

教育部113年度中小學科學教育計畫專案

期末報告大綱

計畫編號：1-2

計畫名稱：初探應用 AI 融入探究實作與素養導向標準評量對國中生之影響（第三年）

主持人：王淑卿

執行單位：台中市立雙十國民中學

壹、計畫目的及內容：

1. 成立教師專業社群協助教師將探究教學與標準評量融入自然領域課室教學
2. 設計並實施2個源自教科書食譜式實驗創新設計的探究實作課程、教學與素養導向標準評量
3. 設計並實施2個原創科學認知素養導向標準評量
4. 精緻並實施4個原創科學探究實作課程、探究教學與探究實作標準化評量
5. 精緻並實施4個原創科學認知的素養導向標準評量
6. 探討教師與學生在應用 AI 融入教學與學習的歷程中遭遇的挑戰與可能解決問題的方法

貳、研究方法及步驟：

1. 研究工具

依據《十二年國教課綱國民中學標準本位評量工具彙編》，原創設計發展並精緻化的第一冊第三章、第四章和第五章，第二冊第一章等4個單元。

以及新增加將2個教科書食譜式實驗「酵素的作用」和「植物體內水分的運輸」，原創設計為探究實驗課程「探討影響酵素作用的因素」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」。共6個探究實作課程與教學設計。

評量工具共12份(見表1)，包含：6份(2份原創+4份精緻化)科學認知素養導向標準評量題組試卷(以下簡稱科學認知標準評量)和標準化評分指引。

6份(2+4)AI 輔助探究實作之科學探究素養導向標準評量工具(以下簡稱科學探究標準評量)-檢核表、學習單與評分指引。原本設計將實驗組甲、乙是否有 AI 輔助探究實作科學探究素養導向標準評量(科學探究標準評量)兩份工具分開，但是如此可能造成教師設計與使用時的複雜性與不便性，於是將實驗組甲、乙的科學探究標準評量合併設計與使用。實驗組甲的學習單是實驗組乙學習單後增加「我(們)+AI 的回答(如有修正或補充，請紀錄)」。

標準化評量工具，以評估實驗組甲、實驗組乙、對照組丙等跨校跨班不同學生表現的標準化參考對照，以及反思教學設計與評量工具對偏遠學校學生的適切性，更可提供教師教學反思與改進教學，提供學生反思與改進學習。

表1：研究工具12份評量整理表

評量類型	評量主題單元名稱	參與評量學生	
		實驗組甲、乙	對照組
科學探究 評量	1.溫度對唾液酵素作用	前測、後測	前測、後測
	2.透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行	前測、後測	前測、後測
	3.認識消化系統	前測、後測	
	4.明明白白豬心與我心	前測、後測	
	5.豬頭豬腦神經系統探索之旅	前測、後測	
	6.公豬母豬-雌雄有別	前測、後測	
科學認知 評量	1.酵素	前測、後測	前測、後測
	2.植物體內物質的運輸	前測、後測	前測、後測
	3.消化系統	前測、後測	前測、後測
	4.循環系統	前測、後測	前測、後測
	5.神經系統	前測、後測	前測、後測
	6.生殖系統	前測、後測	前測、後測

2. 研究步驟

基於本計畫研究目的，新增原創設計2個單元的課程、教學、標準化評量，精緻化4個單元的課程、教學、標準化評量。成立10位組成的校內教師專業社群、由6個縣市的7所學校共10位教師組成的跨縣市教師專業社群。研究對象共約700名國中學生，包含4所都會學校和3所偏遠或離島學校班級學生。實驗組與對照組丙學生由跨縣市教師專業社群的10位教師的班級學生參與，實驗組甲、乙班級學生共約200名，對照組丙班級學生共約500名。

社群教師中以教師任教班級為單位，分為實驗組甲、乙與對照組丙3組（表1）。實驗組甲班級以使用 AI 工具配合探究社群學習策略進行探究動手做探究課程；實驗組乙班級以探究社群學習策略進行探究動手做探究課程；對照組丙班級根據教科書課程內容進行一般教學。以教科書課程為藍圖，發展動手做探究課程。

實驗組甲、乙實施6份原創科學認知素養導向標準評量題組試卷和評分指引、6份科學探究素養導向標準評量（含探究能力-思考智能素養導向標準評量工具-檢核表、學習單與評分指引、科學探究能力-問題解決素養導向標準評量工具-檢核表、學習單與評分指引。）對照組丙實施6份原創科學認知素養導向標準評量題組試卷和評分指引、2份原創探究能力-思考智能素養導向標準評量工具-檢核表、學習單與評分指引(表1)。

第一冊第三章、第四章、第五章和第二冊第一章課程結束後，無論實驗組或對照組丙班級都會進行共6份科學認知素養導向標準評量能力測驗。實驗組班級於探究實作課程結束後，都會進行6份探究能力素養導向標準評量能力測驗，主要包含學習單與檢核表。由社群教師們依據評分指引閱卷與討論後，評定學生等級作為評量結果。

研究步驟與設計如研究流程圖(圖1)，研究步驟如下說明：

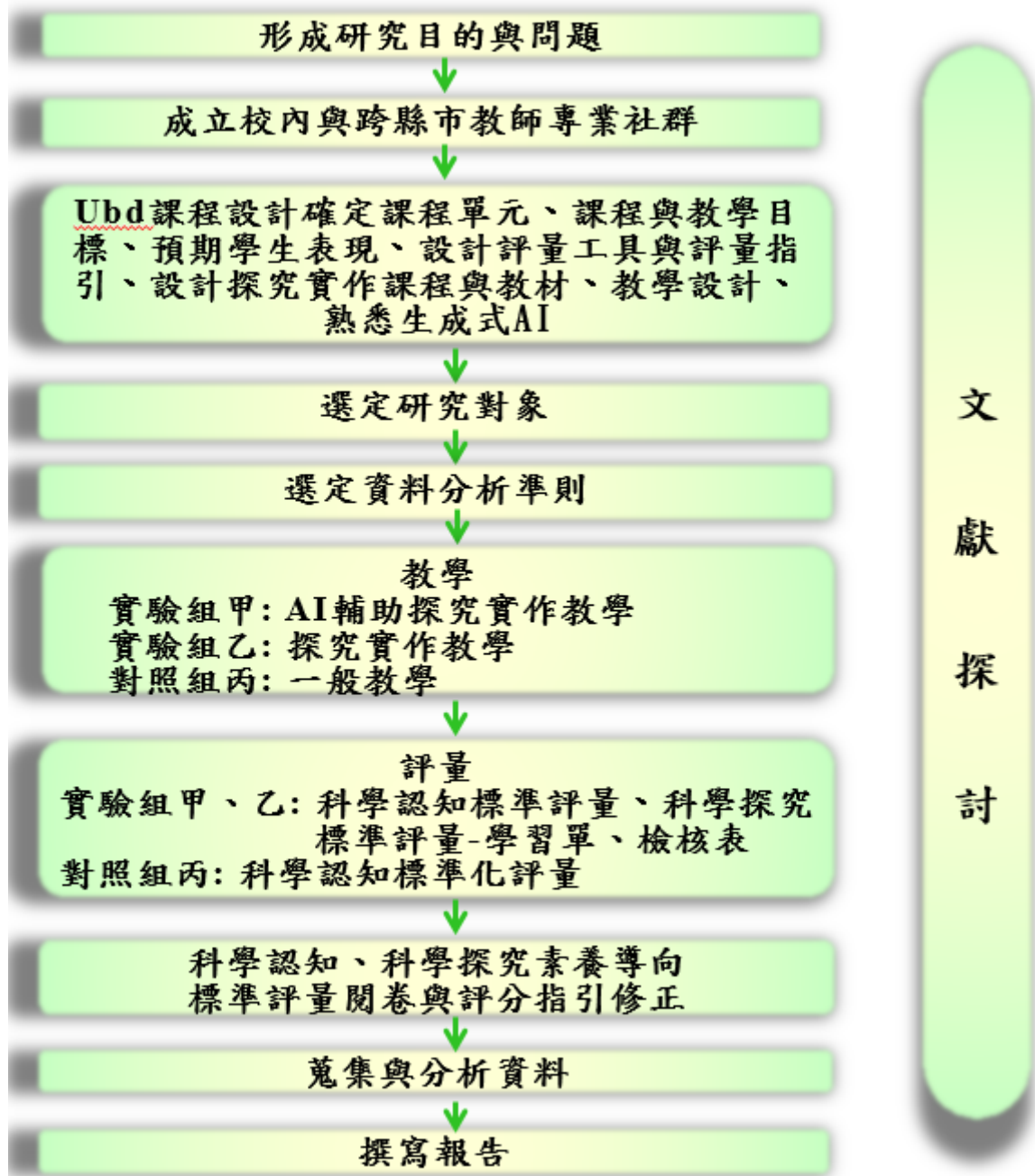


圖1：研究流程圖

- (1) 成立教師專業社群
- (2) 設計 AI 融入的探究實作素養導向課程、教學、評量
- (3) 源自教科書食譜式實驗創新設計為探究實作素養導向課程、教學、評量和認知評量
- (4) 精緻之前原創設計探究實作素養導向課程、教學、評量和認知評量
- (5) 選定研究對象

- (6) 選定資料分析準則
- (7) 教學
- (8) 評量與閱卷
- (9) 科學認知、科學探究素養導向、標準評量閱卷與評分指引修正
- (10) 蒐集與分析資料
- (11) 撰寫報告

表2：實驗組甲、乙與對照組丙班級學生實施課程、教學、評量的比較

	實驗組甲	實驗組乙	對照組丙
課程一	源自教科書創新設計 「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」 探究實作課程-共2個	源自教科書創新設計 「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」 探究實作課程-共2個	教科書「酵素的作用」和「植物的水分運輸」 食譜式實驗-共2個
課程二	原創設計「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、「公豬母豬-雌雄有別」 探究實作課程-共4個	原創設計「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、「公豬母豬-雌雄有別」 探究實作課程-共4個	教科書消化系統、循環系統、神經系統、生殖系統 課室課程(缺乏實驗)-共4個
教學	AI 輔助探究實作教學	探究實作教學	教科書一般教學
評量甲 科學認知	6份(2+4)原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引	6份(2+4)原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引	6份(2+4)原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引
評量乙 科學探究	6份(2+4)原創科學探究標準評量-檢核表、學習單與評分指引	6份(2+4)原創科學探究標準評量-檢核表、學習單與評分指引	2份(酵素、光合作用)原創科學探究標準評量

參、目前研究成果：

1. 課程與教學設計：

課程與教學的課前準備，教師利用 ChatGPT 等 AI 工具輔助依據課綱設計課程與教學內容，也應用 ChatGPT 進行教材準備時的檢視及修正。AI 輔助探究實作和探究實作課程與教學完成2個創新設計，源自教科書食譜式實驗「酵素的作用」和「植物的水分運輸」，創新設計以探究實作課程與探究教學設計「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」。精緻化之前原創設計的消化系統「認識消化系統」、循環系統「明明白白豬心與我心」、神經系統「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、生殖系統「公豬母豬-雌雄有別」AI 輔助探究實作和探究實作課程與教學設計共4個。

2. 教學：

(1)實驗組甲：AI 輔助探究實作教學，學生在實驗室使用平板，應用 Padlet 為互動與協作學習資料軟體，學生可自主學習、檢核學習歷程、分享實驗成果作品的照片與學習單任務，彼此討論、發表意見等。完成課程一「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」AI 輔助探究實作教學。完成課程二「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、「公豬母豬-雌雄有別」與教科書課程探究實作教學。

(2) 實驗組乙：探究實作教學，學生在實驗室應用合作問題解決策略與探究社群策略，利用小組或跨組討論完成實驗成果與學習單任務。完成課程一「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究實作教學。完成課程二「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、公豬母豬-雌雄有別」與科書課程探究實作教學。

(3)對照組丙：教科書一般教學，學生在實驗室依據教科書的實驗目的和實驗步驟，一步步完成實驗成果與活動紀錄簿的作業。完成教科書「消化系統」、「循環系統」、「神經系統」、「生殖系統」一般教學。

3. 評量：

(1) **評量甲-科學認知**素養導向標準評量：實驗組甲、實驗組乙、對照組丙所有學生皆實施完成科學認知素養導向標準評量-酵素、植物體內物質的運輸、消化系統、循環系統、神經系統，共5份，生殖系統為下學期課程尚未實施。實施5個科學認知標準化評量於6個縣市，包含4所都會區學校和3所偏遠或離島學校。實驗組甲、乙班級學生各約100位，共約200位；對照組班級學生約500位。總共約700位國中學生。

(2) **評量乙-科學探究**素養導向標準評量：實驗組甲、實驗組乙學生皆實施完成課程一「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」，和課程二「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、「公豬母豬-雌雄有別」的科學探究素養導向標準評量。對照組丙班級學生未上課程一探究實作課程，但有實施課程一「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」的前測和後測。實施5個科學探究實作課程與科學探究實作標準評量於3縣市3所學校，實驗組甲、實驗組乙學生各約100位，共200位實驗組班級學生；對照組班級學生未實施科學探究實作課程，有約100位實施科學探究實作標準評量。

(3) 實施4個科學認知標準化評量於本校一、二年級學生的每次段考前的「自然科普大挑戰競賽」，共約600位校內國中學生。提供一、二年級全年級校內科學競賽的評比項目，促進學生的科學認知素養。

4. 教師教學實務：

(1)發現實驗組的探究實作課程提升學生的科學素養-科學的態度與

本質-科學探究的興趣與態度-科學探究的興趣、科學探究的態度。

113年颱風假特別多，「山陀兒」10月2~4日停課3天，「康芮」颱風，10月30~31日停課2天，打亂教師原本的教學安排。科學探究實作課程與評量、科學認知評量，由教師依班級時間進行彈性實施，甚至有教師延至寒假輔導課程、或者調課連課才能實施。

例如「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」實驗的關鍵就是天氣，若到了12月天氣濕寒，或者有些偏遠學校11月起因地理環境的關係，濕度非常高，實驗結果就非常不明顯。「溫度對唾液酵素作用」對於12月或1月材作實驗的學生，在寒冷的天氣中嘴巴又要含冰塊，讓人感覺更冷。不管探究結果是否符合科學原理，教師與學生的科學態度與探究精神都非常令人敬佩。

學生心得：「很冷，實驗結果也不合常理，但是很有趣」、「今天的實驗課充實了我自己，雖然有些小插曲、不過大家都很努力，能夠在寒假作實驗很慶幸，很有趣。」、「實驗有很多數據，問老師或 AI 時，對我有很大幫助與提升。」、「兩個實驗都很好玩，又能滿足我的好奇心。雖然過程中有遭遇困難，最後和同學起討論出解決的辦法。讓我更加清楚溫度對酵素的影響，和第一次用螢光筆看到維管束，那麼小的構造運輸水分和養分，實在很神奇。」、「這次芹菜蒸散作用實驗比以前困難複雜很多，還要寫不少的學習單，作了2節課實驗，但是還是覺得很好玩很有趣。」、「這次芹菜實驗很燒腦，讓我學到用自己的腦來克服困難，很喜歡實驗的過程，因為我解開了心中的疑惑、不解。」、「唾液實驗很忙的時候，會手忙腳亂，很混亂。遇到困難會與同學討論，第一次寫那麼多學習單，和同學同心協力完成實驗。收穫很多知識，覺得很神奇很有趣。」

由上可知，探究實作課程提升學生科學素養，促進學生實踐「科學探究的興趣」。在引導下，能嘗試科學探究活動。能願意嘗試科學探

究活動。能積極樂意從事科學探究活動。在引導下，能分享科學探究的成果。能願意分享科學探究的成果。能積極樂意分享科學探究的成果。促進學生實踐「科學探究的態度」。不論是在引導下能嘗試、能願意嘗試或能積極樂意透過科學知識和科學探索的方法，來解釋自然現象發生的因果關係或其他關係。能有時(約50%)、時常(約70%)或通常(約85%)以合理懷疑的態度，評估各種科學議題及相關論述與證據是否充分且可信賴。

(2)發現實驗組的探究實作教學幫助教師理解探究教學過程並非都在掌控中，有時探究學習過程的混亂是真實的。而學生的科學探究興趣與態度就在無法掌控與混亂之中提升。探究實作教學促進教師思考，同一個實驗經過探究後可以引導學生做不同層次的思考。

教師反思：「學生的學習單狀況雖然不甚理想，有的內容看了差點昏倒，但是看到他們的心得回饋似乎又覺得他們有學到東西，這個時間花的是有意義的，也會讓我好好的思考有時候在效率和情意之間應該要取得一些平衡，給他們多一點機會嘗試。」、「讓學生嘗試使用 AI 助教是個新的嘗試，效果也比預期的好一些，能夠降低學生等待老師跑組的時間並引領他們思考。」、「感受到實驗課帶了很多次，但是果然帶領學生進行探究活動的教師功力還需要再加強，不然空有好的教材但無法發揮價值也是相當可惜。」、「學習單設計：本次學習單的內容有很多我之前沒思考過的層面，原來同一個實驗經過探究後可以引導學生做不同層次的思考，且有明確的評分檢核表還有輔助內容，讓我們進行實驗規畫時能夠相對省力。」「學生學習態度：雖然實驗操作沒有特別優秀，但他們對做實驗這件事非當有動機，也能夠從實驗中找到樂趣，雖然操作技巧真的有時候有點巧一尤，但是學習態度積極，其中也有幾個底子不錯的小孩，所以刺激了我想要知道他們可以做到什麼程度的想法，希望能排除萬難讓他們試試看。」、

(3) 素養導向標準化科學探究教學與評量提升教師實踐，應用明確的評分檢核表還有輔助內容，幫助教師進行實驗規畫時能夠相對省力，方便理解學生的探究能力。

教師教學反思：「有關”透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行”實驗，學習單設計內容有很多我之前沒思考過的層面，原來同一個實驗經過探究後可以引導學生做不同層次的思考，且有明確的評分檢核表還有輔助內容，讓我們進行規畫時能夠相對省力。」、「素養導向標準化科學探究評量對於有些不愛上課的學生，能藉由動手做的過程，與同學或教師討論，刺激其觀察力與思考推理能力，無論是實驗或記錄整理撰寫學習單，都看到他們專注神情與熱情，不同於課室學習時的冷漠。希望藉由科學探究學習提升科學探究能力，反過來刺激促進他們的科學認知學習的動機與能力。」、「偏遠地區學生資源與刺激較少，有這些有趣又豐富不同於平常的教學材料和評量，學生都覺得很好奇很新鮮有趣，提升學習動機。素養導向標準評量的結果，也讓我容易區分學生的科學認知能力與科學探究能力，有助於我日後補救教學的實施。」

(4) AI 輔助探究實作教學設計與教學實踐過程提升教師與學生的數位素養。

依據聯合國教科文組織2019年提出《人工智慧與教育：政策制定者指南》(AI and education: guidance for policy-makers)，建議政策制定者應支持開發以 AI 技術為基礎的教育新模式，培養教師運用 AI 系統進行教學的能力，藉助 AI 工具提供個人化終身學習系統，並善用數據作為教育政策制訂與修改的依據。透過數位學伴提供學生適性化的回饋與建議，提升自主學習力。實現個人化與適性化的學習，縮減教育落差。

數位素養 (Digital literacy) 是指能正確使用數位科技，並具備當

代數位公民涵養。數位素養作為數位教學與數位學習的基礎和目標，皆要能考量包容性、公平性、品質。目前教師提供教導式的數位學習-學生在教師教導下，運用數位工具、生成式 AI 等多元資源進行學習。包含聆聽、模仿或練習等，依據學習單指派提問與任務，學生透過數位學習平臺並應用數位載具（如平板）完成學習任務，如學習單等。13歲以下學生應在教師指導下使用為教育目的所設計的生成式 AI 工具，例如教育部因材網生成式 AI-度、均一教育平臺等。「數位教學」包含數位科技輔助教師教學及數位科技融入學科教學兩個範疇。「數位科技包含應用數位工具與生成式 AI 輔助教學」，在備課、教學實施、評量各階段，提供教師更便利且有效地應用多元教學方法，如討論與溝通、學習紀錄、創作與發表等，以達成學習目標。數位教學幫助教師教學與學生學科學習。但是實驗組的 AI 輔助探究實作教學時，教師與學生的資訊技能都需要學習與提升。

教師實施 AI 輔助探究實作教學的反思：「提供學生每組兩台平板，一台上傳實驗結果到 Padlet，另一台使用因材網 AI 當作小助教。（原先有規劃寫好公式的 excel 做實驗圖表，但似乎在平板無法正常運作，故學生仍自行繪製圖表）」，「學生每人一台平板，但有的學生沒使用過平板、平板出現問題、不熟悉平板操作技巧、不會使用 AI 工具例如 ChatGpt、無法順利登入教育部因材網或使用時出現 bug 等。數位科技能力成為 AI 輔助探究實作教學的最大挑戰，與最消耗教師時間與腦力的工作。」所有的大小小緊急的數位科技困難都考驗教師的數位素養，學生的數位能力有些很不錯，有些只限於遊戲數位技能，如何善用與再提升師生的數位素養，需要長時間學習與培養。

(5) 社群教師將計畫探究實作的教學與評量實務經驗分享於縣市國教輔導團輔導員與縣市的其他教師。

有計畫社群教師於縣市國中擔任國教輔導團輔導員，於縣市國中

自然領域召集教師共備共議增能實作研習-會考趨勢分析及評量設計，將探究實作的教學與評量實務與經驗分享於縣市輔導團輔導員與其他教師。互相討論如何教課本實驗轉化為探究實驗，與如何設計探究實驗的評量。

肆、目前完成進度

1. 課程與教學：完成AI輔助探究實作和探究實作課程與教學2個創新設計，「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」。精緻化之前原創設計的消化系統「認識消化系統」、循環系統「明明白白豬心與我心」、神經系統「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、生殖系統「公豬母豬-雌雄有別」4個。總共6個主題的探究實作課程與教學。
2. 評量：完成(1) 評量甲-科學認知素養導向標準評量：實驗組甲、實驗組乙、對照組丙所有學生皆實施完成科學認知素養導向標準評量-酵素、植物體內物質的運輸、消化系統、循環系統、神經系統、生殖系統，共6份。完成(2) 評量乙-科學探究素養導向標準評量：實驗組甲、實驗組乙學生皆實施完成課程一「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」，和課程二「認識消化系統」、「明明白白豬心與我心」、「豬頭豬腦神經系統探索之旅」、「公豬母豬-雌雄有別」的科學探究素養導向標準評量。總共6份科學認知素養導向標準評量，和6份科學探究素養導向標準評量。
3. 資料分析及統計：

(1) 實施6個主題科學認知素養導向標準化評量於實驗組甲學生100名、實驗組乙學生100名、對照組丙學生500名。卡方檢定統計後實驗組甲、乙與對照組的科學認知評量表現， p 值皆小於0.05，表示有統計上顯著差異，實驗組的科學認知評量表現皆顯著優於對照組。然而實驗組甲與實驗組乙則未達統計的顯著差異。

科學認知評量統計人數：實驗組甲 n=100、實驗組乙 n=100、對照組丙 n=500。科學探究實作評量統計人數：實驗組甲 n=100、實驗組乙 n=100、對照組丙 n=100。基於現實與限制科學探究實作評量，對照組丙僅採約100人參與評量，取100人數作為統計樣本。

6份科學認知素養導向標準化評量包括113學年度原創科學認知素養導向標準評量-「酵素」、「植物體內物質的運輸」，共2份。以及精緻化112學年度原創科學認知素養導向標準評量-「消化系統」、「循環系統」、「神經系統」、「生殖系統」，共4份。共實施於700位國中學生。

3組學生經6個學習主題科學認知評量表現統計結果如下表3~表8及圖2~圖7；3組學生經6個學習主題科學認知評量表現卡方檢定統計結果，有顯著差異者僅「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」，其卡方檢定統計表如表9~表15、圖2~圖7。科學認知評量統計人數：實驗組甲 n=100、實驗組乙 n=100、對照組丙 n=500。科學探究實作評量統計人數：實驗組甲 n=100、實驗組乙 n=100、對照組丙 n=100。基於現實與限制科學探究實作評量，對照組丙僅採約100人參與評量，取100人數作為統計樣本。

表3：「酵素」3組科學認知評量表現統計表

酵素	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	38%	62%
乙組	38%	62%
丙組	21%	79%

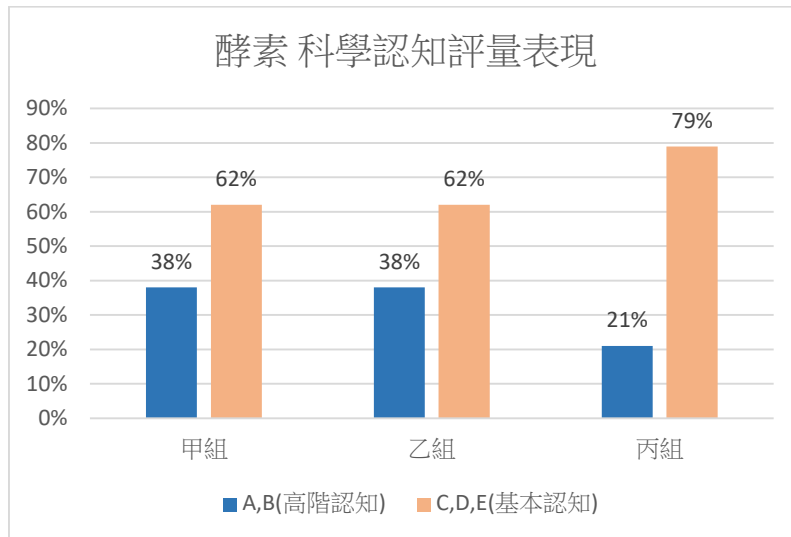


圖2：「酵素」科學認知評量3組表現比較圖

表4：「植物體內物質的運輸」3組科學認知評量表現統計表

植物運輸	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	42%	61%
乙組	36%	64%
丙組	26%	78%

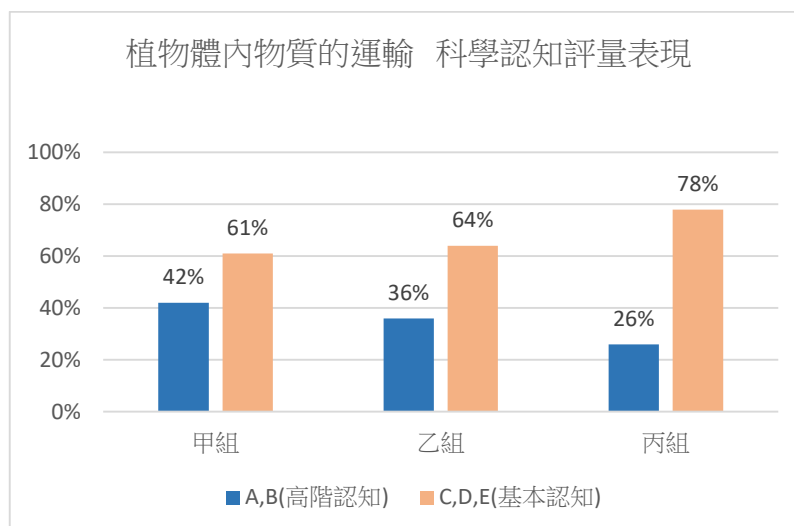


圖3：「植物體內物質的運輸」科學認知評量3組表現比較圖

表5：「消化系統」3組科學認知評量表現統計表

消化系統	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	33%	67%
乙組	34%	66%
丙組	22%	78%

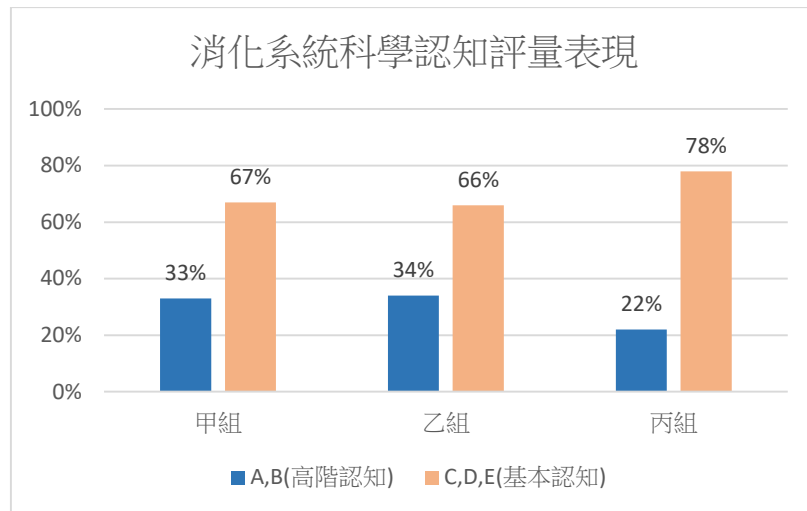


圖4：「消化系統」科學認知評量3組表現比較圖

表6：「循環系統」3組科學認知評量表現統計表

循環系統	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	38%	62%
乙組	36%	64%
丙組	23%	77%

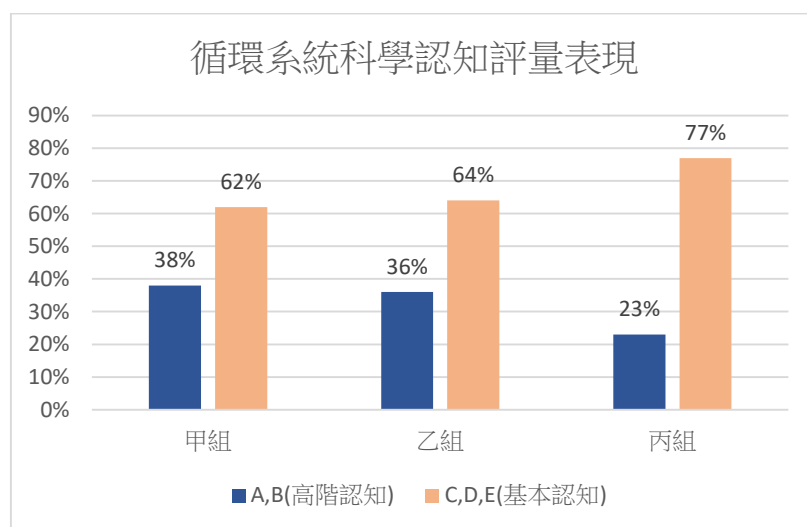


圖5：「循環系統」科學認知評量3組表現比較圖

表7：「神經系統」3組科學認知評量表現統計表

神經系統	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	41%	59%
乙組	37%	63%
丙組	24%	76%

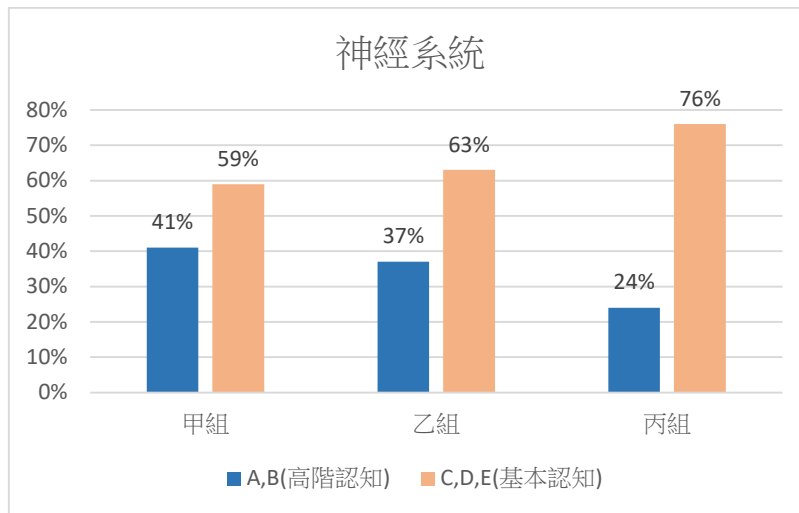


圖6：「神經系統」科學認知評量3組表現比較圖

表8：「生殖系統」3組科學認知評量表現統計表

生殖系統	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	45%	55%
乙組	43%	45%
丙組	25%	75%

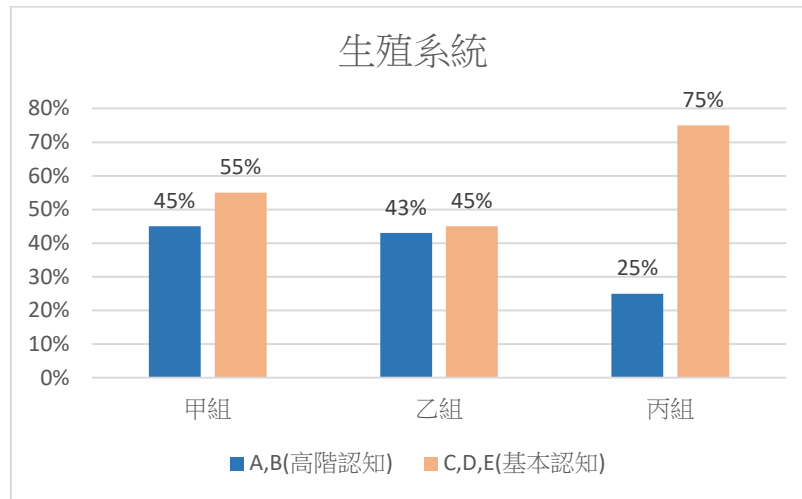


圖7：「生殖系統」科學認知評量3組表現比較圖

表9：「酵素」科學認知評量甲、乙組卡方檢定

酵素	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	38	62
乙組	38	62
chi-square(χ^2)=0 , $p = 1 > .05$ 未達顯著差異		

表10：「酵素」科學認知評量甲、丙組卡方檢定

酵素	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	38	62
丙組	106	394
chi-square(χ^2)=12.8947 , $p = .00033 < .05$ 達顯著差異		

表11：「酵素」科學認知評量乙、丙組卡方檢定

酵素	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
乙組	38	62
丙組	106	394
chi-square(χ^2)=12.8947 , $p = .00033 < .05$ 達顯著差異		

表12：「植物體內物質的運輸」科學認知評量甲、乙組卡方檢定

植物體內物質的運輸	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	42	58
乙組	36	64
chi-square(χ^2)=0.7566 , $p = .384388 > .05$ 未達顯著差異		

表13：「植物體內物質的運輸」科學認知評量甲、丙組卡方檢定

植物體內物質的運輸	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
甲組	42	58
丙組	130	370
chi-square(χ^2)= 10.4325 , $p = .001238 < .05$ 達顯著差異		

表14：「植物體內物質的運輸」科學認知評量乙、丙組卡方檢定

植物體內物質的運輸	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
乙組	36	64
丙組	130	370
chi-square(χ^2)= 4.1641 , $p = .041289 < .05$ 達顯著差異		

表15：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」科學認知評量乙、丙組卡方檢定

植物體內物質的運輸	A,B(高階認知)	C,D,E(基本認知)
乙組	36	64
丙組	130	370
chi-square(χ^2)= 4.1641 , $p = .041289 < .05$ 達顯著差異		

6個主題科學認知標準化評量其描述性統計表(表9~表15)與統計圖(圖2~圖7)，比較發現實驗組甲、和實驗組乙的班級學生在高階認知(A、B等級)表現皆優於對照組丙班及學生的表現。經過卡方檢定實驗組與對照組的科學認知評量表現， p 值皆小於0.05(表9)。表示有統計上顯著差異，實驗組的「科學認知」評量表現皆優於對照組。研究發現：學生在探究式學習獲得較多自主權，可自主探索、控制自己的學習進度，提升學習樂趣和課堂參與度。培養生活技能，例如建立理解、解決問題、溝通、合作和創造的技能。藉由自行尋找解決問題的方案，培養學生自主能力和自信心。綜上可知，探究式學習培養學生好奇心，提升批判性思維和高層次的理解(王淑卿、葉宗一、王國華，2021；張珮珊、賴吉永、溫嫩純，2017；陳雅芊、林君憶，2022)。

Hattie 整合800多篇「傳統教學 vs 探究式學習」的比較研究，每項研究都呈現一個「效果值 (effect size)」，表示哪個方法比較好。Hattie 用統合分析 (meta-analysis)，將研究的效果值綜合出「平均效果值」。經多項分析，指出不同教學法的效果，其中探究式學習效果值 $d = 0.46$ ，屬於中度正向效果，探究學習尤其對高層次思維有幫助(Hattie, 2009)。

然而探究學習的成功是否，取決於「設計品質」與「教師引導」的適切性。教師引導的探究學習效果優於完全開放的探究學習，因此教師引導是關鍵因素(Lazonder & Harmsen, 2016)。教師提供適當的支持與回饋，學生學習成效顯著提升，可見教學設計也是關鍵因素(Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012)。基於上述研究可知，不斷精緻化探究教學設計與教師適度適時介入引導學生探究，可提升生的學習成效。

吳宛如 (2004) 訪談實驗班學生於探究學習課程中從「重視趣味」逐漸轉變為「追求知識」，學習動機與自然科科目學習表現顯著提升。分析資優班學生進行探究教學的作品與課室對話，發現探究教學中的實驗操作、同儕討論與反思，顯著提升資優生的科學推理層次 (王翠妃、余忠潔、段曉林，2013)

(2)實施6個主題科學探究素養導向標準化評量於實驗組甲學生100名、實驗組乙學生100名、對照組丙學生100名。卡方檢驗統計後，實驗組甲、乙分別與對照組丙的科學探究評量表現， p 值皆小於0.05，表示有統計上顯著差異，實驗組的科學探究評量表現皆優於對照組。實驗組甲和實驗組乙僅在「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」科學探究-問題解決-分析與發現的科學探究評量表現， p 值小於0.05，表示有統計上顯著差異，其他主題與向度實驗組甲和實驗組乙皆未達顯著差異。

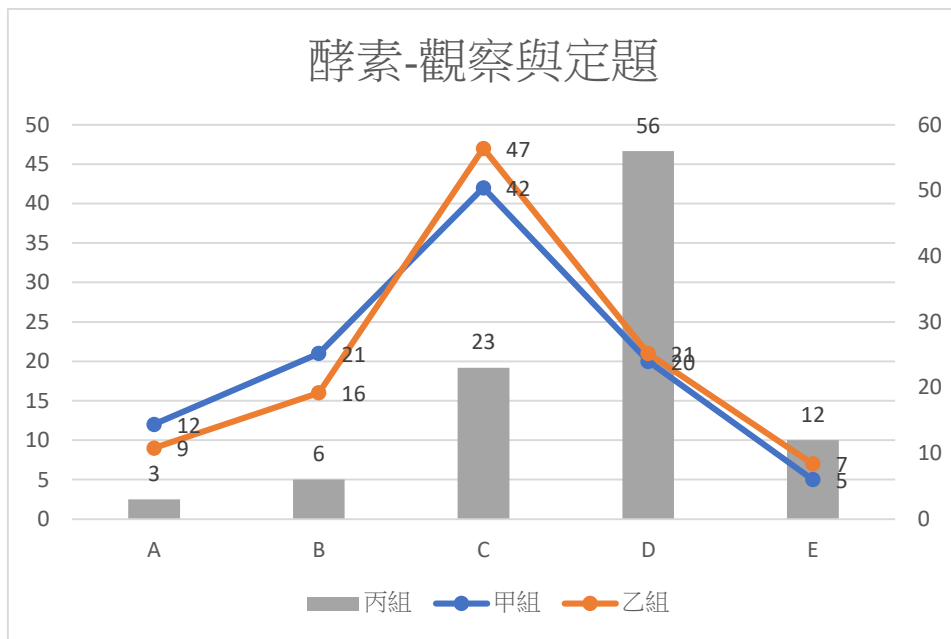


圖8：「溫度對唾液酵素作用」科學探究-問題解決-觀察與定題
3組表現比較圖

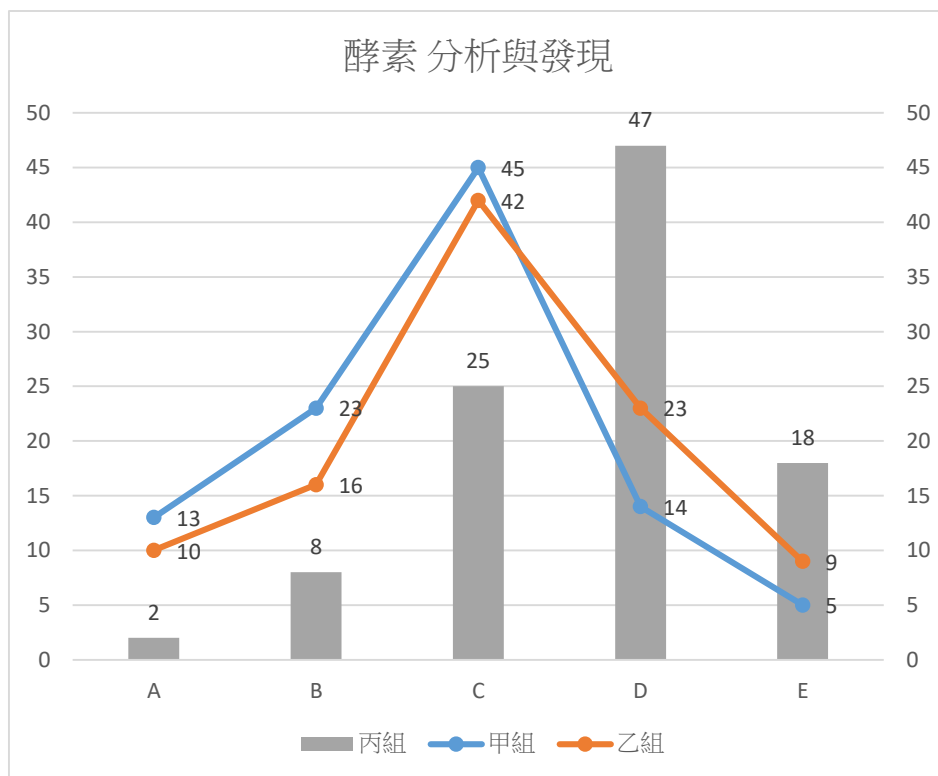


圖9：「溫度對唾液酵素作用」科學探究-問題解決-分析與發現3組表現比較圖

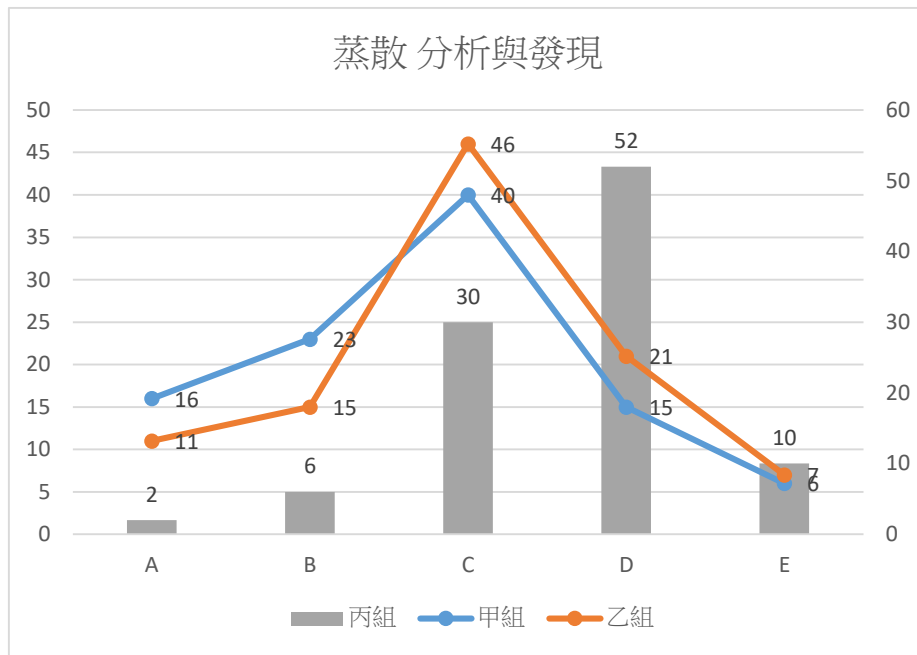


圖10：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」科學探究-問題解決-分析與發現
3組表現比較圖

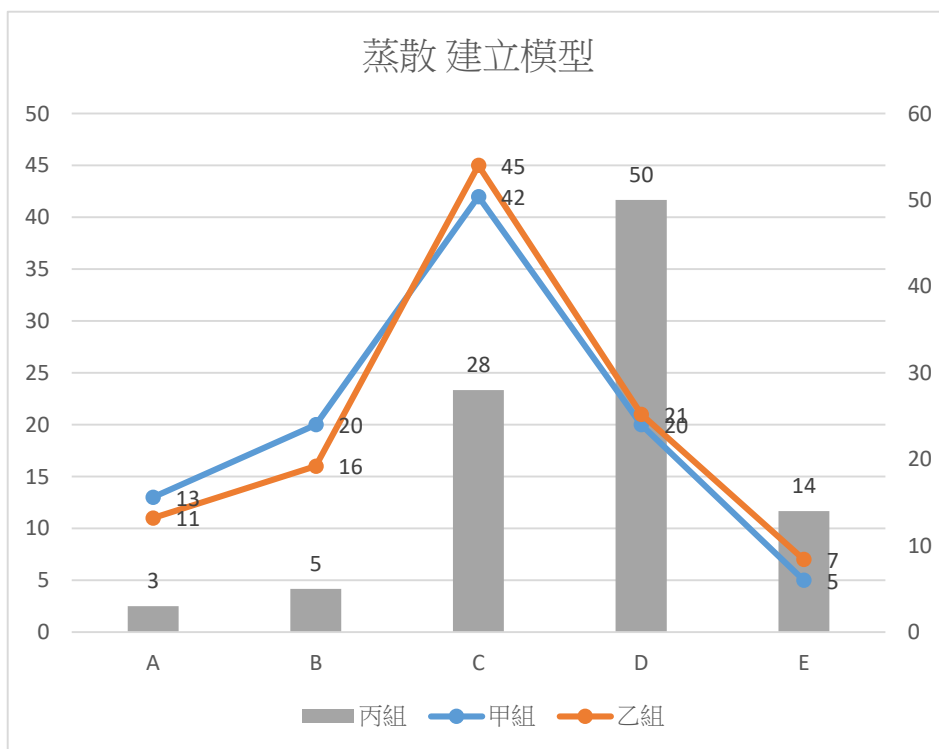


圖11：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」科學探究-思考智能-建立模型
3組表現比較圖

表17：「溫度對唾液酵素作用」探究「觀察與定題」乙、丙組卡方檢定

酵素 觀察與定題	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
乙組	25	75
丙組	9	91
chi-square(χ^2)=9.0716 , $p = .002596 < .05$ 達顯著差異 甲優於乙，乙、丙達顯著差異，甲、丙達顯著差異		

表18：「溫度對唾液酵素作用」探究「分析與發現」乙、丙組卡方檢定

酵素 分析與發現	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
乙組	26	74
丙組	10	90
chi-square(χ^2)=8.6721 , $p = .003231 < .05$ 達顯著差異 甲優於乙，乙、丙達顯著差異，甲、丙達顯著差異		

表19：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究「建立模型」乙、丙組卡方檢定

蒸散建立模型	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
乙組	27	73
丙組	8	92
chi-square(χ^2)=12.5022, $p = .000406 < .05$ 甲優於乙，乙、丙達顯著差異，甲、丙達顯著差異		

表20：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究「分析與發現」甲、乙組卡方檢定

蒸散 分析與發現	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
甲組	39	61
乙組	26	74
chi-square(χ^2)= 3.8519 , $p = .049691 < .05$ 甲、乙達顯著差異		

表 21：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究實作甲、丙組卡方檢定統計

蒸散 分析與發現	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
甲組	39	61
丙組	8	92
chi-square(χ^2) = 26.7279 , $p = .00001 < .05$ 甲、丙達顯著差異		

表22：「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究實作乙、丙組卡方檢定統計

蒸散 分析與發現	A,B(高階探究能力)	C,D,E(基本探究能力)
乙組	26	74
丙組	8	92
chi-square(χ^2) = 11.4812 , $p = .000703 < .05$ 乙、丙達顯著差異 甲>乙>丙 達顯著差異		

計畫實施的探究實作課程「溫度對唾液酵素作用」3組學生在科學探究-問題解決-觀察與定題和分析與發現(圖8)的表現，甲組、乙組皆大幅優於丙組。在「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」3組學生在科學探究-問題解決-分析與發現和科學探究-思考智能-建立模型(圖9)，甲組、乙組皆大幅優於丙組。卡方檢定統計「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」在分析與發現的探究能力，甲組顯著優於乙組(表20)、甲組顯著優於丙組(表21)、乙組顯著優於丙組(表22)，亦即甲組顯著優於乙組而乙組顯著優於丙組。其他「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」觀察與定題，「溫度對唾液酵素作用」分析與發現和建立模型等3組比較經卡方檢定統計，都發現甲組顯著優於丙組、乙組顯著優於丙組，甲組和乙組未達顯著差異(表17~表19)。

結論：實驗組甲和乙班及學生經探究學習，無論是在探究能力的觀察與定題、分析與發現和建立模型都顯著優於對照組。研究結果呼應 Hofstein 和 Lunetta(2004)的研究發現：傳統實驗課大多缺乏探究歷程的設計，學生只是依

步驟完成一個已知結論的實驗，對觀察與定義問題能力幫助很有限。研究結果與 Krajcik 等人(1998)的研究結論一致，探究學習能提升學生在「定義問題、觀察分類、形成假設與設計實驗」的能力。本研究呼應白佩宜（2008）探討不同探究教學對學生科學探究能力成長之影響，結果顯示學生經探究教學後在「實驗與資料蒐集分析」、「詮釋與結論」等分析能力，有顯著提升，尤其是結構式與引導式探究對不同能力層級學生皆有效。研究結果發現在實驗組甲、乙在「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」的建立模型顯著優於對照組丙。

綜上可知，探究教學對學生分析與發現能力，優於傳統食譜式實驗教學，學習成效的提升具統計顯著性。探究教學對學生建立模型能力，顯著優於傳統食譜式實驗教學，提升學習成效。

本研究設計的六個探究實作課程、教學、探究實作標準評量，課程、教學與評量目標主要是探究能力-思考智能-推理論證、探究能力-思考智能-建立模型的能力，以及探究能力-問題解決-觀察與定題、探究能力-問題解決-分析與發現的能力。

經分析的結果發現：實驗組學生的「推理論證」能力大多達 C 等級，在引導下能將學習的知識與觀察的現象與實驗數據連結，並指出其關聯性。少部分在引導下能將學習的知識與觀察的現象與實驗數據連結，但無法指出其關聯性-D 等級。極少部分引導下也無法將學習的知識與觀察的現象與實驗數據連結或無法撰寫學習單-E 等級。少部分能自行將學習的知識與觀察的現象與實驗數據連結，並應用知識敘述自己的觀點-B 等級。極少部分能自行將學習的知識與觀察的現象與實驗數據連結，並應用知識合理解釋自己的論點-A 等級。

實驗學生實作評量經分析的結果發現：學生的「建立模型」能力大多能達 C 等級，在引導下，能從實驗過程、合作討論中，知道自然現象的模型。少部分在引導下，能從實驗過程、合作討論中，部分知道自然現象的模型-D 等級。極少部分-E 等級。少部分能從實驗過程、合作討論中了解自然現象的模型-B 等級。極少部分能從實驗過程、合作討論中了解自然現象的模型，評估模型的優

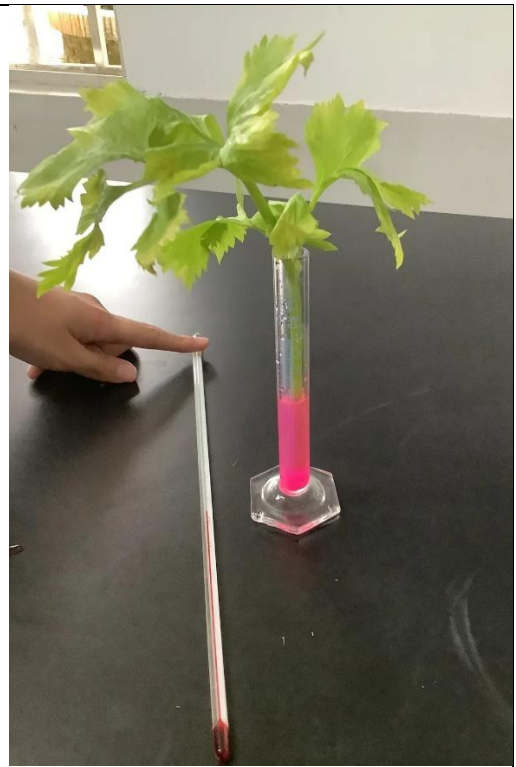
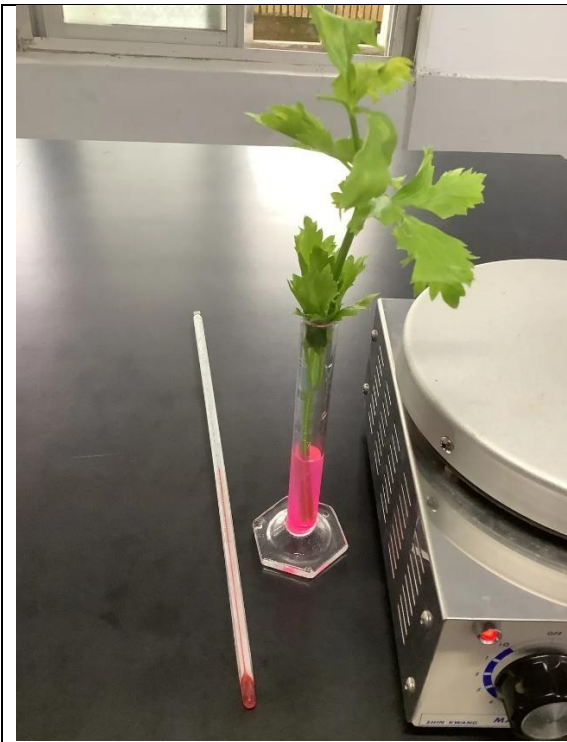
點和限制，並應用在後續的科學理解或生活-A 等級。

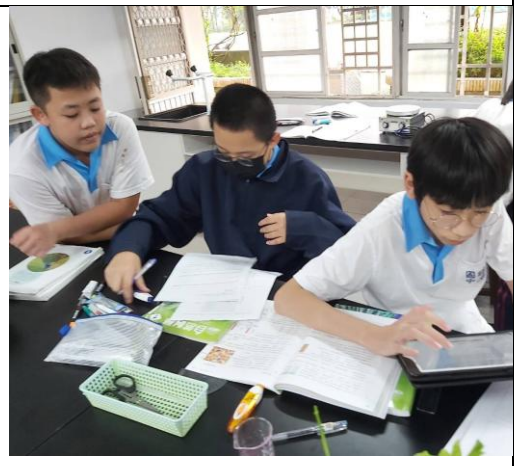
學生的「觀察與定題」觀察能力大多能達 C 等級，在引導下能觀察而察覺科學問題。少部分在引導下能嘗試觀察而察覺科學問題-D 等級。極少部分在引導下也無法觀察或無法撰寫學習單-E 等級。少部分能自行觀察而覺察科學問題-B 等級。極少部分能有計畫地自行觀察而覺察科學問題-A 等級。定題能力大多能達 C 等級，在引導下能辨別適合科學探究的問題，閱讀蒐集資料後提出可探究的科學問題。少部分能在引導下能嘗試辨別適合科學探究的問題-D 等級。極少數-E 等級。少部分能辨別適合科學探究的問題，閱讀蒐集資料後提出可探究的科學問題-B 等級。極少部分能辨別適合科學探究的問題，閱讀蒐集資料後提出具體可探究的科學問題-A 等級。

學生的「分析與發現」能力大多能達 C 等級，在引導下，能運用科學原理、思考智能、數據分析等方法，從(所得的)資訊或數據、獲知變項間的關係、解決問題、發現新的問題或新知。並能將探究結果和其它相關的資訊比較對照。少部分在引導下，能部分運用科學原理、思考智能、數據分析等方法，從(所得的)資訊或數據，獲知變項間的關係、解決問題、發現新的問題或新知。並能部分將探究結果和其它相關的資訊比較對照-D 等級。極少部分-E 等級。少部分能自行觀察而覺察科學問題-B 等級。極少部分能有計畫地自行觀察而覺察科學問題-A 等級。定題能力大多能達 C 等級，在引導下能辨別適合科學探究的問題，閱讀蒐集資料後提出可探究的科學問題。少部分能在引導下能嘗試辨別適合科學探究的問題-D 等級。極少數在引導下也無法辨別適合科學探究的問題或無法撰寫學習單-E 等級。少部分能運用科學原理、思考智能、數據分析等方法，從(所得的)資訊或數據，形成解釋、獲知變項間的關係、解決問題、發現新的問題或新知。並能將探究結果和其它相關的資訊比較對照-B 等級。極少部分能運用科學原理、思考智能、數據分析等方法，從(所得的)資訊或數據，形成解釋、獲知變項間的關係、解決問題、發現新的問題或新知。並能將探究結果和其它相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果-A 等級。

思考未來如何在有限的課程時間內，提升學生的高階探究能力？促進學生的批判思考能力？可以將科技與教學的融合，協助學習者提升知識內容、認知的支持與傳導、多樣化的自主學習（黃國禎、付慶科，2019；Kinshuk et al., 2016）。例如生成式人工智慧（Generative AI）快速發展，引發許多應用與效益，文字類型的 ChatGPT、圖像類型的 Midjourney 等。若能善用生成式 AI，可提升學習和工作效率，提供更高品質的教學與學習內容。但 AI 工具仍處於發展階段亦有許多限制與挑戰，如何對於其正確性有嚴謹地把關與確認？並且不宜過度依賴(Suga, K., 2023)。也可以結合應用 AI 的創新教法如：問題導向教學等，幫助達成適應學生的學習個別需求（黃國禎，2021）。

6個主題的探究實作中，只有「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」的「分析與發現」能力，經卡方檢驗統計甲組優於乙組學生、乙組優於丙組學生，且皆達顯著差異。亦即在「分析與發現」向度，實驗組甲 AI 輔助探究實作教學的學生學習成效優於實驗組乙探究實作教學的學生，實驗組乙的學生優於對照組丙教科書一般教學，依據教科書的實驗目的和實驗步驟完成實驗。其他5個主題，在「推理論證」、「建立模型」、「觀察與定題」經卡方檢驗統計甲組雖優於乙組學生，但未達顯著差異。乙組優於丙組學生，且皆達顯著差異。結果發現在「推理論證」、「建立模型」、「觀察與定題」向度，實驗組甲和實驗組乙的學生皆優於對照組丙的傳統食譜式實驗教學。AI 輔助探究實作教學的學生學習成效雖大多優於實驗組乙探究實作教學的學生學習成效，但未達顯著差異。





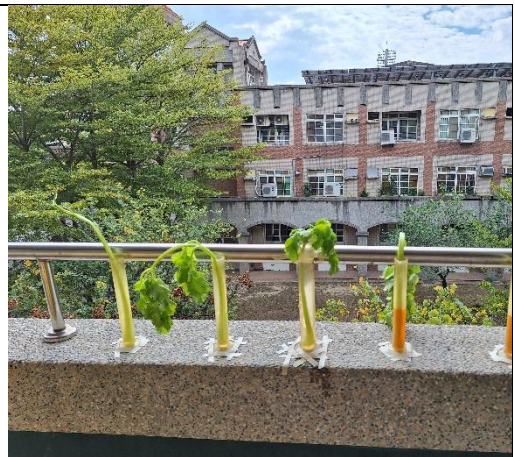






表23：研究進度表

		民國113年8月1日~114年7月31日					
		預定完成進度  目前完成進度 					
階段		8~9月	10~11月	12~1月	2~3月	4~5月	6~7月
1. 準備期 成立教師 專業社群	預定完成進度						
	目前完成進度						
2. 發展期 設計研發 AI 輔助課 程、探究 課程、教 學、素養 導向評量	預定完成進度						
	目前完成進度						
3. 實施期 教學、評 量、閱卷	預定完成進度						
	目前完成進度						
4. 詮釋期 資料分析 及統計	預定完成進度						
	目前完成進度						
5. 成果期 撰寫成果 報告及成 效評估	預定完成進度						
	目前完成進度						

伍、 預定完成進度

如上所述，見**表23**。

陸、 討論與建議(含遭遇之困難與解決方法)

1. 學生在探究實作課程教學與評量過程遭遇之困難：

- (1) 學生大多喜歡並期待探究實作的動手做過程與樂趣，但對於科學探究歷程的「觀察與定題」的素養中的有計畫的觀察、覺察問題、具體提出適宜探究的問題和假設，是學生最感到困難與不足的能力，也是學生探究

學習最大的壓力。教師以個人之力要引導學生能有計畫的觀察、覺察問題、具體提出適宜探究的問題和假設，時間與體力皆有限。

(2)解決方法：教導學生如何安全、可靠的應用 AI，如 ChatGPT 或教育部建置的線上學習平台「因材網」e度。應用 AI 結合多元的知識理論、實際的範例與豐富資源，提升學生的學習經驗。但有時學生不熟悉發問的技巧，須要能提出適當問題，並請 AI 工具針對國中或國一的程度回答。有時 AI 回答太深或太淺，也必須反覆深入淺出地詢問，才能得到滿意的答案。此外，有時 AI 會回答出表面看似合理但實際不正確或荒謬的答案，仍需有自己的知識專業性進行謹慎的正確性判斷。

2. 探究實作過程如何應用 iPad 進行 AI 輔助學習的困難：

(1)實驗組甲的 AI 輔助探究實作班級學生進行「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」時，因為不熟悉甚至從未進行過探究實作，讓學生已經感到時間不足。在實驗過程中同時要使用 iPad，又不熟悉的數位科技，會有手忙腳亂的混亂感。學生在探究過程經歷和科學家探究獲得知識的過程相似，常遭遇許多困難與挫折，如何從中學習社會技巧、科學技能與知識？教師營造問題解決的探究環境，提供機會給學生學習在混沌不知的未來，預測可能會有何種結果的情境，透過教師營造的學習環境，是幫助學生得到探究的結果是可行的手段與策略 (Straits & Wilke, 2002)。教師發現學生的挑戰主要是探究對話或思考時間不足、有的學生屬於被動參與行為、有的屬於理解和反思不足、對於使用 iPad 科技的陌生與操作不純熟。因此無法有多餘的時間在探究實作當場進行 AI 輔助探究實作的機會。

(2)解決方法：探究能力是隨時間累積，因此應決定單元關鍵的探究問題，教師可刪除不必要的活動、刪除太容易的問題、太難的任務可從小組討論於必要時轉為全班討論，師生對話，逐步提升學生探究與思考的品質。課後的進階探究問題，幫助學生理解生活自然現象，促進反思(陳

雅芊、林君憶，2022)。培養學生的科學探究技能，使用「探究與實作」科學方法的過程，引發學生主動的探索、操作及科學論證溝通能力，幫助學生從既有經驗透過激發學生的好奇心與主動學習的意願，逐步養成科學探究能力。明確的提問、根據主題設計實驗活動，讓實驗過程易於觀察與推論，以解決課堂上探究實作時間不足的困難(吳秀娟，2022)。學生使用ipad科技工具的能力也是隨時間累積，學生學習使用生成式AI的層次如下，查找答案、改正答案、修訂答案、提出問題、界定問題、探討問題、搜尋方法、比較方法、驗證方法(何世敏，2024)。建構問題和尋找答案是互動促進，也是Gen AI 提問(Prompt)的過程，因此學習者必須有效結合Gen AI 和數位資源結合自我調整學習 (Self-Regulated Learning, SRL)兩種核心素養，才能產生最佳學習的效能(何世敏，2024)。自我調整學習係指「以學習目標為導向，個人使用後設認知監控並調整其內在認知、動機與外在資源來達成學習目標的歷程。」自我調整學習被視為成功學習的關鍵。

3. 探究實作過程學生在「分析與發現」能力的學習困難：

- (1)實驗組學生在實驗過程中有項學習目標是培養其「分析與發現」能力，學生要能分析歸納數據、製作圖表、使用資訊及數學等方法，整理資訊或數據。這些都需要大量時間製作與討論，如何有效應用科技解決問題，是學生面對的困難之一。
- (2)解決方法：讓科技輔助作為「增強」學習的模式，幫助學生運用科技於某個課堂任務，從而增強學習效率及效能。或成為「轉化」學習的模式，透過運用科技改變教師角色和教學策略，進而改變學生學習方式。例如有老師設計excel軟體讓學生使用，但使用時發生問題，仍然回到傳統的方格紙作圖。如何逐漸將傳統教學典範由教師極大程度上的全權掌控、決定及主導，轉為學生有較大程度可自行掌握、決定及調整學習的內容、問題、答案、目標、方法、工具、方式。提出問題和尋求答案的

方法是學習典範變化的核心，未來問題和答案都會變得更開放性及擴散性、更多樣化及多元化。學習者需要分辨能力、批判思考和道德判斷。學習者更需要多方面自主學習，以及更高階的自主學習的能力。

4. 教師在探究實作過程數位教學能力的不足：

- (1)學習載具ipad借用歸還的不便性。ipad行動充電車當班級需要使用時，必須派遣數名學生協助借用及搬運，來回的路程有損壞的風險，且借還流程影響班級之課堂時間運作。使用完都必須花額外時間與人力盤點ipad數量與檢查其狀況。
- (2)教師的數位教學能力落差。「數位教學」是指教師有系統性的運用數位科技進行課程規劃與教學設計，提供學生多元的學習內容並進行及時的課堂互動與評量，進而立即性掌握學生的學習狀況（教育部，2023）。然而學校有pad工具，但多數的pad教學新手教師要順利配合教學需求，需要一段時間的持續學習與訓練。當教師對自己數位應用能力信心不足或對於pad工具操作不夠熟悉時，都會降低使用學習載具之意願並傾向（郭美秀，2022）。
- (3)解決方法：教育部「推動中小學數位學習精進方案」，「職前與在職教師AIPACK課程推動與教學能力提升計畫」都是以漸進式推動，尊重教師專業自主(徐嘉鍾，2024)。AIPACK計畫計畫)推動AI教學應用及AI評量應用，透過研究基地學校共同協作，發展並實踐AI教育。幫助教師提升其多元教學與評量能力，將AI融入教學。希望由成功的實踐AI教育者能帶領新手應用AI教師，能建立成功經驗。

5. 學生在使用AI工具不知如何提問：

解決方法：學習以文字精準提問(Prompt)。精準提問文字指令，包括提問人的身分、年齡、角色、情境、執行的任務主題、完成目標所需要的行動、如何輸出的注意事項等，並提供問題的鷹架。

柒、參考資料

- 王金國 (2002)。成功學習的關鍵—自我調整學習。課程與教學。5:1，145-163。
- 王淑卿、葉宗一、王國華(2020)。合作問題解決自我效能量表發展與科學學習成就關係之探討。科學教育學刊，28(4)，353-377。
- 王翠妃、余忠潔、段曉林 (2013)。探究教學對國中資優學生科學推理類型轉變之影響。建構與教學，38(1)，79-106。 <https://doi.org/10.6172/BSE.201303.3801004>
- 白佩宜 (2008)。探討不同探究式教學法對高一學生科學探究能力成長之影響 (碩士論文)。國立臺灣師範大學。
- 何世敏 (2024 年 8 月 6-7 日)。Gen AI 在學校教育的應用 [專題演講]。2024 AI 數位學習國際論壇，台北市，台灣。
- 吳秀娟(2022)。使用 PD/OQDE 教學法進行「科學探究與實作」培養學生的推理論證能力 (未出版之碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 吳宛如 (2004)。科學探索課程對國中學生的學習動機與表現之影響 (碩士論文)。國立臺灣師範大學。
- 徐嘉鍾(2024)。「推動中小學數位學習精進方案」教師面臨之困境與因應之道。臺灣教育評論月刊，2024，13 (2)，62-67。
- 張珮珊、賴吉永、溫嫩純 (2017)。科學探究與實作課程的發展、實施與評量：以實驗室中的科學論證為核心之研究。科學教育學刊，25 (4)，355-389。
- 郭美秀 (2022)。生生用平板後的教室新風景。師友雙月刊，636，144-146。
- 陳雅芊、林君憶(2022)。發展國中科學課堂裡的探究式對話：人文觀點的科學教育實踐。科學教育學刊，30(S)，381-402。
- 陳雅芊、林君憶(2022)。發展國中科學課堂裡的探究式對話：人文觀點的科學教育實踐。科學教育學刊。13，381-402。
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>

- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R. W., & Soloway, E. (1998). *Instructional, curricular, and technological supports for inquiry in science classrooms*. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 283–315). AAAS Press.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Straits, W. J., & Wilke, R. R. (2002). Practical consideration for assessing inquiry based instruction: Some guidelines for improving student assessment. *Journal of College Science Teaching*, 31(7), 432-435.