

教育部114年度中小學科學教育計畫專案

期中報告大綱

計畫編號：2-6

計畫名稱：生成式 AI 輔助探究實作與素養導向標準評量之探討

(第一年)

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. 將源自教科書的2個食譜式實驗創新設計轉化為探究實作課程、教學與標準化探究實作評量。
2. 實驗組 A 班級學生進行2個課程主題的數位學習-科技輔助自主學習。
3. 原創設計2個科學認知標準化評量。
4. 將111~113年原創設計的6個探究實作課程以模組式課程供實驗組 A、B 班級學生探究學習，並不斷精緻化。
5. 將111~113年配合6個探究實作課程原創設計的素養導向標準化探究實作評量，依課程需求供實驗組 A、B 班級學生評測，並不斷精緻化。
6. 將111~113年原創設計科學認知素養導向標準評量實施於所有班級學生，並不斷精緻化。
7. 探討教師與學生在應用 AI 工具、設計、實施探究實作課程教學與標準化評量過程中，遭遇的困境、挑戰與解決問題的方法。

貳、研究方法及步驟：

1. 研究工具

114年計畫研究者根據《十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域》主題-能量的形式、轉換及流動、和次主題-生物體內的能量與代謝的學習內容。並依據《十二年國教課綱國民中學標準本位評量工具彙編》，新增創新改編自

生物教科書第一冊第3章--生物體的營養的2個食譜式實驗「澱粉與糖分的檢定」和「光與光合作用」，創新設計為「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」兩個主題的探究實作課程、探究實作教學設計與標準評量工具，提供實驗組 A、B 班級學生進行探究實驗教學。以及新增原創設計「養分與能量」、「植物如何製造養分」主題的2份科學認知科學認知素養導向標準評量題組試卷和評分指引，提供所有的學生評測。

此外，有111~113年依據教科書「消化系統」、「循環系統」、「神經系統」、「生殖系統」缺乏實驗課程的主題，原創設計的4個探究實作課程，「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」、「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」的科學探究標準評量工具--學習單、檢核表和評分指引。和2個源自教科書創新設計的「溫度對唾液酵素作用」和「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」探究實作課程的科學探究標準評量工具--學習單、檢核表和評分指引。共6個科學探究標準評量工具。

以及6份111~113年原創設計精緻化的科學認知素養導向標準評量題組試卷和評分指引。包含酵素、植物的運輸構造與功能、消化系統、循環系統、神經系統、生殖系統等6個主題的6個科學認知素養導向標準評量工具。

綜上，評量工具共有16份(表1)。其中新增4份評量工具「澱粉與糖分去哪了?」、「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」、「養分與能量」、「植物如何製造養分」為實驗組 A、實驗組 B、對照組 C 班級學生，所有學生都必須實施。111~113年設計的12份評量，則以模組式教學與評量方式，提供教師與學生依需求而選擇實施。

原本科學認知評量規劃有前測，因應114年《紀念日及節日實施條例》修正，下半年新增3個國定假日，9/28 教師節、10/25 臺灣光復節、12/25 行憲紀念日。而且都剛好是連續假日。教師面對課程進度與評量時間的壓力很大，討

論後刪去科學認知評量的前測。

表1：評量工具整理表

評量類型	評量主題單元名稱	參與評量學生	
		實驗組 A、B	
科學探究 評量	1.探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測	前測、後測	
	2.探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係	前測、後測	
	3.溫度對唾液酵素作用	前測、後測	
	4.透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行	前測、後測	
	5.認識消化系統	前測、後測	
	6.明明白白豬心與我心	前測、後測	
	7.豬頭豬腦神經系統探索之旅	前測、後測	
	8.公豬母豬-雌雄有別	前測、後測	
	※註：3~8為模組課程的評量可依教學需求自行選擇		
科學認知 評量	1.養分與能量	後測	後測
	2.植物如何製造養分	後測	後測
	3.酵素	後測	後測
	4.植物體內物質的運輸	後測	後測
	5.消化系統	後測	後測
	6.循環系統	後測	後測
	7.神經系統	後測	後測
	8.生殖系統	後測	後測

2. 研究步驟

(1) 成立教師專業社群

成立由10位教師組成的校內教師專業社群和由11位教師組成的跨縣市教師專業社群。跨縣市教師專業社群共有6個縣市的8所學校11位教師參與，包含都會型學校、偏遠或離島學校；公立學校、私立學校。由參與跨縣市教師專業社群教師的班級學生參與研究，分為實驗組A、B與對照組C班級學生。

(2) 設計 AI 融入的探究實作素養導向課程、教學、評量

依據 Ubd 課程設計(Wiggins & McTighe, 2011)，確定課程主題、課程與教學目標、預期學生表現、設計評量工具與評量指引、設計探究實作課程與教材、教學設計。

首先，融入課前準備：輔助教師教學設計，例如設計發問詞讓AI能依據課綱協助設計或修改教學內容，並記錄，精進教學設計。進行教材準備時的檢視及修正。其次，融入教學現場：輔助教學時，事先設計發問詞讓AI協助共同討論文本如何生成，學生透過比對AI生成文本的表達、文章架構、邏輯、組織等差異，並記錄說明來源，提升學生的分析力和洞察力。師生的問答與討論，可同時輸入AI提供提示，人機共同討論，再將ChatGPT生成內容當作討論的一部分，過程中並記錄，激發多元視角與觀點，培養學生創新與批判思考能力。

(3) 創新設計改編自教科書食譜式實驗為探究實作素養導向課程、教學、科學探究評量和科學認知評量

根據《十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域》主題--能量的形式、轉換及流動，次主題--生物體內的能量與代謝，Bc-IV-1生物經由酵素的催化進行新陳代謝，並以實驗活動探討影響酵素作用速率的因素。Bc-IV-3植物利用葉綠體進行光合作用，將二氧化碳和水轉變成醣類養分，並釋出氧氣；養分可供植物本身及動物生長所需。Bc-IV-4日光、二氧化碳和水分等因素會影響光合作用的進行，這些因素的影響可經由探究實驗來證實。和自然教科書第一冊第3章--生物體的營養的2個食譜式實驗「澱粉與糖分的檢定」和「光與光合作用」，創新設計為「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」兩個主題的探究實作課程、探究實作教學設計，提供實驗組 A 和實驗組 B 班級學生進行探究實驗教學。並參酌國立臺灣師範大學心理與教育測驗研究發展中心(2020)出版的《十二年國教課綱國民小學標準本位評量示例彙編》評量標準，新增原創設計的「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」探究實作探究實作標準化評量，包含學習單、檢核表、標準化評分指引。實施於實驗組 A、B 和對照組 C 等所有的班級學生，理解其探究能力的學習成效是否有差

異？以及原創設計2個主題的科學認知標準評量「養分與能量」、「植物如何製造養分」。參酌《十二年國教課綱國民中學標準本位評量工具彙編》，依據自然領綱學習內容與學習表現程度，將評量的結果分為A~E五個不同等級表現程度。A表「優秀」；B表「良好」；C表「基礎」；D表「不足」；E表「落後」。除了以A~E五個量化表現程度呈現學生的評量結果，還配合評分規準的質性描述呈現學生的表現程度的學習內容與內涵。

社群教師中以教師任教班級為單位，分為實驗組A、B與對照組C3組（表2）。實驗組A、B學生皆以探究社群學習策略進行小組或團體的探究學習；實驗組A增加使用AI工具輔助教學與學習，以自主學習與數位學習常用的四學教學模式，學生自學、組內共學、組間互學、教師導學的教學模式。配合因材網的課程設計，將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B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C班級根據教科書課程內容進行一般教學。科學探究標準評量與科學認知標準評量皆實施於實驗組A、B和對照組C等所有的班級學生，理解其探究能力與科學認知的學習成效差異？

表2：實驗組A、B與對照組C班級學生實施課程、教學、評量的比較

	實驗組 A	實驗組 B	對照組 C
課程一	<p>源自教科書創新設計探究實作2個課程與教學</p> <p>「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和</p> <p>「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>源自教科書創新設計探究實作2個課程與教學</p> <p>「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和</p> <p>「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>教科書2個食譜式實驗課程與教學</p> <p>「澱粉與糖分的檢定」和「光與光合作用」</p>
課程二	<p>之前原創或創新設計探究實作模組6個課程與教學</p> <p>「溫度對唾液酵素作用」、「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」、</p>	<p>之前原創或創新設計探究實作模組6個課程與教學</p> <p>「溫度對唾液酵素作用」、「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」、</p>	<p>教科書2個食譜式實驗課程與教學</p> <p>「酵素的作用」和「植物的物質運輸」※註：「消化系統」、「循環</p>

	「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」	「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」	系統」、「神經系統」、「生殖系統」 課室課程(缺乏實驗)
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 探究	2份原創科學探究評量-檢核表、學習單和評分指引 「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和 「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」 ※註：6個模組課程可依實際需求選擇實施	2份原創科學探究評量-檢核表、學習單和評分指引 「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和 「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」 ※註：6個模組課程可依實際需求選擇實施	教科書食譜式實驗教學 「澱粉與糖分的測定」和「光與光合作用」
評量乙 科學 認知	2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引 「養分與能量」、 「植物如何製造養分」	2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引 「養分與能量」、 「植物如何製造養分」	2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引 「養分與能量」、 「植物如何製造養分」
評量丙 科學 探究	6份之前原創科學探究標準評量與評分指引 「溫度對唾液酵素作用」、「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」、 「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」 ※註：配合6個模組課程依需求選擇實施	6份之前原創科學探究標準評量與評分指引 「溫度對唾液酵素作用」、「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」、 「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」 ※註：配合6個模組課程依需求選擇實施	教科書缺乏實驗課程與教學
評量丁	6份之前原創科學認知標準	6份之前原創科學認知標準	6份之前原創科學認知

科學 認知	評量與評分指引	準評量與評分指引	標準評量與評分指引
	「酵素的作用」、 「植物的物質運輸」、 「消化系統」、 「循環系統」、 「神經系統」、 「生殖系統」	「酵素的作用」、 「植物的物質運輸」、 「消化系統」、 「循環系統」、 「神經系統」、 「生殖系統」	「酵素的作用」、 「植物的物質運輸」、 「消化系統」、 「循環系統」、 「神經系統」、 「生殖系統」

(4) 精緻之前原創設計的科學探究課程、教學、評量和科學認知評量

(5) 研究對象

研究對象由跨縣市教師專業社群教師的班級學生參與，共約800名國中生。分為實驗組A、B與對照組C班級學生。共有6個縣市8所學校的班級學生參與。包含都會型學校、偏遠或離島學校；公立學校、私立學校；一般學生、數理資優生、體育資優生等不同學生參與。實驗組A班級學生共約100名、實驗組B班級學生共約150名，對照組C班級學生共約550名。

(6) 選定資料分析準則

質量混合研究法為資料分析準則。

(7) 教學

社群教師中以教師任教班級為單位，分為實驗組A、B與對照組C3組（表2）。實驗組A班級以使用AI工具配合探究社群學習策略及四學模式進行探究動手做探究課程；實驗組B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C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，發展為探究實作課程。

(8) 評量與閱卷

實驗組A、B和對照組C班級學生皆實施2份新增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。）。最後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，整理出全班

等級成績，以進行資料分析與統整。

(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

若閱卷過程，有疑問提出，教師依學生表現的實際狀況或自身經驗可以提出科學認知、科學探究素養導向、標準評量閱卷與評分指引修正，進行討論，商議結果達成共識後，再繼續閱卷或修正參考答案與評分指引。

(10) 蒐集與分析資料

蒐集研究過程評量的所有質性與量化的資料，及教師們和學生們的心得、反思和討論。

(11) 撰寫報告

根據收集的質性與量化的資料，統計分析後，撰寫報告。以上研究步驟如研究流程圖(圖1)。

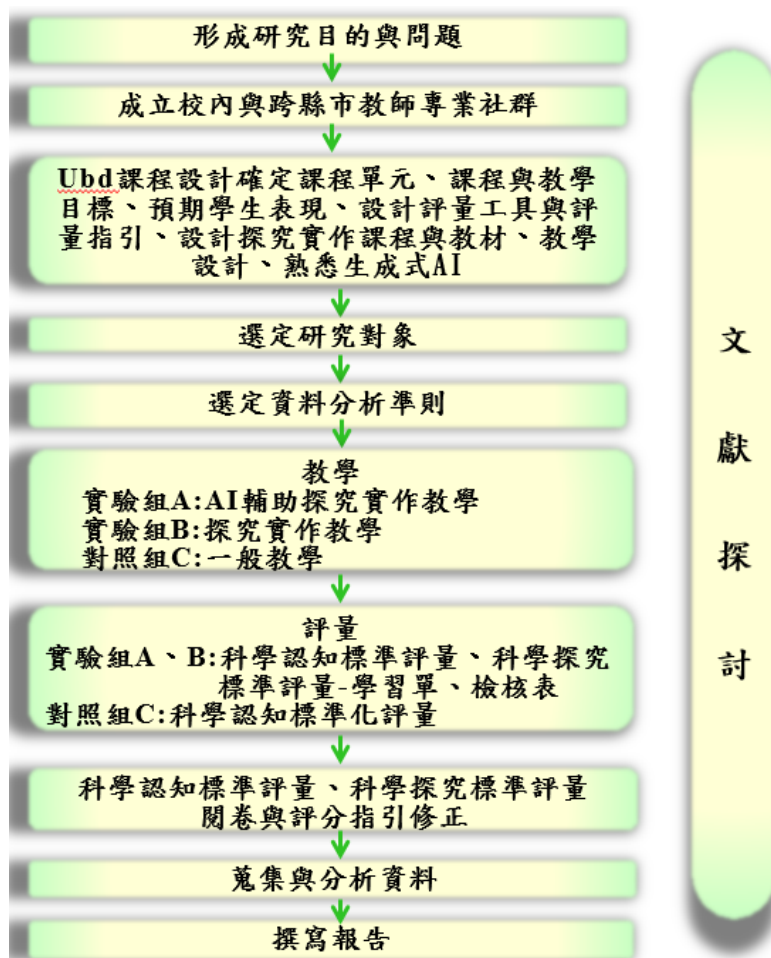


圖1：研究流程圖

參、目前研究成果：

1. 完成2個114年的創新探究實作課程與標準化探究評量設計

本計畫完成2個探究實作課程與教學創新設計「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」，與2個探究課程的標準化探究評量，含評分指引。研究者依據《十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域》設計課程與教學內容，也利用ChatGPT、Claude、Gemini等AI工具輔助課程與教學的課前準備，進行教材設計的檢視及修正。修改教科書原有的食譜式實驗「澱粉與糖分的檢定」和「光與光合作用」，轉化為探究實作課程與教學。

完成2份創新科學探究課程「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」和「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」的探究實作評量，包含標準化檢核表、學習單、標準化評分指引和參考答案。

參酌《十二年國教課綱國民中學標準本位評量工具彙編》，依據《十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域》學習內容與學習表現程度，將評量的結果分為A~E五個不同等級表現程度。A表「優秀」；B表「良好」；C表「基礎」；D表「不足」；E表「落後」。除了以A~E五個量化表現程度呈現學生的評量結果，並配合評分規準的質性描述呈現學生的表現程度的學習內容與內涵。

2. 完成實驗組A班、B班級學生「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」探究課程教學

實驗組A班級以使用AI工具配合探究社群學習策略及四學模式，進行探究實作課程；實驗組B班級以探究社群學習策略，進行探究實作課程。教師設計提問與討論讓學生組內共學、組間互學，並填寫學習單。教師引導學生應用生成式AI學習。引導以專業性驗證批判生成內容的正確性、關聯性和周延性。實驗組A班級(約100人)、B班級(約150人)的學生皆完成「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」探究課程學習。

但目前因為教學時間限制、訓練學生時間有限、學生資訊能力、學生學習態度、班級秩序管理以及學校網路或因材網的穩定度與流量問題，實驗組A班

級使用學生自學、組內共學、組間互學以及教師導學的四學模式，進行數位學習-科技輔助自主學習在實施上仍有困難必須克服。原因如後所探討

源自教科書的2個創新設計探究實作課程與教學，實驗組A和B目前皆完成「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」。但「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」皆未完成。

因為114年因應《紀念日及節日實施條例》修正，下半年新增3個國定假日，教師節、臺灣光復節、行憲紀念日。而且都剛好是連續假日，學校教師對於課程進度的因應有些倉卒，因而壓縮探究實作的時程。加上「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」實驗必須較長時間種植植物並包鋁箔或控制其他變因，與「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」都在同一章，也是段考前的進度。因而耽擱無法進行，必須下學期若時間寬裕，另覓時間進行探究。

3. 完成2個原創科學認知標準化評量設計且所有學生皆完成評量

原創完成2個探究課程的科學認知標準化評量題組試卷和評分指引「養分與能量」、「植物如何製造養分」。實驗組A班級(約100人)、B班級(約150人)、對照組C班級學生(約550人)，共約800人皆完成教科書單元「養分與能量」、「植物如何製造養分」課程的科學認知標準化評量。

4. 完成精緻化之前所原創或創新設計的6個探究實作課程

精緻化111~113年所原創或創新設計的6個探究實作課程：1.溫度對唾液酵素作用、2.認識消化系統、3.透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行、4.明明白白豬心與我心、5.豬頭豬腦神經系統探索之旅、6.公豬母豬-雌雄有別。課程1、2.屬於自然教科書第一冊第3章--生物體的營養。課程3、4.屬於自然教科書第一冊第3章--生物體的運輸作用。課程5.屬於自然教科書第一冊第4章--生物體的協調作用。課程6.屬於自然教科書第二冊第1章--生殖。課程1、3.教科書有食譜式實驗，課程2、4、5、6.教科書皆只有圖文說明、缺乏實驗。此6個探究實作課程以模組式課程提供實驗組A、B班級學生探究學習，由教師依實際需求與時間模組式選擇實施。

5. 完成精緻化之前所原創設計的6個探究實作課程的素養導向標準化探究實作評量

精緻化111~113年所原創或創新設計的6個探究實作課程的標準化探究實作評量：1.溫度對唾液酵素作用、2.認識消化系統、3.透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行、4.明明白白豬心與我心、5.豬頭豬腦神經系統探索之旅、6.公豬母豬—雌雄有別。評量內容包含標準化檢核表、學習單、標準評分指引和參考答案。

6. 所有學生實施完成之前所原創設計的6個科學認知素養導向標準評量

實驗組A(約100人)、B(約150人)、對照組C班級學生(約550人)，共約800人皆完成教科書探究實作單元的科學認知評量。包含：1.酵素、2.消化系統、3.植物體內物質的運輸、4.循環系統、5.神經系統、8.生殖系統。以上評量1、2屬於自然教科書第一冊第3章--生物體的營養課程。評量3、4屬於自然教科書第一冊第3章--生物體的運輸作用課程。5屬於自然教科書第一冊第4章--生物體的協調作用課程。評量6屬於自然教科書第二冊第1章--生殖課程。

以上皆是對學生較抽象、不容易理解與學習單元的自然教科書內容，透過標準化評量幫助學生(1)將抽象概念具體情境化，藉由生活化的問題設計，協助學生體會知識的實用性並提升學習動機。(2)促進深層理解與高階思考，從記憶學習轉向理解推論或數據分析、科學探究與解決複雜問題的能力。(3)診斷並澄清迷思概念，確認學生是否真正掌握各種系統的構造與功能等科學認知概念，並能將不同系統的內容彼此連結，完成生物個體的生命構造與功能。(4)協助教師分析學生科學知識的推論、比較、解釋、應用、分析等能力，而非僅評量學生的記憶與練習成效。

7. 部分完成探討教師與學生在應用AI工具、設計、實施探究實作課程教學與標準化評量過程中，遭遇的困境、挑戰與解決問題的方法。

實驗組A班級使用AI工具配合探究社群學習策略及四學模式進行探究動手做探究課程，教師設計提問與討論讓學生組內共學、組間互學，並填寫學習單。教師引導學生應用生成式AI學習。引導以專業性驗證批判生成內容的正確

性、關聯性和周延性。原以為有理論基礎與理想，但因為教學時間限制、訓練學生時間有限、學生資訊能力、學生學習態度、班級秩序管理以及學校網路的穩定度與流量等問題，實驗組A班級使用學生自學、組內共學、組間互學以及教師導學的四學模式，進行數位學習-科技輔助自主學習在實施有許多困難必須克服。經文獻探討發現：

(1)「PISA之父」Andreas Schleicher針對AI時代提出：AI對人類能力的退化與教育本質的移轉。他認為，如果我們僅將AI視為提高效率的工具，而不重新定義人類的核心競爭力，社會根基將會面臨崩塌。AI造成教育本質的移轉，從「解決問題」轉向「發現問題」。

Schleicher指出過去的教育主要培養學生「解決問題」的能力，在AI出現前是高價值的技能。AI擅長在透過人提供的基本提示(Prompts)，經由大數據尋找最佳解釋。解決已知問題的速度與精確度，人類難以競爭。人類未來的新任務不再是「給出正確答案」，而是「提出正確的問題」。這是對現實世界的敏銳觀察、對倫理的考量以及對未知領域的想像力。如果學生只會操作指令(Prompts)來獲取答案，而欠缺判斷「這個問題是否值得被解決」的能力，人類反將淪為AI的執行工具。

(2)腦神經科學、認知心理學與教育工程學教授Barbara Oakley是推動全球教育結構轉型的線上課程平台Coursera的熱門課程講師，Coursera旨在將哈佛、史丹佛、IBM、奧克蘭等知名大學課程，推廣至全球任何人都能學習。**Oakley提出AI介入教育的腦科學警訊**：Oakley與Sejnowski(2018)在《學習如何學習》(Learning How to Learn)中主張，過早依賴AI會跳過大腦必要的鍛鍊，對大腦發育會造成長期傷害。核心論點如下：

①**大腦的兩套學習系統**：陳述性系統(Declarative System)與程序性系統(Procedural System)。陳述性與程序性系統。陳述性系統(前額葉、海馬迴)：負責有意識的理解。程序性系統(基底核)：透過重複練習達到「自動

化」。警訊：過早使用 AI 代勞會跳過程序性系統的練習，導致知識無法進入長期記憶，難以建立穩固的神經架構。

② **認知卸載 (Cognitive Offloading) 與 IQ 下降**。過度依賴外部工具 (Google、AI 等) 會產生認知卸載，使大腦的工作記憶不再處理複雜資訊。長期缺乏深層思考，將削弱大腦解決問題的能力。

③ **費林效應逆轉 (Reverse Flynn Effect)**。費林效應是指 20 世紀中，人類的平均智商 (IQ) 分數隨著時間而逐年顯著增長的現象。在全球多個國家，智商測試分數大約每十年增加 3 分。但部分科技化教育過早的國家 (如挪威、丹麥、英國)，IQ 分數近年出現停滯甚至下滑。主因在於輕忽或放棄基礎的「記憶」與「練習」，導致智力發展趨勢逆轉。可能原因包括：過度依賴科技 (導航、Google、AI 等)，大腦減少了自主運算與記憶的訓練。教育模式改變，過於強調查資料，而輕視基礎內化與深度閱讀。環境的干擾，常常多工處理 (Multitasking) 與碎片化資訊，縮短人類的專注時間。

④ **AI 介入的安全年齡 (Safe Age) 與認知成熟期**。核心邏輯：「先內化，再外包」。在建立該領域的神經模板 (Neural Templates) 前應避免使用 AI。**理解不等於學會**：必須透過重複練習讓神經元建立物理連結 (神經迴路、神經模板)，才能獲得自動化提取與預測能力 (如資深棋手的直覺)。中小學應守護此發展潛能。

⑤ **記憶悖論 (The Memory Paradox)**。反駁「不需背誦，查詢就有」的觀點。事實上，大腦內擁有的內化知識 (Internalized Knowledge) 愈多，操作 AI 的指令 (Prompt) 才會愈精準，並能進行真正的創新。

教育者必須守護「基礎能力內化」的臨界點。缺乏內化知識者使用 AI 僅是平庸化；唯有具備紮實認知架構的人，才能將 AI 作為真正的增強器。

(3)教育與社會科學學者 Sönke Ahrens 在《卡片盒筆記術》(How to Take Smart Notes) 書中論述，提出筆記不能外包給 AI 的核心論點，並強調「寫作即思考」，主張筆記不應由 AI 代勞，核心原因如下：

① 認知負荷 (Cognitive Load) 與選擇性過濾 (Selective Filtering)。學習需要有必要的難度 (Desirable Difficulty)，學習需適度的認知努力 (Cognitive Effort)。手寫筆記雖慢，卻能產生有意義的掙扎 (Productive Struggle)，這是建立神經模板、極大化長期記憶的關鍵。因為 AI 快速處理資訊，反將認知負荷降至零，導致大腦跳過深層編碼 (Deep Encoding) 而過目即忘。手寫的好處是「來不及將全部內容寫下」，大腦被迫進行選擇性過濾，是深度學習的開端。

② 避免收藏家謬誤 (The Collector's Fallacy)。長期依賴 AI 做筆記會產生「我已經懂了」的幻覺。真正的理解發生於用自己的話 (Own words) 重新表述 (Paraphrasing)。唯有親手記錄，概念才能與既有知識產生連結，產生有意義的認知建構。

③ 具身認知 (Embodied Cognition)。手寫的精細動作會刺激大腦神經迴路，建立神經模板，強化記憶痕跡。手寫在紙上的塗鴉或版面安排，能建立 AI 的純文字摘要難以取代的視覺化知識地圖。

④ 筆記是為了未來的對話。筆記並非存檔，而是與未來的自己對話。如果親手做筆記，在過程中會產生許多可以互相連結的靈光乍現 (Insights)。AI 無法得知你的舊知識儲備，難以替你建立這些關鍵的跨學科連結。AI 應該是我們助理，而非大腦。將思考過程交給 AI，將失去訓練出「更聰明大腦」的機會。

綜上所述，現代教育本質的轉向：從「解答」到「提問」。PISA 之父 Andreas Schleicher 指出，AI 擅長精準解決已知問題，因此教育重心必須移轉，人類的核心競爭力與新任務是「發現問題」。這仰賴對現實的觀察、倫理考量與想像力。若學生僅會操作指令 (Prompts) 而缺乏判斷問題價值的素養，人類將淪為 AI 的執行工具，產生失去主體性的危機。根據腦科學的研究，學習必須先有「內化」才有「專精」。Barbara Oakley 教授強調，過早依賴 AI 會傷害

大腦發育，因為大腦需結合「陳述性」與「程序性」系統。太早用 AI 會跳過程序性系統（基底核）的自動化練習，導致知識無法進入長期記憶。理解不等於學會，必須透過「努力(費力)」的練習建立物理性的神經迴路（神經模板），大腦才能具備直覺與預測能力。腦中內化知識愈多，AI 指令才會愈精準；否則僅是平庸化使用 AI，無法產生真正的創新。應守護中小學初期的基礎訓練，堅持必須「知識先內化，再外包給 AI 執行」的學生安全使用 AI 年齡，避免費林效應逆轉（智商下降）。Sönke Ahrens 根據認知心理學的實踐，提倡主張筆記即思考。筆記不可外包給 AI，因為學習需要有必要的難度和有意義的掙扎。手寫筆記雖慢且費力，但這種認知負荷能啟動深層編碼與高強度篩選（選擇性過濾），這才是深度學習的開始，「費力感」與「慢」是深度學習的必要過程，手寫的精細動作過程能強化記憶痕跡。親自用自己的話重述（Paraphrasing），能避免「收藏家謬誤」（擁有資訊的幻覺），並與舊知識連結建立跨學科的靈光乍現（Insights）。AI 在幾秒鐘內可產出完美的逐字稿或摘要，但對大腦卻是不費力的無感。因此把思考的過程交給 AI，容易失去更聰明的大腦。

綜合以上理論，撫平安慰我們心中的自責與傷痛。因為實驗組 A 無法有效順利的完成「使用 AI 工具配合探究社群學習策略及四學模式，進行探究實作課程」。讓我們懷疑 AI 工具必須如何介入學生學習？必須在何種環境條件下引入教學與學習？教師與學生必須做好那些準備？

基於發現實驗組學生無法有效順利的完成「使用 AI 工具配合探究社群學習策略及四學模式，進行探究實作課程」。讓我們質疑 AI 工具必須如何介入學生學習？必須在何種環境條件下引入教學與學習？教師與學生必須做好那些準備？

實驗組 A 可能是因為「工具介入過早」。當大腦尚未建立起神經基模時，AI 可能會成為認知發展的毒藥。造成認知萎縮（Cognitive Atrophy），因缺乏鍛鍊導致認知能力退化。或認知卸載（Cognitive Offloading），將思考外包給工具

的行為。甚至德國腦科學家 Manfred Spitzer 提出的數位失智 (Digital Dementia)，當過度依賴數位工具可能導致的認知損害。

在 AI 介入教學時，若我們給予的工具與流程太複雜，學生容易產生「操作工具」的認知隧道，而失去「深度思考」。

目前數位學習領域最核心的挑戰：「認知負荷超載」與「自主學習架構缺失」。當 AI 工具（科技）、探究社群（CoI，社交架構）與四學模式（自主學習架構）同時疊加時，若學生基礎能力不足，極易產生「認知隧道效應」。「認知隧道效應」(Cognitive Tunneling) 是一種心理學與人因工程學 (Ergonomics 或 Human Factors Engineering，研究人、機器、環境三者間相互作用的輔助學科。) 現象，指當人處於高壓力、高資訊負載或過度專注於某一特定任務時，大腦的注意力會像進入隧道一樣變得極其狹窄。導致只看見眼前的細節，卻完全忽略了周圍更重要、更顯著的資訊。

為什麼在「AI 探究學習」中會出現這個效應？①工具與流程的壓迫：當學生同時面對「AI 操作」、「探究策略」與「四學模式」時，資訊負載超過大腦工作記憶的極限。②隧道反應：學生為了完成作業，會陷入如何讓 AI 回答答案」這個細節隧道裡。③後果他們只在乎 Prompt 的調整，卻完全忽略了探究的主題本質、同儕的討論，甚至發現 AI 產出內容的邏輯錯誤。他們看見 AI 的文字，但沒有理解其中的意義。

如何破解「認知隧道」？①「抬頭」機制 (Scanning Rule)：在四學模式中設定強制中斷點。例如每 15 分鐘關閉螢幕，要求學生「離開 AI」，口頭描述現在的進度。②降低內在負荷：遵循 Barbara Oakley 的建議，先建立內化知識。如果學生對探究主題有基本的神經模板，就不會因為過度恐慌而產生認知隧道。③認知輔助工具：使用實體的黑板文字說明 (視覺化)，將大局觀 (Big Picture) 寫在黑板上，隨時提醒學生「隧道外」的目標。認知隧道效應是「專注力的副作用」。

美國普渡大學 2005 年底宣布，2026 年秋季起入學新生，必須具備「AI 應用能力」（AI Working Competency）才能畢業，成為全美第一所將 AI 能力列為畢業門檻指標的大學，這項指標反映出教育界的 AI 技術工具的普及，以及從「資訊處理」轉向「人機協作」的典範轉移（Paradigm Shift）。

結合以上 Andreas Schleicher、Barbara Oakley 與 Sönke Ahrens 的觀點，看教育趨勢、挑戰與核心能力三個層次：

(1) 教育界的趨勢與隱藏挑戰

包含兩大趨勢與挑戰：

趨勢①：從「知識儲備」轉向「認知擴增」。大學教育不再僅是傳授學科知識，更是在訓練學生的「認知擴增能力」。學位證書不再保證你「知道什麼」，而是證明你能否「有效指揮 AI 解決複雜問題」。趨勢②教學轉型：AI 成為基礎設施（如電力或網路），各系所必須將 AI 融入其專業領域。

挑戰①費林效應逆轉與「平庸化」陷阱。如同 Oakley 所提到的「認知卸載」（Cognitive Offloading）。若學生在尚未建立「神經模板」前就追求 AI 應用能力，可能導致 IQ 下滑與基本運算/寫作能力的萎縮。挑戰②：評價難度。學校如何區分學生是「具備 AI 的協作能力」還是僅僅「搬運 AI 的答案」？這對現有的評量體系是極大的挑戰。

(2) 未來學生必備的四項核心競爭力

要在 AI 時代保持競爭力，學生不能只當指令員（Prompter），而必須發展以下四種 AI 難以取代的「人本能力」：

①知識深度內化後的探究能力(Deeply Internalized Inquiry)

如 Schleicher 所言，未來價值在於「提出正確的問題」。探究提問的精準度取決於腦中內化知識的厚度。沒有紮實的神經基模，你無法問出能觸發 AI 深層邏輯的高階指令。具備判斷「這個問題是否值得被解決」的能力與倫理眼光。

②批判性的「幻覺辨識力」(Critical Verifiability)。AI 經常產生「幻覺」，而學生必須具備專家級的直覺來糾錯。只有大腦中建立了穩固的神經迴路，產生神經模板作用，才能瞬間直覺看到 AI 的錯誤答案，這就是專業能力。

③「寫作即思考」的綜合轉化力 (Synthesized Transformation)

遵循 Ahrens 的原則，學生必須具備重新表述 (Paraphrasing) 與跨領域連結的能力。能將 AI 產出的碎片資訊，透過「必要的難度」進行篩選與處理，最終轉化為個人知識體系的一部分，而非僅是「收藏」資訊。

④具身認知的實踐力 (Embodied Practice)

在數位時代，「動手做」反而變得更稀缺且重要。透過身體感官、實驗實作建立的具身認知 (Embodied Cognition)，是 AI 目前最難模擬的部分。具備現場解決問題、與實體物質互動的能力，將成為高階人才不被 AI 取代的重要能力。

(3)總結：普渡大學將 AI 能力列為畢業門檻指標的義涵

普渡大學所要求的「AI 應用能力」，而非「會寫 Prompt」或「會用工具」。其真正的含義應該是：「在保有深層人類思考能力的基礎上，具備駕馭 AI 工具以解決現實世界複雜難題的協作素養。」即未來的學生必須「費力學習」（建立神經模板）與「智慧協作」（與 AI 增強）之間取得平衡。如果失去了前者的認知「內化」，後端的 AI「應用」終將導致認知的平庸與崩塌。

國一學生要能有效、快速、順利的應用 AI 工具，無論是教育與社會科學、腦神經科學、認知心理學、教育工程學的理论，或是我們的實務經驗，的確是有實踐上的困難與挫折。誠如 Sönke Ahrens 所說的寫作即思考，筆記簿不能交給 AI 撰寫，探究實作的學習單也不能交給 AI 撰寫。

學生詢問 AI 的過程中，如何提出正確的問題比得到正確答案更重要。大腦必須具有敏銳觀察力，對倫理的考量，以及對未知領域的想像力與判斷力，方能善用 AI。認知負荷是指大腦在處理資訊時，工作記憶 (Working

Memory) 所承受的負擔。Ahrens 的觀點是學習必須要有適度的認知努力(Cognitive Effort)。當學生親自手寫學習單時，大腦會產生必要的難度，有難度的學習才是真學習。大腦產生認知負荷時，就會啟動深層編碼，經歷學習當下感到費力的心理努力、緩慢、挫折、疲勞感等造成心理壓力，都是有意義的掙扎。學生親自嘗試各種錯誤路徑的掙扎過程，能極大化長期記憶與理解。這種「慢」是種必要的難度。強迫大腦進行高強度篩選，此選擇性過濾的過程是深度學習的開始。學習過程有認知負荷確保大腦的參與度，有選擇性過濾確保大腦的主體性。

真正的專精學習需要陳述性系統與程序性系統兩條路徑結合。如果太早使用 AI 代勞（如寫作或解題），大腦會跳過程序性系統的重複鍛鍊，導致知識無法進入長期記憶，大腦也就無法建立穩固的神經架構。真正的「專精」學習需要兩者結合。Oakley 主張當你大腦裡擁有的內化知識愈多，你的 AI 指令才會愈精準。內化是將書本上或 AI 的答案知識變成大腦神經迴路的一部分。在大腦還沒建立起神經模板、心智模型或神經基模前，也就是用知識尚未內化前，應避免利用 AI 取代基礎思考與寫作練習。

肆、目前完成進度

1. 原創或創新課程、教學、評量設計與實施進度：

表3：實驗組A、B與對照組C班級學生完成實施課程、教學、評量的檢核表

	實驗組 A	實驗組 B	對照組 C	檢核(完成打 V、部分完成打△、未完成打 X)
課程一	<p>創新設計探究實作課程設計</p> <p>1. 「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2. 「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關</p>	<p>創新設計探究實作課程設計</p> <p>1. 「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2. 「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關</p>	<p>教科書食譜式實驗課程</p> <p>1. 「澱粉與糖分的檢定」</p> <p>2. 「光與光合作用」</p>	<p>實驗組 A： 1. V、2. V</p> <p>實驗組 B： 1. V、2. V</p> <p>對照組 C： 1. V、2. V</p>

	係」	係」		
教學一	<p>創新設計探究實作課程教學(探究社群學習策略、AI工具輔助、四學教學模式)</p> <p>1.「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2.「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>創新設計探究實作課程教學(探究社群學習策略)</p> <p>1.「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2.「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>食譜式實驗教學</p> <p>1.「澱粉與糖分的檢定」</p> <p>2.「光與光合作用」</p>	<p>實驗組 A：1.V、2.△</p> <p>實驗組 B：1.V、2.△</p> <p>對照組 C：1.V、2.V</p>
課程二	<p>精緻化之前原創或創新設計探究實作模組6個課程</p> <p>1.「溫度對唾液酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」</p> <p>3.「認識消化系統」</p> <p>4.「明明白白豬心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神經系統探索之旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌雄有別」</p>	<p>精緻化之前原創或創新設計探究實作模組6個課程</p> <p>1.「溫度對唾液酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」</p> <p>3.「認識消化系統」</p> <p>4.「明明白白豬心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神經系統探索之旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌雄有別」</p>	<p>教科書2個食譜式實驗課程</p> <p>1.「酵素的作 用」</p> <p>2.「植物的物質運輸」</p> <p>註： 「消化系統」、 「循環系統」、 「神經系統」、 「生殖系統」 (教科書缺乏實驗課程)</p>	<p>實驗組 A、B： 1.V、2.V、3.V、 4.V、5.V、6.V</p> <p>對照組 C：1.V、2.V</p>
教學二	<p>精緻化之前原創或創新設計探究實作模組6個課程</p> <p>1.「溫度對唾液</p>	<p>創新設計探究實作課程教學(探究社群學習策略)</p> <p>1.「溫度對唾液</p>	<p>食譜式實驗教學</p> <p>1.「酵素的作</p>	<p>實驗組 A：1.V、2.V、</p>

	<p>酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」</p> <p>3.「認識消化系統」</p> <p>4.「明明白白豬心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神經系統探索之旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌雄有別」</p> <p>※註：6個模組課程可依實際需求選擇實施教學</p>	<p>酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看蒸散—芹菜的水分旅行」</p> <p>3.「認識消化系統」</p> <p>4.「明明白白豬心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神經系統探索之旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌雄有別」</p> <p>※註：6個模組課程可依實際需求選擇實施教學</p>	<p>用」</p> <p>2.「植物的物質運輸」</p> <p>(教科書缺乏實驗課程、課室教學)</p>	<p>3. Δ、4. Δ、5. Δ、6. Δ</p> <p>實驗組 B：1. V、2. V、3. Δ、4. Δ、5. Δ、6. Δ</p> <p>對照組 C：1. V、2. V、3. V、4. V、5. V、6. V</p>
<p>評量甲科學探究</p>	<p>2份原創科學探究評量-檢核表、學習單和評分指引</p> <p>1.「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2.「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>2份原創科學探究評量-檢核表、學習單和評分指引</p> <p>1.「探究食物的秘密：澱粉與糖分的檢測」</p> <p>2.「探究天然綠色工廠：光與植物製造養分的關係」</p>	<p>教科書活動紀錄簿</p> <p>1.「澱粉與糖分的測定」</p> <p>2.「光與光合作用」</p>	<p>實驗組 A：1. V、2. Δ</p> <p>實驗組 B：1. V、2. V</p> <p>對照組 C：1. V、2. V</p>
<p>評量乙科學認知</p>	<p>2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引</p> <p>1.「養分與能量」</p> <p>2.「植物如何製造養分」</p>	<p>2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引</p> <p>1.「養分與能量」</p> <p>2.「植物如何製造養分」</p>	<p>2份原創科學認知標準評量題組試卷和評分指引</p> <p>1.「養分與能量」</p> <p>2.「植物如何製造養分」</p>	<p>實驗組 A：1. V、2. V</p> <p>實驗組 B：1. V、2. V</p> <p>對照組 C：1. V、2. V</p>

<p>評 量 丙 科 學 探 究</p>	<p>6份之前原創科學 探究標準評量與 評分指引</p> <p>1.「溫度對唾液 酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看 蒸散—芹菜的水 分旅行」</p> <p>3.「認識消化系 統」</p> <p>4.「明明白白豬 心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神 經系統探索之 旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌 雄有別」</p> <p>※註：配合6個模 組課程教學需求 選擇實施評量</p>	<p>6份之前原創科學 探究標準評量與 評分指引</p> <p>1.「溫度對唾液 酵素作用」</p> <p>2.「透過色彩看 蒸散—芹菜的水 分旅行」</p> <p>3.「認識消化系 統」</p> <p>4.「明明白白豬 心與我心」</p> <p>5.「豬頭豬腦神 經系統探索之 旅」</p> <p>6.「公豬母豬-雌 雄有別」</p> <p>※註：配合6個模 組課程教學需求 選擇實施評量</p>	<p>教科書活動紀錄 簿</p> <p>1.「酵素的作 用」</p> <p>2.「植物的物質 運輸」</p>	<p>實驗組 A：1. V、2. V、 3. Δ、4. Δ、5. Δ、6. Δ</p> <p>實驗組 B：1. V、2. V、 3. Δ、4. Δ、5. Δ、6. Δ</p> <p>對照組 C：1. V、2. V 3. V、4. V、5. V、6. V</p>
<p>評 量 丁 科 學 認 知</p>	<p>6份之前原創科學 認知標準評量與 評分指引</p> <p>1.「酵素的作 用」</p> <p>2.「植物的物質 運輸」</p> <p>3.「消化系統」</p> <p>4.「循環系統」</p> <p>5.「神經系統」</p> <p>6.「生殖系統」</p>	<p>6份之前原創科學 認知標準評量與 評分指引</p> <p>1.「酵素的作 用」</p> <p>2.「植物的物質 運輸」</p> <p>3.「消化系統」</p> <p>4.「循環系統」</p> <p>5.「神經系統」</p> <p>6.「生殖系統」</p>	<p>6份之前原創科 學認知標準評量 與評分指引</p> <p>1.「酵素的作 用」</p> <p>2.「植物的物質 運輸」</p> <p>3.「消化系統」</p> <p>4.「循環系統」</p> <p>5.「神經系統」</p> <p>6.「生殖系統」</p>	<p>實驗組 A：1. V、2. V 3. V、4. V、5. V、6. V</p> <p>實驗組 B：1. V、2. V 3. V、4. V、5. V、6. V</p> <p>對照組 C：1. V、2. V 3. V、4. V、5. V、6. V</p>

表4：研究進度表

階段	民國114年8月1日~115年4月1日					
	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	 					
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	 					
3. 實施期 教學、評 量、閱卷		 				
4. 詮釋期 資料分析 及統計			 			
5. 成果期 撰寫成果 報告及成 效評估			 			

伍、 預定完成進度

如上所述，見表4。

陸、 討論與建議(含遭遇之困難與解決方法)

1. (1) 遭遇困難：實驗組學生探究學習因為 114 學年度新增 3 個國定假日，教師教學時間、訓練學生時間都受限制與擠壓。實驗組 A、B 班級學生，有些探究實作無法教學或延後教學。

(2)解決方法：課時精簡化或實施「翻轉探究」，將基礎原理製作成3-5分鐘的微課程影片，要求學生課前完成「陳述性知識」的輸入學習。課堂時間進行「動手做」。將原本需要2節課的探究，拆解為「在家看影片+在校動手做+在家寫心得」的混合學習模式。但是大多學生在家看影片和寫心得的意願並不高。或進行快速實驗，讓學生在15分鐘內建立「程序性知識」，實體實驗則改為「關鍵驗證」。

2. (1) 遭遇困難：學生資訊能力、學生學習態度、班級秩序管理以及學校網路或因材網的穩定度與流量問題。實驗組A、B班級學生，有些探究實作無法教學或延後教學。

(2)解決方法：針對網路流量與因材網穩定度的解決方法，避免全班同時連線同一網站。分組連線：將班級學生各分為一半，一半連線線上學習或看影片，另一半進行小組討論或撰寫學習單，每15分鐘輪換，可降低瞬間流量負荷。或預先將因材網影片或線上教材下載至平板/筆電，或存於校內NAS內網，避免網路斷訊導致教學中斷。「學生能力、態度與秩序管理」的解決方法。引入鷹架（Scaffolding）」任務單。策略：針對學習態度較散漫或資訊能力較弱的學生，將探究實作拆解成極小步驟。作法：核檢表（Checklist）：給予清晰的進度表。完成打勾，觀察到打勾。小組長制（Peer Tutoring）：每組選拔一名資訊能力強的學生擔任「助教」，負責排除小組技術困難，降低教師在個別操作上的指導壓力。建立「數位秩序合約」。策略：針對班級管理，實施「平板平放、手離開螢幕」的統一口令。「課時被壓縮」與「網路不穩」雖然是障礙，但若能設計成「必要的難度」（例如：在有限時間內精準完成實驗），也許能提升學生的專注度與長期記憶。彈性調整探究實作與評量：既然無法完成所有探究，將重心轉向「質的內化」而非「量的完成」，符合Oakley (2025) 對於AI時代內化知識的強調。

3. (1) 遭遇困難：實驗組A學生需同時處理：探究課題的知識、AI指令的撰寫、四學模式的流程切換。學生的大腦忙於應付工具與流程，導致「深層編

碼」停止，出現「收藏家謬誤」（以為 AI 生成了答案自己就學會了）。缺乏「神經模板」（Neural Templates）的支撐，如 Oakley 所言，若學生在該學科尚無內化知識，他們無法判斷 AI 給出的內容是正確或錯誤。

(2)解決方法：AI 的引入不應是「全有或全無」，而應遵循「鷹架式介入」（Scaffolding Intervention）。知識準備度（Cognitive Readiness）充足，在實施四學（自學、組學、共學、導學）前，必須先確保學生已透過傳統學習建立基礎的「神經模板」。探究的前面階段應嚴禁使用 AI，要求學生親手繪製心智圖或寫下筆記，確保知識「內化」。指令素養（Prompt Literacy）與批判力。AI 不是搜尋引擎，而是思考夥伴。學生必須具備重新表述的能力。若學生無法用自己的話解釋 AI 的輸出，則為無效學習。教師與學生必須做好的準備。教師端：從知識給予者轉向認知教練，設計「必要難度」，老師不讓學生直接問 AI 答案，而設計「蘇格拉底式指令」。監控「認知負荷」：隨時觀察學生是否進入盲目複製 AI 模式。若發現學生說不出原理，以「手寫筆記」模式進行。學生端：建立「寫作即思考」的意識。克服「收藏家謬誤」：讓學生理解，AI 生成的摘要不等於他的筆記。練習「具身認知」：即使使用數位工具，仍鼓勵在關鍵思考點使用手寫平板或紙筆，利用物理性的動作強化記憶痕跡。第一階段：固基。傳統閱讀＋手寫筆記。禁止使用 AI，建立內化知識與神經模板。第二階段：增強。四學模式＋探究社群。AI 作為「批判者」或「資料整理員」。學生利用內化知識去質疑 AI，產生創新。

柒、 參考資料

芭芭拉·歐克莉、泰倫斯·索諾斯基（2019）。學習如何學習：給青少年的學習指南（林慈敏譯）。木馬文化。（原著出版於 2018 年）

Ahrens, S. (2022). *How to take smart notes: One simple technique to boost writing, learning and thinking* (2nd ed.).

Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). *Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning*. In M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough, &

J. R. Pomerantz (Eds.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (pp. 56–64). Worth Publishers.

Oakley, B., & Sejnowski, T. J. (2018). *Learning how to learn: How to succeed in school without spending all your time studying*. Penguin.

Oakley, B., Johnston, M., Chen, K.-Z., Jung, E., & Sejnowski, T. J. (2025). *The memory paradox: Why our brains need knowledge in an age of AI* (v2). Springer Nature.

OECD (2023). *OECD digital education outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c74f0348-en>

Schleicher, A. (2018). *World class: How to build a 21st-century school system*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264300002-en>

Schleicher, A. (2024). *Education in the age of AI*. OECD Education And Skills Today. Retrieved April 1, 2026, from <https://oecdeditoday.com/education-in-the-age-of-ai/>