

素養導向課程設計與實踐 ——以酵素科學探究與實作課程為例

張珮珊 博士候選人

李昇翰 博士

溫嫻純* 副教授

國立彰化師範大學科學教育研究所

國立臺灣大學公共衛生學院環境衛生研究所

國立彰化師範大學科學教育研究所

壹、前言

十二年國教以「核心素養」做為課程發展主軸，素養導向的課程即是將知識、能力和態度整合運用於情境化的學習歷程，重視真實情境中的實作表現，是以素養導向之課程設計與實施應需掌握：一、整合知識、能力與態度；二、重視情境與脈絡的學習；三、關注學習的歷程、方法及策略；四、強調實踐力行的表現等四大原則（洪詠善，2018）。自然領綱（草案）呼應總綱而強調科學學習方法應貫徹科學探究與實作而增列「自然科學探究與實作」之必修課程，學習重點包括發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等探究內容，及相應之實作活動（國家教育研究院，2016）。然而課程中如何兼顧各種實作活動？各種實作比重為何？國際評量結果分析或許能作為課程規劃的參考。

我國學生於 PISA 2015 的表現亮眼，「科學素養」平均高居第四名，然學生的「評量及設計科學探究」表現則相對較弱，分析學生問卷後發現，有五成以上的中學生表示從來沒有或幾乎不曾進行「實驗設計」與「對實驗進行辯論」（佘曉清、林煥祥，2017），

*本篇通訊作者：溫嫻純，通訊方式：mlwen@cc.ncue.edu.tw。

顯示培養學生設計實驗，並在探究歷程中整合論證思考活動，應為「自然科學探究與實作」課程設計所需納入的實作向度。

筆者於之前的課程研究（張珮珊、賴吉永、溫燉純，2017）即嘗試讓學生練習形成科學問題、設計實驗，然基於學生探究實驗經驗不足及時間限制，部分難度較高的實驗，授課教授會提供材料比例做為設計參考，加上缺乏實驗設計的分享與討論，部分學生會直接接受參考比例；啟發式科學論證寫作的研究結果亦發現，學生的論證表現有顯著的個別差異，推測可能是討論階段採自願發表而造成對話不等量所致。有鑑於此，筆者於新年度試行階段，藉由強化表達與分享之探究向度，提供學生評量及設計科學探究之機會，並規劃學生科學寫作成果發表以整合口頭與寫作論證，因有別於筆者先前研究（張珮珊、賴吉永、溫燉純，2017）之課程規劃，此新年度試行之課程是為「酵素科學探究與實作」課程設計 2.0。

貳、「酵素科學探究與實作」課程設計2.0

新年度試行課程以科學探究社團之方式於 106 學年度上、下學期（共計 72 小時）實施。「酵素科學探究與實作」課程包含前導單元、兩大酵素探究單元及三場科學講座。前導單元「愛玉凍裡乾坤」從學生生活經驗出發，藉手作愛玉凍引導學生主動探索影響愛玉凝膠之因素及科學原理。酵素探究單元含單元一「漆氧化酶催化的最佳條件」及單元二「漆氧化酶催化反應曲線」，詳見張珮珊、賴吉永與溫燉純（2017）之研究，不過新年度試行課程略有調整，筆者將兩大探究單元劃分為數個實驗活動，讓同學逐一針對各操縱變因進行實驗設計，於實驗前安排實驗設計分享，寫作後舉辦科學寫作成果發表會，讓學生能藉由「說科學」培養批判思辨的能力。科學講座則邀請專家分享科學探究歷程與成果，詳細課程規劃如表 1。

表1 「酵素科學探究與實作」課程規劃（以上學期為例）

課程	學習內容	說明	時數
	相見歡	● 社團幹部遴選與分組 ● 探究單元與實驗任務預告	2
前導單元	實驗活動 愛玉製作	● 引導學生進行影響愛玉凝膠之因素的討論 ● 各組自討論的因素中挑選一個實驗變因（操縱變因）進行實驗設計 ● 詳細規劃實驗設計步驟（包含實驗組對照組差異） ● 手作愛玉並記錄愛玉凝膠結果	2

表1 「酵素科學探究與實作」課程規劃（以上學期為例）（續1）

課程	學習內容	說明	時數
前導單元	● 科學文獻閱讀與賞析 ● 愛玉結果分享與原理介紹	● 閱讀愛玉科學探究文章（全國科展作品），並提供「論證架構評析」學習單，讓學生解析科學文獻，以了解論證寫作要點 ● 小組討論文章提及之愛玉凝膠原理，上台分享其理解之原理（關鍵酵素及相關化學步驟），教師再補充說明	2
愛玉凍裡乾坤	● 愛玉實驗討論與口頭論證	● 比較各組愛玉實驗結果（呈現全班結果表格） ● 請同學嘗試以科學原理來分組說明實驗結果之合理性（二組為一大組，交互為發表者與評審）	2
	● 愛玉實驗討論與口頭論證	● 比較各組愛玉實驗結果（呈現全班結果表格） ● 請同學嘗試以科學原理來分組說明實驗結果之合理性（二組為一大組，交互為發表者與評審）	
探究單元一 漆氧化酶催化的最佳條件	● 實驗相關背景介紹 ● 實驗活動一 ● pH 值對酵素催化影響之實驗設計 ● 實驗設計分享會 ● pH 值實驗	● 學生嘗試上臺說明影響酵素催化活性之因子及漆氧化酶催化原理 ● 引導學生進行影響酵素催化因素的討論 ● 學生聚焦單一因素：pH 值，思考研究假設，並釐清各實驗變因（操縱、控制、應變變因）以利進行實驗設計 ● 小組各自進行實驗設計，於執行前進行實驗設計演示與同儕評量演練（二組為一大組，交互為發表者與評審） ● 小組微調實驗設計後，進行 pH 值對酵素催化影響試驗	3
	● pH 值實驗結果分析 ● 實驗問題定義與分析 ● 實驗活動二 ● 溫度對酵素催化影響之實驗設計 ● 實驗設計分享會	● 小組內討論、判讀實驗結果，思考如何記錄實驗結果、分析結果以撰寫小結論 ● 提供「實驗大小事」之問題反思學習單，協助小組討論、定義科學探究歷程中遇到的問題（如實驗設計、結果判讀等） ● 學生聚焦溫度因素，思考研究假設，釐清各實驗變因以進行設計 ● 小組於實驗前進行實驗設計演示	2
	● 溫度實驗 ● 溫度實驗結果紀錄 ● 實驗問題定義與分析 ● pH 值、溫度因素之實驗討論與綜合討論	● 小組微調實驗設計後進行試驗 ● 討論、判讀實驗結果，記錄分析並撰寫小結論 ● 以「實驗大小事」學習單定義相關問題 ● 呈現全班結果表格、回應「實驗討論」問題，「綜合比較」實驗結果異同之因	3

表1 「酵素科學探究與實作」課程規劃（以上學期為例）（續2）

課程	學習內容	說明	時數
	儀器操作 微量滴管操作與序列稀釋演練 ● 實驗相關背景介紹	- 教師說明微量滴管之設計原理與操作守則 - 微量滴管操作與序列稀釋演練 - 學生說明酵素、受質濃度如何影響酵素催化反應	2
	實驗活動三 酵素、受質濃度對酵素催化影響之實驗設計 ● 實驗設計分享會	- 聚焦酵素與受質濃度因素，思考研究假設，釐清各實驗變因以設計實驗 - 小組於實驗前進行實驗設計演示 - 教師再強化酵素、受質最終濃度之計算	2
	● 酵素、受質濃度實驗 ● 酵素、受質濃度實驗結果記錄 ● 實驗問題定義與分析	- 小組微調實驗設計後進行試驗 - 討論、判讀實驗結果，記錄分析並撰寫小結論 - 以「實驗大小事」學習單定義相關問題	2
	● 酵素、受質濃度實驗之實驗討論與綜合討論	呈現全班結果表格、回應「實驗討論」問題，「綜合比較」實驗結果異同之因	2
	● 科學小論文	教師說明如何撰寫「啟發式科學寫作」，請同學嘗試將三個探究實驗活動加以整合以撰寫一篇科學論證寫作	
	● 科學寫作成果發表會	- 學生以組為單位進行其科學探究與寫作之發表（發表會前將學生啟發式科學寫作之作品掃描以利投影），邀請三位評審予以專業回饋 - 學生整合評審及同學建議再編修其論證寫作	6
科學講座 探究新視界		學者分享學習生涯與海外研究工作經驗	2
探究單元二	儀器操作 LabQuest 2 比色計、溶氧度計	專業講師指導學生操作微型電腦 LabQuest 2、比色計、溶氧度計以利探究單元二之進行	2

參、參與人員

一、教師

教師專業社群是推動課程改革的關鍵，筆者於學校組織「探究與實作」課程發展社群，成員包含國、高中自然領域教師共八人、國文教師一人，平均教學年資八年以上，此外，邀請一位專職科學實驗之校外教師參與本課程。筆者與社群教師協同教學，於課前討論課程內容與引導方式，課程中引導探究實作、討論並給予回饋，於課程後討論及評量學生學習表現。

二、學生

筆者邀請對科學探究有興趣之高一學生 17 人共同組成科學研究社。學生年齡約 15 歲，2~3 人一組進行探究與實作活動。學生在教師引導下，進行閱讀、設計與執行探究實驗、實驗討論、科學寫作、口頭論證等科學實作。

肆、課程工具、資料收集與分析

一、課程教材

本課程學習教材為「酵素概念暨科學論證寫作簿」及科學講座學習單，「酵素概念暨科學論證寫作簿」包含「探究活動單」與「啟發式科學寫作元件」(張珮珊、賴吉永、溫嫩純，2017)，於上學期課程結束後，回收學生的科學講座學習單及「酵素概念暨科學論證寫作簿」共 17 份，以了解學生的學習表現。

二、課程回饋單

本課程為了解學生對於課程設計的感受，以李克特氏四點量表設計包含「探究實驗教材(講義)」、「課程設計」、「探究實驗活動」、「探究實驗學習成果」、「啟發式科學寫作」及「口頭論證發表」等六大向度的課程回饋單，選項為非常同意(4分)、同意(3分)、不同意(2分)與非常不同意(1分)。課程結束後以此回饋單收集學生意見，藉單一樣本 t 檢定分析學生持正向回饋之顯著性(檢定值 2.5)。

伍、教學實踐與成果

一、前導單元：愛玉凍裡乾坤

(一) 教學實施現況

實驗活動 愛玉製作

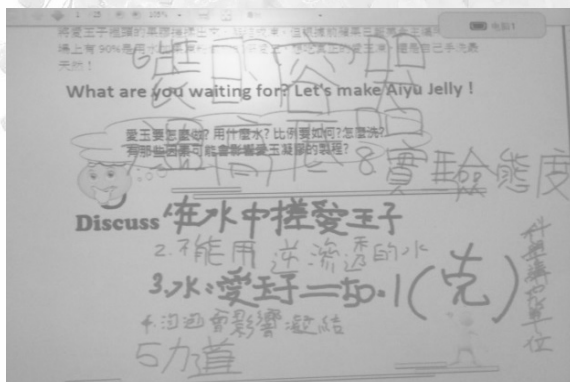


圖 1-1 實驗前凝膠變因的討論



圖 1-2 手搓愛玉

●科學文獻閱讀與賞析



圖 1-3 學生閱讀、解析科學文獻

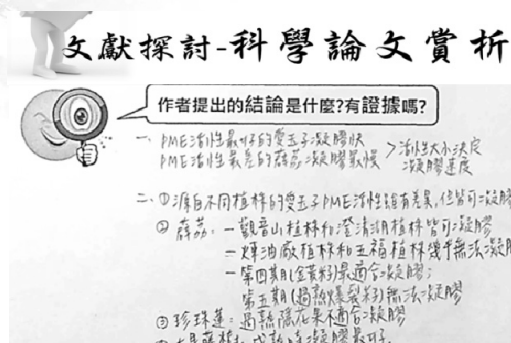


圖 1-4 「論證架構評析」學習單

●愛玉結果分享、原理介紹、實驗討論與口頭論證



圖 1-5 學生嘗試說明愛玉凝膠原理



圖 1-6 學生討論實驗結果之合理性

(二) 學生成果

學生親自手搓之愛玉為主要成果，學生搭配百香果、檸檬等在課程中享用，並於探究活動單元講義中記錄相關結果，是為另一學習成果（如圖 1-7）。

(A) 探究活動 手作天然愛玉凍

根據上述討論，許多因素可能都會影響愛玉凍製程與凝膠品質，請選擇「一項」變因，搜尋相關資料、考量變因，與你的夥伴討論如何設計愛玉凍手搓步驟！

我們想要探討 水是否過濃 對愛玉凍製成的影響。

操縱變因

我的研究設計與愛玉手洗密技(包含材料與相關工具):

1. 將等量愛玉子分別放入2個袋子中。
2. 取等量但不同成分的水。學校(過濃)放入一個不同容器中。家裡(未過濃)放入一個不同容器中。
3. 將袋子(若有愛玉子)放入水中靜置3分。
4. 在水中開始搓。
5. 靜置完成。

冰室水15分⇒完全凝固(失水20%)

(B) 探究活動 手作天然愛玉凍與相關影響因素之探討

Think

本實驗的「操縱變因」為 水(是否過濃)。
 本實驗的「控制變因」可能有 水量、愛玉子用量、時間、用心程度。
 若愛玉凝膠反應有受(水)因子的影響，則可能的結果「應變變因」為 出水程度。

	過濃水(學校)	未過濃水(家裡)
凝膠時間	約15分	約15分
出水程度	較多	較少
凝膠品質	感覺凝固比較硬	感覺凝固比較軟
口感	較軟	較硬

◎請詳細記錄二組愛玉凍製程的差異(開始或完全凝膠時間、凝膠品質如強度或無出水等)

關於本活動，我覺得....(可根據佳句疑問、分享任何收穫與心得)

我體驗到了手搓在愛玉凍得到的那種快感，更吃到了自己親手做出的愛玉，非常開心！

透過這次自己設計一個小實驗並實做，我更深層次的運用和體驗愛玉，也了解到需要注意許多細節，使我

我覺得一開始可以盡量將做多一些實驗技術或注意事項，或許可以多一些成功率，但一開始已經講太多！

畢竟思考也是重要的！

圖 1-7 學生撰寫「酵素概念暨科學論證寫作簿」之探究活動單
(A) 實驗設計、(B) 實驗結果記錄與描繪體驗感受

(三) 課室觀察

以生活化題材作為前導單元是不錯的起始點，學生對愛玉凝膠變因的討論踴躍，但由於學生是第一次自己選擇變因來試驗，多數組別對實驗變因的概念不甚清楚，準備材料與設計時，尚有許多因素待考量，故學生於實驗設計階段花費較多時間，而實驗結果紀錄則多以直觀方式（口感）描述；學生閱讀文章速度稍慢，論證解析學習單主要於課餘時間完成，學生先備知識有限（如酯化反應），故果膠酯酶、愛玉凝膠原理於閱讀完仍需要較長時間討論；分組發表階段，學生多能自主討論後嘗試以科學原理來解釋其研究結果的合理性，口頭論證歷程熱絡；在比較、討論全班結果後，學生發現許多問題尚無定論而理解愛玉實驗（非純酵素、受質）於結果解讀之限制。

二、探究單元一：漆氧化酶催化的最佳條件

(一) 教學實施現況

實驗活動一、二 實驗背景介紹與實驗設計



圖 2-1 學生說明漆氧化酶催化原理



圖 2-2 學生研究器材、進行實驗設計

●實驗設計分享會與 pH 值實驗



圖 2-3 學生進行實驗設計演示

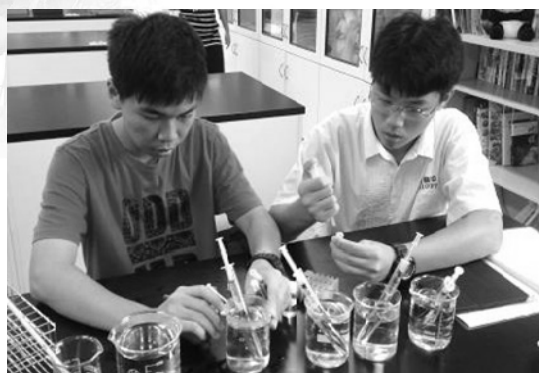


圖 2-4 學生進行溫度影響試驗

●實驗結果分析、實驗問題定義與分析



圖 2-5 學生進行實驗結果記錄與分析

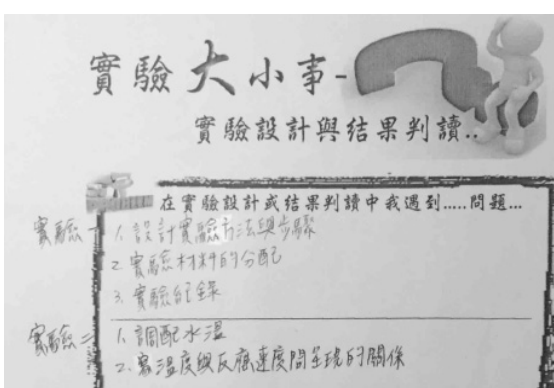


圖 2-6 學生以回饋單定義實驗遭遇問題

●pH 值、溫度實驗之實驗討論與綜合討論



圖2-7 學生嘗試提出模型來回應問題

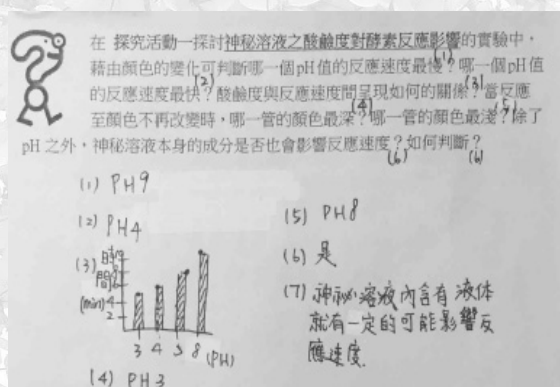


圖2-8 學生撰寫探究單之實驗討論

儀器操作 微量滴管操作與序列稀釋



圖2-9 學生練習微量滴管操作



圖2-10 教師引導學生濃度計算

實驗活動三 實驗背景介紹與實驗設計



圖2-11 學生說明濃度對酵素反應影響

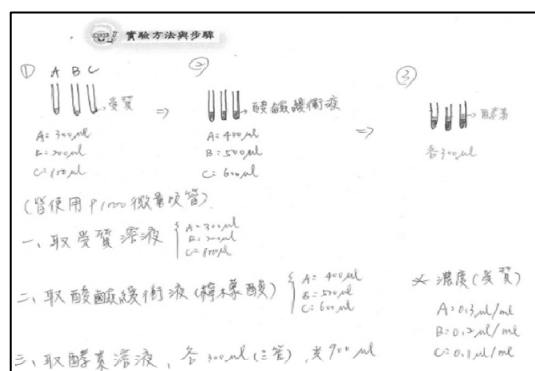


圖2-12 學生進行實驗設計



圖2-13 學生進行實驗設計演示



圖2-14 學生進行濃度影響試驗

●實驗結果分析、記錄、實驗問題定義、實驗討論與綜合討論



圖2-15 教師引導實驗結果判讀與分析

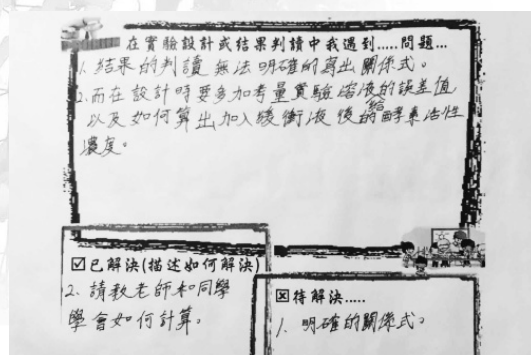


圖2-16 學生以回饋單定義遭遇問題

實驗結果
探究活動四 受質濃度對酵素催化反應的影響

Think
本實驗的「操縱變因」為 受質濃度
本實驗的「控制變因」可能有 酵素濃度、溫度、pH
若酵素催化反應有受(控制)變因的影響
則可能的結果「應變變因」為 顏色變化時間

實驗設計與紀錄	A	B	C
受質 (mL)	300 mL	200 mL	100 mL
濃度 (M/mL)	30 M	20 M	10 M
酸鹼緩衝液 (mL)	400 mL	500 mL	600 mL
酵素 (mL)	300 mL	300 mL	300 mL
顏色變化	5 sec	8 sec	12 sec
初顯變化	20 sec	30 sec	45 sec
最終變化	min 25 sec	min 30 sec	3 min
變化程度	最深	次之	最淺

實驗結果照片

實驗討論-最佳受質濃度
因為試管A的顏色變化時間最短

結論:
試管A (0.3 M/mL)

圖2-17 學生分析、撰寫實驗結果

綜合討論

酵素量與受質量都會影響澱粉酶的催化活性嗎?
根據各組的實驗結果,反應最快的酵素與受質濃度都相同嗎?
若有差異你覺得可能原因為何?

Discuss ○全班結果:

組名	實驗一(受質濃度)	實驗二(受質濃度)
四智	0.1-0.4	0.1 U/mL
楓雅	0.15-0.3	0.3 U/mL
瑞智	0.1-0.4	0.4 U/mL
聯珠	100-400	800 U/mL
瑞智	0.1-0.3	0.3 U/mL
瑞智	100-700	700 U/mL
瑞智	0.15-0.45	0.45 U/mL
聯珠	0.1-0.4	0.4 U/mL

○我的想法:

實驗一: 因為我們沒有做很多次,所以得出的數據也不多,故無法確定最佳受質,但我覺得應該是濃度越高越好。

實驗二: 我認為,做出來的數據應該每一樣,但因為操作過程的不同,所以會有誤差。

圖2-18 結果討論後比較、撰寫自身想法

●科學寫作成果發表會



圖2-19 學生科學探究與寫作之發表



圖2-20 教師針對發表內容提出問題

(二) 學生成果

探究單元一之成果為學生於「酵素概念暨科學論證寫作簿」之探究活動單的相關紀錄（圖2-6、2-8、2-12、2-16、2-17、2-18等），而科學寫作成果發表會表現及啟發式科學論證寫作也是主要學習成果（如圖2-21）。

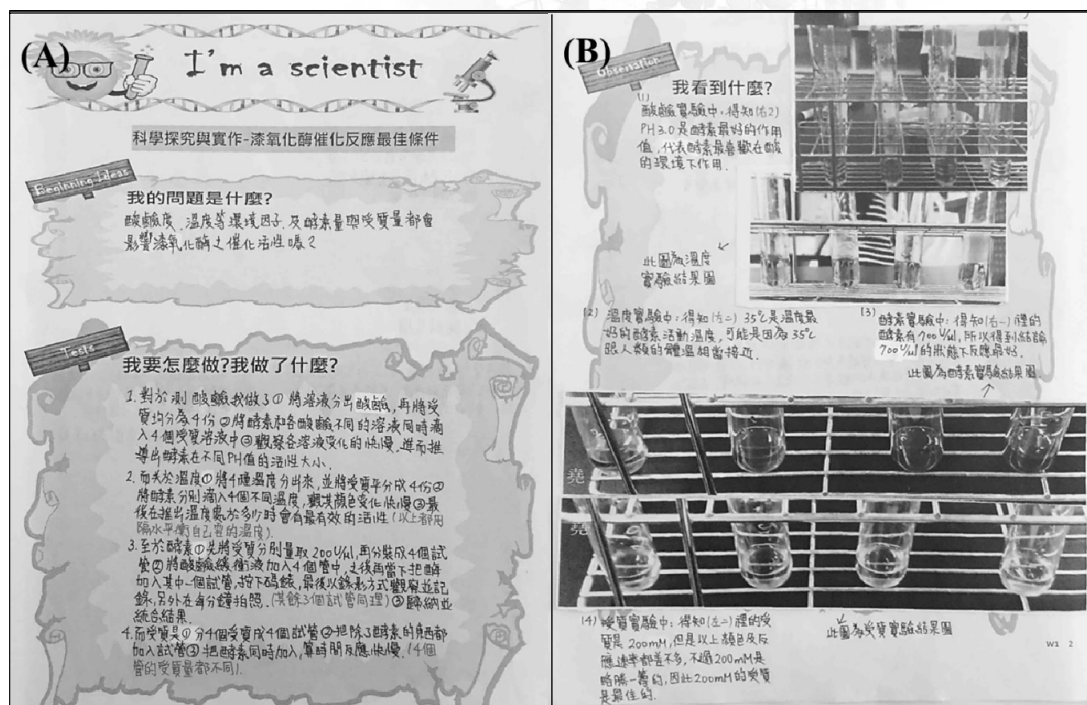


圖2-21 學生撰寫的啟發式科學寫作(1)
(A) 問題與實驗設計、(B) 實驗結果與紀錄

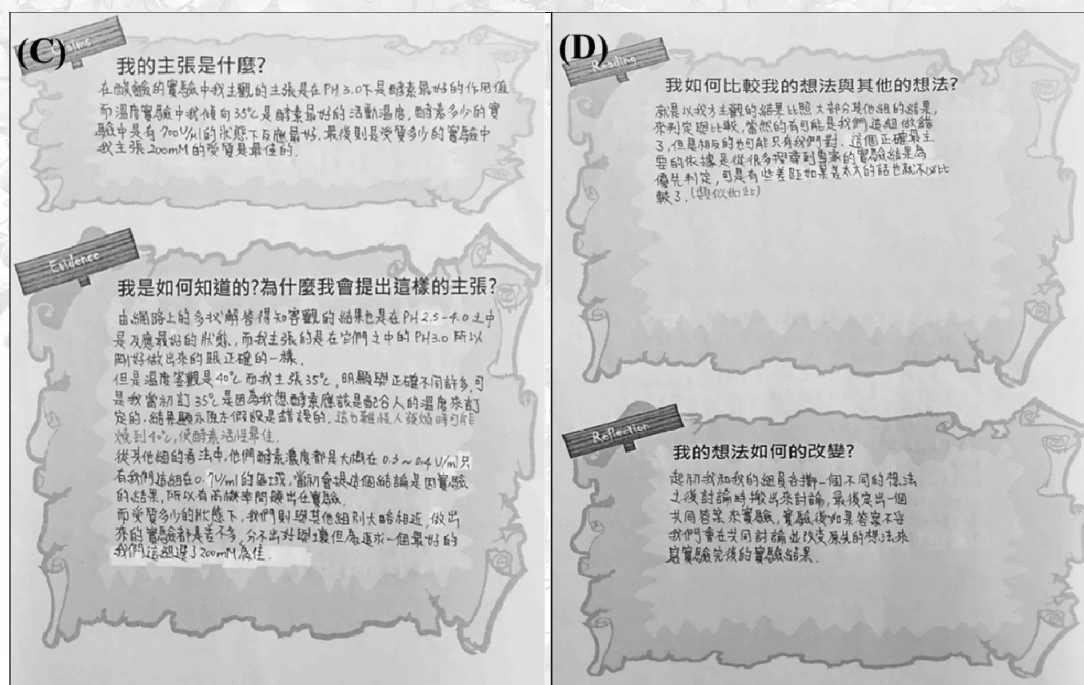


圖2-21 學生撰寫的啟發式科學寫作(2)

(C) 主張與證據、(D) 比較與反思

(三) 課室觀察

本課程嘗試讓學生介紹實驗科學原理,然因涉及化合物結構,因此多數學生對同學的介紹感到困惑。酸鹼值的實驗設計階段,部分組別對實驗變因仍有疑惑;分享實驗設計時,學生第一次進行此活動,報告者無法掌握設計重點來說明,同儕亦為實驗新手,能給予的建議不多,然經數次演練後,上述情況有顯著改善,針對討論的歧異點,學生會主動探詢他人設計理由來調整己身的實驗;實驗執行階段,學生初始有較多操作問題(滴管倒置、針筒刻度誤判等),在溫度實驗亦有改善,當然每個新試驗都有新挑戰,例如濃度計算,即使教師已安排試算演練,多數學生仍無法真正理解。實驗記錄部分最大問題是結果的判讀,教師需引導學生檢視結果照片、錄影紀錄,來思考結果判讀與觀察記錄之重點。科學寫作也是一大挑戰,由於課程延宕,因此鼓勵學生運用假日時間嘗試撰寫第一份科學論文;寫作發表時,學生面對評審與同學的提問雖會緊張,但仍嘗試回應問題;而部分同學於論證歷程有情緒反應,教師介入並指出高品質之科學論證尚蘊含傾聽與理解之特色說明,並肯定發言者對己身想法的表達後,同學較能平和的聚焦於議題。

三、科學講座：探究新視界



圖3-1 學者介紹其研究



圖3-2 學生與科學家的對話

◎聽完了講師分享,我對於科學研究.....

在這方面自己也會感到有興趣,
可是我覺得在探究實驗的過程時,不論是設計實驗、
做實驗、討論.....那個感覺是蠻喜歡的,
就算它如此的燒腦,但會帶給我不一樣的東西。



圖3-3 科學講座之課程反思 (1)

◎關於今天的講師及其分享的內容,我覺得...(收穫,感想,建議)

收穫非常的多,因為她讓我了解到科研
的樂趣,也讓我對這快一個學期的科
研,有著許多感想。像是期待每次的實驗
設計和研究實驗後的許多討論。



圖3-3 科學講座之課程反思 (2)

四、探究單元二：漆氧化酶催化反應曲線

儀器操作 LabQuest 2、比色計、溶氧度計



圖4-1 講師說明溶氧度計之操作與校正



圖4-2 學生進行儀器操作演練

五、學生對「酵素科學探究與實作」課程的感受

將 17 位學生的回饋單進行單一樣本 t 檢定分析，結果如表 2，以「探究實驗學習成果」向度平均分數最高，「啟發式科學寫作」、「口頭論證發表」平均分數略低一些，不過學生對課程各向度所持有之正向回饋均達一定顯著性。

表2 「自然科學探究與實作」課程回饋分析

	單一樣本 t 檢定		
	$M(SD)$	t	p
課程設計向度			
探究實驗教材	3.41(0.31)	12.005	<.001
課程設計	3.49(0.35)	11.495	<.001
探究實驗活動	3.49(0.40)	10.258	<.001
探究實驗學習成果	3.60(0.40)	11.393	<.001
啟發式科學寫作	3.27(0.58)	5.443	<.001
口頭論證發表	3.30(0.56)	5.858	<.001

陸、教學反思與教學建議

協助學生自科學探究與實作中培養科學素養是重要教育目標（教育部，2016），然而對學生而言，藉各種實作來學習科學並不是慣用的方式，教師放慢上課節奏、提供適當學習鷹架是實施此類課程的必要條件。

在每次課程中，學生總需要一定時間來處理新問題，筆者與協同教師除臨場予以引導外，於課後都要反思課程中所觀察的現象以調整課程，例如在前導課程中，學生對實驗變因理解含糊，探究單元一則以三次實驗活動逐一探討影響因素以協助學生釐清變

因；為強化操作儀器的準確性，則規劃儀器操作演練課程，讓學生聚焦於探究歷程，亦避免學生將不如預期之結果僅歸因於操作不當，而忽略探究結果所呈現的真實意涵。

對話與協商是科學探究的另一大特色，為讓多數學生都有「說科學」的機會，本課程多以兩小組為一大組進行相互發表與批判，起始階段建議教師能請發表、討論完整的組別做示範，或引導如何探詢問題來協助同學澄清實驗設計的目的；多次發表中，教師可視需求重編大組，讓學生均有機會面對不同組同學以增加對話的多元性。科學寫作需要投入相當心力，學生負荷較大，筆者為鼓勵學生嘗試創作論文，以「科學寫作成果發表會」作為驅使學生進行科學寫作的誘因，於學生編修後予以回饋，或以論證評分表評量（張珮珊、賴吉永、溫嫻純，2017），並將作品發表於「科學實作專欄」，以激勵更多學生投入科學寫作，進而理解寫作在知識轉化與科學社群溝通的重要性。

柒、結論

「自然科學探究與實作」課程是新課綱自然科學領域的最大變革，本課程以生活化的題材作為起點，強調透過情境化之酵素主題探索，結合科學講座、文獻賞析、實驗、討論、論證與寫作等實作活動，引導以學生為主體的科學實踐歷程，提供學生強化其科學知識、技能與態度之整合的機會，並藉由反覆表達與分享之學習策略以循序建構學生批判思維與團隊協商的能力，符應素養導向課程設計與實施之四大原則。素養導向課程設計與實踐確實需要投入相當大的心力，不過學生對本課程的回饋正向，學生各實作向度的學習表現也進步顯著。在未來的科學課室中，期望藉由素養導向課程的落實，讓學生找到學習科學的熱忱，進而涵養科學素養以迎接未來真實世界的各種挑戰。

參考文獻

- 余曉清、林煥祥編（2017）。**PISA 2015 臺灣學生的表現**。臺北：心理。
- 洪詠善（2018）。素養導向教學的界定、轉化與實踐。收錄於蔡清華（主編），**課程協作與實踐第二輯**，58-74。臺北：教育部中小學師資課程教學與評量協作中心。
- 張珮珊、賴吉永、溫嫻純（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。
- 國家教育研究院（2016）。十二年國民基本教育課程綱要：自然科學領域（草案）。臺北：作者。