practices in computer-supported learning environments in high school earth science. *International Journal of Science Education*, 38(11), 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1213458>
- 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>
- Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based chemistry education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 251–313. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436>
- Johnston, M., Hipkins, R., & Sheehan, M. (2017). Building epistemic thinking through disciplinary inquiry: Contrasting lessons from history and biology. *Curriculum Matters*, 13, 80–102. <https://doi.org/10.18296/cm.0020>
- 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>
- Jong, J. P., Chiu, M. H., & Chung, S. L. (2015). The use of modeling-based text to improve students' modeling competencies. *Science Education*, 99(5), 986–1018. <https://doi.org/10.1002/sce.21164>
- Kapon, S. & Schvartzer, M. (2024). Guided inquiry into a physics equation. *Cognition and Instruction*, 42(1), 159–206. <https://doi.org/10.1080/07370008.2023.2197232>
- Karimi, Z., Lakin, J. M., & Davis, V. A. (2022). Water quality: Adaptable modules for engaging K-16 Students. *IEEE Frontiers in Education Conference*. <https://doi.org/10.1109/FIE56618.2022.9962639>
- Klein, M. F. (1986). Alternative curriculum conceptions and designs. *Theory Into Practice*, (25)1, 31–35. <https://doi.org/10.1080/00405848609543195>

- Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of scientific reasoning: A cultural rationale for science education? *Science Education*, 101(1), 8–31. <https://doi.org/10.1002/sce.21251>
- 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>
- Lin, S. F., & Shie, W. C. (2024). A cooperative model of development and validation of a curriculum based scientific competence test. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(3), 491–514. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10366-x>
- Llewellyn, D. (2011). *Differentiated science inquiry*. Thousand Oaks, California: Corwin 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.
- OECD. (2019). *PISA 2018 assessment and analytical framework*. OECD Publishing.
- OECD. (2023). *PISA 2025 Science Framework (Draft)*. OECD Publishing.
- [https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA\\_2025\\_Science\\_Frameworko rk.pdf](https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Frameworko rk.pdf)
- 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>
- Sandoval, W. A., Greene, J. A., & Bråten, I. (2016). Understanding and promoting thinking about knowledge: Origins, issues, and future directions of research on epistemic cognition. *Review of Research in Education*, 40(1), 457–496.
- <https://doi.org/10.3102/0091732X16669319>
- Soulios, I., & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process. *International Journal of Science Education*, 38(7), 1212–1233.
- <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1186304>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2),

191–249. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>

Vo, D. V., & Simmie, G. (2025). Assessing scientific inquiry: A systematic literature review of tasks, tools and techniques. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23, 871–906. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10498-8>

Vorholzer, A., Petermann, A., Weber, J., Belzen, A. U. Z., & Tiemann, R. (2022). Explicit instruction on procedural and epistemic Knowledge – is it happening? A video-based exploration of classroom practice. *Research in Science & Technological Education* 42(3), 513–532. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2153245>

Wu, P. H., & Wu, H. K. (2020). Constructing a model of engagement in scientific inquiry: investigating relationships between inquiry-related curiosity, dimensions of engagement, and inquiry abilities. *Instructional Science*, 48, 79–113.

<https://doi.org/10.1007/s11251-020-09503-8>

Yang, F. Y., Liu, S. Y., Hsu, C. Y., Chiou, G. L., Wu, H. K., Wu, Y. T., Chen, S., Liang, J. C., Tsai, M. J., Lee, S. W. Y., Lee, M. H., Lin, C. L., Chu, R. J., & Tsai, C. C. (2018). High school students' epistemic knowledge of science and its relation to learner factors in science learning. *Research in Science Education*, 48(2), 325-344.

<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9570-6>

Zetterqvist, A., & Bach, F. (2023). Epistemic knowledge – a vital part of scientific literacy? *International Journal of Science Education*, 45(6), 484–501.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2166372>