

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

張珮珊¹ 賴吉永² 溫嫻純^{1,*}

¹國立彰化師範大學 科學教育研究所

²國立彰化師範大學 生物學系

摘要

本研究目的為發展一符應核心素養之科學探究與實作課程，並探討學生科學論證與科學概念的學習成效。本課程以酵素為主題，參照十二年國教自然領綱(草案)的學習內容，藉逆向課程設計含實驗任務的四大探究單元，期望學生透過探究實作來探索知識的建構、理解寫作在知識轉化與科學社群溝通的重要性，故以啟發式科學寫作(Science Writing Heuristics, SWH)協助學生運用「酵素概念暨科學論證寫作簿」發展基於證據的科學論證。本研究採單組前、後測(成就測驗)設計，藉「酵素概念成就測驗」瞭解學生科學概念理解情形，並以「勾選式論證寫作評分表」評量其論證表現，再藉逐步迴歸分析來預測論證寫作品質的最佳指標，以期提升論證教學與評量之效益。研究發現，18位高中生的酵素概念學習顯著進步($p < .001$)，且四次科學論證寫作表現良好，皆達優良論證寫作標準。然而，學生論證表現存在顯著的個別差異。低論證表現組學生的各論證向度表現受探究任務影響大，但整體而言，在「問題」、「主張」向度均有進步，且概念理解表現與高論證表現組學生相當。此外，預測各次論證寫作品質的最佳指標有「主張—證據關係」、「主張」與「證據」，然整體寫作品質的最佳預測指標仍為「證據」。最後根據研究發現，提出教學與研究建議。

關鍵詞：科學探究與實作課程、科學寫作、科學論證

壹、前言

2015年「學生能力國際評量計劃」(Programme for International Student Assessment, PISA)成績於2016年12月6日發表，臺灣學生科學表現亮眼，「科學素養」高居第四名，

但「評量及設計科學探究」表現相對較弱，僅排名第七。PISA執行研究團隊發表施測成績同時也呼籲我國科學教育應重視實驗操作與思考，建議未來於中學階段應強化科學探究設計與實驗課程，透過科學實作誘發孩子

*通訊作者：溫嫻純，mlwen@cc.ncue.edu.tw

(投稿日期：民國106年6月26日，修訂日期：民國106年12月8日，接受日期：民國106年12月8日)

學習科學的動機，進而自實務中獲得科學知識與技能(林煥祥等，2016)。

科學實作(science practice)包括實驗室工作(laboratory work)、論證(argumentation)與寫作(writing)等等(Next Generation Science Standards Lead States [NGSS Lead States], 2013)，科學家在實驗室的科學探究中，藉科學論證與寫作歷程，發展對自然觀察的詮釋，以建構科學知識。科學概念的深度理解如科學發展歷程，故學校科學課室中，學生需將實驗工作與科學知識連結，並藉由形成論證與撰寫論證文本的歷程來擴展其概念結構。可惜的是，實驗課程在中學落實的比例不高(余曉清、林煥祥，2017)，且多以食譜式實驗方式進行(顧炳宏、陳瓊森、溫燦純，2011；H.-S. Lin, Hong, Chen, & Chou, 2011; McComas, 2005)，科學探究、論證及寫作等亦缺乏整合，以致於資料蒐集成為最普遍的實驗工作，學生在討論與思考方向受限而影響實驗課程的學習效益(Hofstein & Lunetta, 2004)。

由好奇心驅使的主動探索是人類認識自然世界的方式，也是科學發展的動力。探究與實作應是科學課程的起點與核心，科學學習需藉由探究與實作的落實，來強化學生知能整合與生活應用能力，故十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域草案(簡稱十二年國教自然領綱草案)於高級中學階段增列「自然科學探究與實作」之四學分必修課程，期望透過議題探討和實作活動，引導學生主動探索、體驗科學實作，以循序發展學生高層次思考、團隊合作能力，最終成為具有思辨、解決問題能力的未來公民(教育部，2016)。「自然科學探究與實作」課程雖是新課綱自然領域的最大特色，卻也讓教師倍感困惑與壓力，如何開發合適的課程？如何於

教學現場落實？如何評量課程的學習效益？都是當前必需關注的重要課題。

本研究目的之一即是發展一科學探究與實作課程，並探討學生的科學學習表現。然而，「科學探究與實作」的課程發展應本於十二年國民基本教育課程綱要總綱(簡稱十二年國教總綱)之「自發」、「互動」及「共好」的理念，以「核心素養」做為課程發展之主軸(教育部，2014)。是以課程內容的選擇應符合當代科學知識發展，課程設計與實施要貫徹探究與實作精神，並藉實作評量評估學習表現。其中實作內涵應涉及實驗數據之有意義的推論，即藉由論證及寫作歷程將其探究經驗轉化為抽象符號，強化科學內容與探究經驗的連結(Lemke, 1990; Wellington & Osborne, 2001)，以擴展既有之概念結構，促進科學知識的建構與發展(Osborne, 2010)。因此，整合探究實驗、論證與寫作的科學探究與實作課程，將有助於學生同時發展科學探究能力、科學概念等核心素養。

有鑒於此，本研究欲發展之課程擬以「酵素」為主題，自十二年國教自然領綱(草案)中的課程目標與學習內容來選擇科學核心概念，發展相應之實驗任務，期望學生能在本課程中，藉由實作經驗來探索科學知識的發展，並根據探究結果來建構基於證據的科學論證。因此，本課程以評量觀點出發的逆向課程設計原則來組織探究單元，以基於論證之探究教學法——啟發式科學寫作(Science Writing Heuristics, SWH)於課程實施階段協助科學探究、論證及寫作等實務的整合，讓學生在實驗室的科學探究中發展科學論證並促進科學概念的深度理解。本研究亦編修前人發展之論證評分表，直接評量學生的論證寫作表現，用以評估學生於本科學探究與實作課程中的學習成效，以提供更便捷的評量策

略作為教師設計「自然科學探究與實作」課程之評量的參考。

本研究待答問題如下：

一、經由本科科學探究與實作課程後，學生學習成效如何？

(一)學生的論證寫作表現如何？

(二)學生酵素概念理解改變情形如何？

二、經由本科科學探究與實作課程後，不同論證表現學生的學習成效如何？

(一)學生們的論證寫作表現有何差異？

(二)學生們的酵素概念理解有何差異？

三、在本科科學探究與實作課程中，預測學生論證寫作表現的最佳指標為何？

貳、文獻探討

科學探究奠基於建構主義(Driver, Asoko, Leach, Mortimer, & Scott, 1994)。為此，科學課程應結合生活中的問題，藉適當的課程設計引導學生進行探究，提供學生與他人對話的機會(Jiménez-Aleixandre, 2008)。實驗室工作中，學生透過資料蒐集、分析、評價數據、論證和寫作等實作歷程，來瞭解科學知識的建構與發展。然而，探究成果的評量策略是探究與實作課程是否能發揮效益的關鍵。故以下針對實驗室工作與科學探究、科學論證、啟發式科學寫作與評量、影響科學論證寫作之因素、逆向的課程設計等文獻逐一探討。

一、實驗室工作與科學探究

科學的目標是理解自然世界(Osborne, 2010; Russ, 2014)，科學家的工作是透過各種實驗，理解自然如何運作(Russ, Coffey, Hammer, & Hutchison, 2009)。科學課室中，

學生不必囊括科學家所有工作，但建構對自然世界的理解是必要的歷程(russ)。然教師教學主要為科學內容(science content)的呈現，很少提供學生從事科學實作(science practice)的機會(Roth & Garnier, 2006)。

下一世代科學教育標準(Next Generation Science Standards, NGSS)強調科學實作(science practice)的重要性，學生於實驗室中針對觀察提出問題、規劃與進行實驗、分析數據、獲得結論等工作即是科學實作的一種體現(NGSS Lead States, 2013)。然而，PISA 2015的學生問卷的分析發現，國內約56.4%的國中生及62.9%的高中生表示從來沒有或幾乎不曾於科學課程進行「實驗設計」(余曉清、林煥祥，2017)，顯示我國課綱強調的「培養學生實驗設計」、「驗證假設」及「操控變因」的實驗課程未具體落實(林煥祥等，2016)。雖有許多教師認同實驗室工作對科學學習的重要性，但可能因無法釐清實驗與學習成效的關係(Kipnis & Hofstein, 2008)，而影響教師的實施意願。再者，目前多數實驗課程的編排仍以學生依序做什麼，而確保其獲得正確結果的食譜式實驗為主，因而壓縮學生意義建構的投入(Hofstein & Lunetta, 2004)，以致學習效益不彰。

基於建構觀的實驗課程應是讓學生藉科學探究以探索自然或解決問題(Walker & Sampson, 2013)。實驗室中的科學探究強調學生能像科學家一般，探索問題、形成假設、設計實驗、分析數據、描繪結論而理解自然世界(Hofstein & Walberg, 1995)。實驗室中的科學探究確實有助於科學學習，包括科學知識的理解、技能的提升(Ketpichainarong, Panijpan, & Ruenwongsa, 2010; H.-S. Lin et al., 2011; Lord & Orkwiszewski, 2006)、科學本質觀(Backus, 2005)、促進科學學習態度與動

機(Lord & Orkwiszewski; Tuan, Chin, Tsai, & Cheng, 2005)及高層次思考能力的發展(Kipnis & Hofstein, 2008)。

我國十二年國教自然領綱(草案)的制定受NGSS影響(邱美虹, 2016), 強調科學學習方法應重視並貫徹「探究與實作」, 以提供學生蘊含探究本質的實作活動、多元而統整的學習經驗, 來培養學生的科學素養(教育部, 2016)。因此, 發展一符應核心素養的科學探究與實作課程勢在必行。

然而, 中學實驗室中所進行的科學探究與實作活動與科學家的實驗室工作(科學探究)仍有一段不小的差距, 尤其礙於課程時間限制, 學生常被要求一至二節課即需要完成探究任務, 但學生通常於熟悉任務、操作器材與蒐集資料就耗費大部分時間與精力(Hofstein & Lunetta, 2004), 小組討論實驗任務的時間比例極低(Newton, Driver, & Osborne, 1999)。因此, 這類缺乏訊息評估與交流的科學探究與實作課程未必能確保學生建構有意義的科學知識。

Kind, Kind, Hofstein與Wilson (2011)認為實驗討論是學生認知投入關鍵; 何宗穎等(2013)研究亦指出, 學生若無法充分討論與交流, 會限制科學探究能力的發展。實作(practice)的意義不僅是動手做(hands-on)的層面(邱美虹, 2016), 學生共同參與建構科學知識(minds-on)的過程以理解自然世界的運作亦是主要重點(教育部, 2016)。而除了自主行動與實務參與外, 表達與溝通也是重要的核心素養, 而科學知識的發展亦蘊含科學社群運作的特徵(教育部)。因此, 實驗室中的科學探究尚需藉適當的課程設計, 以激發、引導學生的論證對話與反思, 方能讓學生真正投入於知識的建構。

二、科學論證

科學論證(scientific argumentation)是特定社群藉提出問題、蒐集數據、並產生基於證據之主張來建構其想法, 或批判他人想法以達成共識的協商歷程(Ford, 2008)。因此, 科學論證包含「問題」(questions)、「主張」(claims)、「問題—主張關係」(questions-claims relationship)、「證據」(evidence)、「主張—證據關係」(claims-evidence relationship)、「反思」(reflection)等向度(Choi, Notebaert, Diaz, & Hand, 2010)。科學論證需要情境, 「問題」能提供情境促進論證的建構 (Cavagnetto & Hand, 2012); 「主張」是該問題的解決方案或結論; 「證據」是問題之解決方案或結論的解釋(Chen & Steenhoek, 2014); 「問題—主張關係」與「主張—證據關係」則聚焦於科學論證的一致性, 亦即提供的證據是否能合理的支持其主張, 主張又能否回應起始問題(Choi, Hand, & Greenbowe, 2013); 而藉「反思」的批判性歷程以精煉其科學論證(Choi, 2010)。

在科學發展過程中, 「形成論證」是科學實作的核心活動(Walker & Sampson, 2013), 以認知學習的觀點而論, 「形成論證」是促進學生發展學科知識理解的概念化歷程(Osborne, 2010)。在實驗室的科學探究與實作中, 科學論證是驅使學生投入探究歷程的方法, 並藉論證建構來促進其科學知識的整合(Ford, 2008)、提升科學自我效能(余曉清、林煥祥, 2017)。因此, 十二年國教自然領綱(草案)亦將「推理與論證」(reasoning and argumentation)列為重要的學習表現之一(教育部, 2016)。

然而過去科學課室中, 科學探究與科學論證少有整合(Choi et al., 2010; Kind, Wilson, Hofstein, & Kind, 2010), 近年來, 為實現學

生自科學實作中習得科學知能的教育目標，許多國外學者開始探討學生於科學探究歷程的論證表現(Chen, Hand, & Park, 2016; Choi et al.; Katchevich, Hofstein, & Mamlok-Naaman, 2013; Walker & Sampson, 2013)，這些學者認為學生要直接經驗科學探究，透過實驗脈絡來解釋數據以轉化為證據，方能提出整合自探究活動之證據所支持的主張，建構高品質的科學論證。研究指出(Katchevich et al.)，實驗室中的科學探究為小組合作的學習環境，能促進論證式的對話，而具發展學生科學論證的潛力。反觀目前國內論證研究，無論是國小、國中、高中乃至大學，大多基於科學議題(林志能、陳玲君、洪振方，2010；林宗進、林樹聲、陳映均，2010；洪逸文、湯宜佩，2016；蔡佩穎、張文華、林陳涌、張惠博，2013；蘇衍丞、林樹聲，2012)；而PISA 2015的學生問卷的分析也發現，超過五成的高中生表示從來沒有或幾乎不曾「對實驗進行辯論」，顯示整合科學探究的論證思考活動在我國科學課程中是相當缺乏的(余曉清、林煥祥，2017)。因此，為落實十二年國教自然領綱(草案)強調的主動探索、實驗操作之科學探究精神與方法，促使學生具備科學核心知識、探究與科學論證能力(教育部，2016)，發展科學探究與實作課程，視科學論證為科學探究結果來分析學生表現是重要的研究方向。

不過，對教師而言，藉科學探究以發展學生論證能力是極具挑戰的任務(Osborne, Erduran, & Simon, 2004)，學生於科學探究同時建構高品質的科學論證亦有其難度(Watson, Swain, & McRobbie, 2004)。所以，在實施科學探究與實作課程的初始階段，需要輔以基於論證的探究法來支持科學探究與科學論證的整合。

三、啟發式科學寫作(SWH)與評量

SWH是基於論證的探究教學法，將科學探究、論證、寫作與學生語言結合(Hand, 2007)，協助學生掌握科學實作的同時發展學科概念的理解(Cavagnetto & Hand, 2012)。在實驗室的科學探究中，學生提出問題、設計實驗、蒐集數據，並透過SWH將探究經驗轉化成抽象的概念性框架，進而整合證據、合理推論以創造足以說服他人的主張(Wallace, Hand, & Prain, 2004)，讓學生藉論證寫作來促進概念的深度理解(Sampson, Enderle, Grooms, & Witte, 2013)。

科學課室中，教師常因寫作壓縮內容學習時間，而降低實施意願(Holliday, Yore, & Alvermann, 1994)，學生少有機會撰寫科學論證(Kelly, Regev, & Prothero, 2008)。因此，面對非預期結果，學生常扭曲或忽視數據，而非拒絕原先假設(Berland & Reiser, 2009; McNeill & Krajcik, 2007)；學生無法區別相關數據，或運用科學理論解釋數據以形成證據，而忽略以證據來支持主張的合理性(Kelly & Takao, 2002)，故傾向於寫作中描繪觀察的細節(Zeidler, 1997)。此外，Keys (1999)分析寫作發現，中學生對數據解釋含糊不清、探究反思甚少；學生大多無法對他人主張提出批判與挑戰(Kelly et al.)。因此，在實驗室的科學探究中，施以SWH來整合學習內容與探究活動、提供科學論證寫作之引導性框架、搭配便捷的論證評量策略，或許能克服上述困境，而促進學生於科學探究中的論證表現。

Choi等(2010)發展SWH論證寫作評量架構，分析五、七、十年級學生論證的建構。結果顯示，五年級學生論證品質良好，七、十年級學生則否，可能與「反思」程度有關；整體而言，「主張—證據關係」是預測

論證寫作品質的重要向度。Choi (2010)再以此評分架構，分析大學生於普通化學課程之各論證向度的表現發現，「問題」向度表現最好，「反思」則較差，但作者對不同論證向度或實驗任務的表現差異無進一步討論。

Choi (2012)擴展2010年研究，開發普通化學課程第二年的十二個實驗，考量實驗差異而以「概念複雜度」作為評分加權，以比較第一、二年論證品質的差異。結果顯示，第一年學生的論證寫作有進步趨勢，但有四個實驗例外，可能與任務難度或開放程度有關；第二年學期後的表現優於學期初，但實驗五、八、十的表現卻不如預期。Choi雖以「概念複雜度」之加權來克服不同實驗任務對論證表現的潛在影響，然以第一年為例，實驗七之概念複雜度為八，論證表現平均為15.85分，實驗十之複雜度僅為六，但得分卻僅12.86分，作者推論是實驗材料為氣體所致，而此亦顯示僅以「概念複雜度」加權的研究限制。Choi等(2013)再分析2012年論證寫作數據發現，「證據」、「主張—證據關係」分別是預測大學生高品質論證的組成向度與關係向度，且論證品質與學習成就相關。

綜合上述研究，在實驗室的科學探究與實作課程中，SWH應能整合科學探究與論證實務，以具體的寫作結構來協助學生發展科學論證。此外，預測論證品質的向度分析或許能讓論證評量更省時。然而，不同探究任務與不同學生族群中，可預測的向度以及學生在各論證向度的表現均有所差異，因此，發展科學探究與實作課程時，尚需將學生個別差異、探究任務性質等因素納入考量。

四、影響科學探究歷程之論證表現的因素

學生的學業成就影響科學學習的個別差異(Rivard, 2004)，領域知識及認知推論能力也可能與科學論證的學習相關(S.-S. Lin & Mintzes, 2010)。不過，Grimberg與Hand (2009)探討高、低成就生於不同探究任務之SWH的認知途徑，結果顯示學生論證寫作使用的認知水準與學業成就無關，但與探究任務顯著相關。Kind等 (2011)使用複雜數據、衝突假設、實驗後討論等三種任務，以實驗、假設、協調與評估之工作模式，來瞭解學生於不同任務中，各工作模式投入的比例對其論證品質的影響。結果發現，學生投入實驗工作模式的論證量最少且品質低，而投入協調與評估模式則有最高的論證頻率與品質。使用複雜數據的任務中，學生多關注於實驗工作，衝突假設任務則能誘發學生進行協調與評估，然唯於實驗後討論的任務，學生分配較多時間於假設、協調與評估工作的討論中，進而激發更多理由與反駁來建構論證。Walker與Sampson (2013)研究亦顯示，實驗後學生間的對話品質與其論證寫作分數正相關；當學生參與更多全班性的論證討論後，學生愈能運用證據來辯護、支持或拒絕他人的論證，論證寫作品質亦隨時間持續提升(Chen et al., 2016)。

科學探究歷程中，影響學生論證之因素多而複雜，各實驗任務因主題不同，蘊含概念與抽象度也不同，學生先備經驗亦會影響其論述。此外，科學儀器(Choi, 2012)、實驗開放程度(Katchevich et al., 2013)及誘發討論設計(Kind et al., 2011)等，會影響學生對實驗目的之詮釋(Berland & Hammer, 2012; Walker & Sampson, 2013)，進而影響其各工作模式的分配(Kind et al.)而導致論證表現的差異。

有鑒於此，發展科學探究與實作的課程時，必須根據教學目的來慎選主題、材料、儀器以規劃探究任務，並依學生能力調整探究之開放性。而為提升表達與溝通的核心素養，課程必須強調社群運作的特徵，在課程中需分配一定時間，提供情境來激發學生的論證與反思，讓學生真正投入於知識的探索與建構。此外，我國學生於「評量及設計科學探究」及「解讀科學數據及舉證科學證據」向度的素養表現歧異度過大(余曉清、林煥祥，2017)，而在實驗室科學探究的小組學習中，教師應留意學生論證能力可能存在的個別差異(S.-S. Lin & Mintzes, 2010)。

五、以逆向設計發展以科學論證寫作為核心的科學探究與實作課程

實驗室工作(laboratory work)、論證(argumentation)與寫作(writing)均為重要的科學實作(science practice)。然而，多數的科學教師仍側重科學知識的講述及列舉，很少以實驗探究來培養學生的問題解決能力，而在有限的實驗課程中也少有整合寫作來發展學生科學論證等思考智能的活動；此外，多數教師、家長、甚至是學生本身仍關注於傳統以選擇題為主的測驗表現，忽略科學學習的動態歷程及寫作在知識轉化所扮演的關鍵角色。十二年國教總綱以「成就每一個孩子—適性揚才、終身學習」為終極目標，期望學生在學校中培養基本知能，於生活中融會各領域所學，進而統整運用以適應未來生活(教育部，2014)，因此，能讓學生產生真正理解而終能學習遷移的課程將是改革的關鍵。

重理解的課程設計(understanding by design)強調以期望的學習結果作為課程設計起點，並藉能掌握學生理解的評量方式來規

劃教學活動(Wiggins & McTighe, 2005)，其課程設計的三大階段依序為確認期望的學習結果、決定可接受的學習結果、設計學習經驗及教學活動，因有別於傳統課程設計順序，故又稱逆向設計(backward design)。學者認為逆向設計的理念符應當代的課程標準(Krajcik, McNeill, & Reiser, 2008; Schiller, 2015)，是改善課程的最佳方法(McElhinny, Dougherty, Bowling, & Libarkin, 2014; Wood, 2009)。在實驗課程開發方面，加州大學洛杉磯分校於2010年所發展、實施的能力本位研究實驗課程(Competency-based Research Laboratory Curriculum, CRLC)是逆向課程設計的應用實例，相關的研究結果顯示此課程不僅能促進學生科學學習、提升學生從事科學事業的意願，也能藉選定的評量來提供足夠證據，讓教師確保學生實驗研究活動與其學習表現相應(Sanders et al., 2016; Shapiro et al., 2015)。此外，Krajcik等所發展的學習目標驅動設計模式(learning-goals-driven design model)更是逆向課程設計的擴展，以此模式開發的課程：以科學與技術調查和探詢我們的世界(Investigating and Questioning our World through Science and Technology, IQWST)則是基於論證的探究課程，而廣泛實施於美國中學的科學課室(Krajcik, Reiser, Sutherland, & Fortus, 2013)。

有鑑於過去科學課室學習的侷限性、及符應十二年國教課程改革的需求，本研究根據逆向課程設計原則，發展以科學論證寫作為核心的科學探究與實作課程，包含藉任務情境引導學生發現問題，運用適當實驗素材(漆氧化酶)與學習鷹架(變因選擇)來協助學生規劃其研究歷程；課程中亦安排充足時間、適當問題與對話氛圍，讓學生藉說科學來培養學生批判思辨能力；以SWH教學法來協助

學生整合科學探究經驗、口頭對話，並藉科學論證寫作來擴展其既有之概念結構，促進科學知識的建構與理解；以學生的科學論證寫作為主要學習證據，評量其探究能力之思考智能的表現。本研究也試圖比較不同論證表現學生於各論證向度的表現差異，以全面評估學生在本科學探究與實作課程的學習成效，作為改進課程與教學的參考。最後分析論證寫作品質的最佳預測指標，以期歸納出便捷的論證評分策略。

參、研究方法

本研究旨在發展與實施一科學探究與實作課程，並藉由蒐集、分析學生於學習歷程中的量化與質性資料，以瞭解學生於本課程的學習情況。以下分別針對研究設計及流程、研究對象、參與教師、科學探究與實作課程的發展、研究工具、資料蒐集與分析進行說明。

一、研究設計及流程

本研究之研究流程可分為課程發展、課程實施與資料分析三階段。課程發展階段是以逆向課程設計原則編排及整合以酵素為主題的探究單元，並發展論證寫作及科學概念評量工具；課程實施階段則邀請自願之個案學生18人參與為期五日(共30小時)的暑期科學營。本研究採用單組前、後測(成就測驗)設計來瞭解學生酵素核心概念理解的改變情形；在課程中，學生以3人一組進行科學探究，藉SWH的引導，以「酵素概念暨科學論證寫作簿」記錄其探究歷程，並撰寫科學論證。課程結束後回收「酵素概念暨科學論證寫作簿」以利後續資料分析階段之資料統整與詮釋。

二、研究對象

本研究場域為南部某縣立高中，自願個案學生18人的年齡介於15～17歲，男生3人，女生15人，15人曾有「唾液澱粉酶實驗」食譜式實驗經驗，其中5人亦曾參與作者先前開發的中心法則探究課程，但僅1人因參加科展而具科學論證與寫作經驗。

三、參與教師

實驗開發與教學者為具多年酵素研究與教學經驗的教授(第二作者)，於課程中引導討論並給予專業回饋。課程助教為第一作者，於此高中已有七年教學經驗，持主攻酵素研究之碩士學歷，目前於科學教育研究所博士班進修，負責探究課程規劃、評量設計，引導小組對話、論證寫作與回饋。實驗助教為生物領域之博士候選人、生物專長之碩士班學生、及化學系學生共三人，協助探究與實作課程的實施。

四、科學探究與實作課程的發展

(一)以評量出發的逆向課程設計理念與目標

科學探究與實作之宗旨是以實作培養學生發現問題、解決問題、提出結論與表達溝通之能力，期望學生於科學探究中藉小組對話、課室討論、口頭或書面論證等，積極與他人進行有效溝通來培養其科學素養，因此科學探究與實作課程的發展除了強調以培養核心素養為主軸外，如何讓教師在課程中有效檢視學生的學習表現亦為課程設計必要納入考量的面向。逆向課程設計重視將學生學習證據視為評量，並蒐集相關評量結果來設計學習經驗與教學活動，有助於教師直接在科學探究的歷程中檢視學生的表現能否達成學習目標(Sanders et al., 2016; Wiggins &

McTighe, 2005)。因此，研究者基於逆向課程設計原則，依據十二年國教自然領綱(草案)之課程目標與學習表現，確認本課程整體期望的學習結果為：「學生能在實驗室的科學探究中，藉由實作經驗來探索科學知識的發展，並根據探究結果來建構基於證據的科學論證。」此外，本課程亦期望學生能體會科學寫作在知識轉化與科學社群溝通方面所扮演的角色，故以SWH為科學論證的引導性框架，協助學生於實驗室的科學探究中逐步地精煉其想法，且視此科學論證寫作作為學生學習結果之證據。最後，概覽十二年國教自然領綱(草案)中與酵素相關的核心概念，搭配四個實驗任務，依難度組織探究單元，並輔以SWH之探究教學法來貫徹科學探究與實作課程。

(二) 酵素課程主題發展

科學探究與實作的目的是希望學生藉由對生活中科學內容的反思，培養求真求實的精神(教育部，2016)。「酵素」是生命現象的基礎，也是生活中常聽到的專有名詞，如環保、水果酵素等，然而國人對「何為酵素」普遍缺乏正確的認識，此反映學校課程對酵素的教學有所偏頗。舊課綱的課程架構中，國中自然與生活科技1、高中基礎生物(1)、選修生物(上)均有提及酵素概念，包含酵素能加速反應、活性受酸鹼及溫度影響、酵素催化具專一性等(教育部，2009)，然酵素濃度對催化速率的影響、受質濃度與終產物之關聯等，則甚少跨科整合化學反應速率與平衡概念來詳加討論。實驗課程方面，雖有規劃「唾液澱粉酶實驗」及「檢測觸酶活性實驗」，但實驗均聚焦於酵素活性受溫度影響的概念，酵素「加速」化學反應的關鍵功能並沒有被凸顯；酵素專一性的實驗則缺乏，學生對專一性常感到困惑；再者，「唾液澱

粉酶實驗」與「檢測觸酶活性實驗」的實施多以食譜式實驗進行，導致學生核心能力(如批判思考、推理與論證)的發展不如預期。

酵素實驗材料以純化之酵素與受質為佳，然純酵素與受質通常價格昂貴，而「唾液澱粉酶實驗」及「檢測觸酶活性實驗」均不是以純酵素進行，無法探討酵素催化速率及專一性概念。漆氧化酶是廣泛應用於工業生產的酵素，以漆氧化酶作為教學的優勢包括：1. 酵素及受質價格相對平價，以受質癒創木酚(guaiacol)為例，一百公克約一千四百元，能做 5×10^6 次標準活性試驗，而一公克的純化雲芝漆氧化酶定價約六千元，可進行 10^5 次標準反應測定；2. 酵素反應容易測定，癒創木酚於反應時伴隨顯著顏色變化，配合比色計即能精準測量反應速率。故本課程以「酵素」為主題，分析十二年國教自然領綱(草案)的相關核心概念，選用漆氧化酶來發展包含四個實驗任務的探究與實作課程。

(三) 酵素科學探究與實作課程內容與教學流程

提出問題、發展或使用模型、計畫與進行調查、分析與解釋數據、利用數學和計算思維、建構解釋、由證據進行論證、資訊的獲得、評估與交流訊息等為NGSS所強調的八個科學實作(science practice)向度(NGSS Lead States, 2013)，而我國十二年國教自然領綱(草案)根據NGSS的架構，將「自然科學探究與實作」課程的學習重點分為「探究學習內容」與「實作學習內容」。「探究學習內容」聚焦於科學探究歷程，而「實作學習內容」為可實際操作的科學活動，例如觀察、測量、資料蒐集與分析、歸納與解釋、論證與作結論等，實作內容的實施要貫通發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等探究內容(教育部，2016)。有鑑於本研究目

的之一為發展符應十二年國教自然領綱(草案)之科學探究與實作課程，故本酵素科學探究與實作課程依據自然領綱(草案)所強調的「探究學習內容」與「實作學習內容」來設計探究單元。

單元一為「漆氧化酶催化的最佳條件」，本單元期望的學習結果為：「學生能透過情境的引導，嘗試規劃四個探究活動，並藉產物的顏色變化，試驗pH值、溫度、酵素與受質濃度等變因對酵素催化反應的影響，以推論漆氧化酶的最佳活性，最後藉口頭論證與論證寫作來建構酵素催化反應有其最適條件之概念。」學生均具備「酵素活性受pH值、溫度影響」之先備知識，然酵素與受質濃度則否；此外，雖多數學生有「探討溫度影響唾液澱粉酶活性」之食譜式實作經驗，但以pH值、酵素與受質濃度為變因的試驗則闕如，再加上學生需根據情境衍生的問題來計畫與執行實驗，對多數缺乏探究實驗、論證與寫作經驗的學生而言，單元一仍具挑戰性。

在單元二「漆氧化酶催化反應曲線」中，學生需學習操作微型電腦LabQuest2、比色計以精準測量反應速率。此外，學生需理解探究法的多元性，化學反應伴隨的反應物耗損(在此為氣體)，學習使用溶氧度計，並設計試驗來檢測酵素與受質濃度對催化反應曲線的影響。單元二的核心概念為實驗一的延伸，濃度與化學反應平衡關係、氧化與還原反應是化學課程強調的科學概念。舊課綱的選修生物，僅提及濃度會影響酵素催化反應，教科書中雖有「催化反應曲線」圖示，但無討論酵素與受質濃度對「催化反應曲線」之斜率、平衡位置的影響，亦無相應之實驗活動。因此，本單元具體的期望學習結果為：「學生能理解化學反應偵測的多

元性，並嘗試運用適當儀器來設計實驗以檢測、描繪酵素的催化反應曲線，再透過口頭論證與論證寫作來理解酵素濃度影響反應曲線之斜率(反應速度)，而受質濃度則會影響反應曲線的最終平衡位置(產物量)。」

單元三為「漆氧化酶受質多樣性的檢測」，本單元期望的學習結果為：「學生能藉由單元一、二之研究結果，理解各種實驗設計的適用性與限制，且根據化合物結構來預測候選受質，設計各種方法逐一檢視各化合物的反應，以確認能受漆氧化酶催化的受質，再藉口頭論證與論證寫作歷程來進一步思考「酵素專一性」的意義。」過去傾向將「酵素專一性」解釋為催化特定一種受質，以「鎖鑰假說」解釋專一性成因，無跨科整合化合物之官能基結構對其特性及功能影響的概念，以說明受質結構與酵素活性位互補關係，且相應實驗缺乏，學生對「專一性」概念有各種想像，再加上本單元實作活動涉及多變項設計，故對學生而言是極具挑戰的任務。

單元四為「漆氧化酶純化與活性染色分析」，本單元具體的期望學習結果為：「學生能理解Ni-IDA管柱之色層分析與蛋白質電泳原理，並嘗試設計實驗自各種酵素混合液中純化出漆氧化酶，再藉實際操作Ni-IDA管柱層析、蛋白質膠體電泳法與受質活性染色來確認酵素活性與純化成效，並能藉由科學論證歷程以強化探究活動與科學核心概念的連結。」雖然在高中階段有略為提及層析概念，但由於Ni-IDA管柱與蛋白質電泳之儀器操作屬大學進階學習階段，故此單元難度極高，為避免學生因操作儀器困難、相關原理負荷過高，而壓縮小組對話與課室討論的時間，特別將單元四延長為12節課，以確保科學探究與論證建構之品質。

上述四個探究單元均包括探究情境、腦力激盪、探究假設、探究活動、實驗討論、綜合討論與啟發式科學寫作，內容規劃如表1。課程實施採用SWH探究教學法來貫通發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等探究學習內容，首先描述相關情境來激發學生興趣，藉腦力激盪的問題討論來引導學生選擇實驗變因、嘗試撰寫假設以發展研究問題，探究活動階段則鼓勵學生根據問題來規劃實驗步驟並執行此實驗任務，並經由實驗討論與小組對話來協助資料分析、解釋和推理，以轉化實驗結果為己身論述之證據，再透過全班性的協商(綜合討論)來強化學生對整體探究經驗與相關概念的反思，最後以SWH引導寫作論證的建構來回應研究問題(參見研究工具介紹之表2與附錄一)。

五、研究工具

(一) 酵素概念暨科學論證寫作簿

研究者以SWH來整合酵素科學探究與實作課程的四大探究單元，編撰包含SWH元件與探究活動單元件之課程講義：「酵素概念暨科學論證寫作簿」，參見表2與附錄一，協助學生在科學探究歷程中進行問題發現、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等實作，並直接評量由SWH引導的論證寫作，探討學生於此課程的學習表現。以問題發現為例，學生於探究情境中，根據已知科學知識、腦力激盪之問題引導，藉團體討論而提出研究問題，撰寫於SWH元件的問題欄位，並根據探究假設的問題來釐清各變因間的關係，提出可驗證的預期結果，如附錄一圖(a)。

(二) 勾選式論證寫作評分表

本研究參考Choi等(2010)的論證分析架構，採用「問題」(questions)、「主張」

(claims)、「問題—主張關係」(questions-claims relationship)、「證據」(evidence)、「主張—證據關係」(claims-evidence relationship)、「反思」(reflection)等六大論證評分向度。然為瞭解學生對不同結果或他人論述的想法，故參考Walker & Sampson (2013)之「社群」(community)向度，依據比較、解釋程度、結果歸因等，進行「閱讀與比較」(reading & compare)向度的評分。七大向度依劣優分1至5等級，各大向度再根據評分規準細分次向度，每個次向度均提供1至5等級的標準描述以利勾選式評分，此編修之勾選式論證寫作評分表經二位科學教育專家審查，以建立效度。本文僅以「主張」為範例，詳見附錄二，其他向度請參考Choi等的研究。

(三) 酵素概念成就測驗

「酵素概念成就測驗」由發展探究實驗之教授根據四個探究單元的學習內容設計，相關科學概念包含：影響酵素催化活性的因素、酵素及受質濃度與酵素催化反應曲線的關係(化學平衡)、生成物(比色法)偵測法與反應物(氧氣)消耗法之反應曲線的差異、受質官能基結構與酵素專一性關係、離子色層分析與電泳原理等，每一探究單元包含20題選擇題，於作者任教高中進行預試，根據預試結果刪除不適當試題，並配合學生程度編修試題敘述，由學校一位自然科領域教師及一位科學教育專家審核以建立效度。最後定版之「酵素概念成就測驗」包含探究單元一10題、單元二10題、單元三5題、單元四10題，共35題，單元三每題20分，其餘單元皆為10分，每單元總分為100分，試題由曾參與本科科學探究與實作課程之中部二所高中的62位學生進行預試，難度介於0.59 ~ 0.57之間，平均難度為0.64，鑑別度介於0.2 ~ 0.63之間，內部一致性信度係數(Cronbach's α)為0.68。18

表1：酵素科學探究與實作課程及對應之科學概念

探究單元	一	二	三	四
探究議題 (節數)	漆氧化酶催化的最佳條件 (6)	漆氧化酶催化反應曲線 (6)	漆氧化酶受質多樣性的 檢測(6)	漆氧化酶純化與活 性染色分析(12)
探究情境	Dr. Lai萃取出新酵素漆氧化酶，大家一起來尋找漆氧化酶的催化條件。	Dr. Lai想評估漆氧化酶催化效率，大家一起試驗酵素與受質濃度的影響。	癩創木酚將停產！大家快幫Dr. Lai尋找漆氧化酶的其他受質。	都混在一起了！大家快幫Dr. Lai自混合液中純化漆氧化酶。
實作學習內容				
探究學習內容				
發現問題 (腦力激盪)	• 哪些因素影響酵素活性？ • 這些因素與酵素催化反應有什麼關係？	• 酵素反應速率如何估計？方法只有一種？ • 如何比較不同酵素、受質濃度的催化反應速率？	• 何謂酵素專一性？ • 酵素僅能催化一種受質？ • 什麼物質可作為受質？要如何證明？	• 如何分離特定酵素？ • 酵素活性高表示純度高？
規劃與研究 (實驗任務)	• pH值、溫度對酵素催化的影響。 • 酵素、受質濃度對酵素催化的影響。	• 「比色法」探討酵素、受質濃度與反應速率關係。 • 「溶氧法」探討酵素、受質濃度與反應速率關係。	• 單一受質反應試驗。 • 褪色反應試驗。 • 溶氧度計試驗。	• 金屬管柱親合性色層分析法。 • 酵素活性檢定。 • 蛋白質電泳與酵素活性染色分析。
表達與分享 (綜合討論)	• 環境因子、酵素與受質濃度如何影響催化活性？	• 酵素的反應速率如何估計？酵素、受質濃度如何影響催化反應曲線？	• 酵素僅能催化一種受質？何謂酵素專一性？	• 酵素純度與活性高低有關？
• 各組的實驗結果都相同？若有差異，可能原因是？				
論證與建模	SWH1	SWH2	SWH3	SWH4
科學核心概念				
單元核心概念	• 酵素活性會受pH值、溫度影響。 • 酵素與受質濃度會影響其催化反應。	• 酵素濃度影響催化速率。 • 受質濃度影響終產物的含量。	• 酵素專一性：酵素有特定的受質範圍。	• 酵素是蛋白質，可藉表面胺基酸與離子之親和性純化酵素。 • 蛋白質因大小、帶電荷差異得以電泳分離，而活性染色能確認酵素。
相關學習內容與學習階段	• 藉酶的催化進行新陳代謝，並以實驗探討溫度影響酵素作用。(7-9) • 化學反應常伴隨顏色變化。(7-9) • 影響化學反應速率因素：溫度、濃度、催化劑。(7-9) • 酶的功能與影響酶活性的因素。(10-12選修)	• 化學反應常伴隨顏色、氣體變化。(7-9) • 濃度與化學平衡。(7-9) • 氧化與還原的定義。(7-9)	• 化學鍵影響物質的結構，並決定其功用。(10-12必修) • 官能基會影響化合物的性質。(10-12選修)	• 混合物的純化方法：色層分析。(10-12必修) • 混合物之純化方法與儀器操作原理。(10-12選修) • 說明電泳基本原理。(10-12選修)
探究難度	易	中	難	極難

表2：酵素概念暨科學論證寫作簿及對應之探究與實作學習內容

探究學習內容	SWH元件	探究活動單	實作學習內容	範例
發現問題	問題	腦力激盪	學生藉閱讀、討論回顧其先備知識，並提出適合的探究問題。	附錄一圖(a)
規劃與研究	試驗	探究假設	學生思考如何形成假設，提出可驗證的觀點。	
		實驗設計	- 學生尋找相關變因，設計與編寫自己的實驗步驟。 - 學生操作適當器材以獲得資料。	附錄一圖(b)
	觀察	實驗結果	學生設計適當表格，有系統的紀錄數據。	圖(c)
論證與建模	主張	實驗結論	學生分析資料並以圖表呈現。	附錄一圖(d)
	證據	實驗討論	- 學生討論數據變化趨勢，解讀結果與科學概念之關聯，轉化結果為證據。 - 學生基於結果與證據形成結論。	
表達與分享	閱讀與比較 反思	綜合討論	- 學生以適當表徵陳述科學探究過程與成果。 - 學生傾聽他人報告，評估探究過程、主張，並提出合理的疑問或建議。 - 學生藉比較、審視各組結果的信效度，體會科學探究重視證據使用。 - 學生反思科學探究歷程與概念理解的變化。	附錄一圖(e)

位學生於科學探究與實作課程前、後進行酵素概念成就測驗，以瞭解本課程對學生概念學習的影響。

六、資料蒐集與分析

(一)寫作論證評分與質性資料分析

本研究回收學生「酵素概念暨科學論證寫作簿」共18本，均包含四大探究單元之論證寫作文本，共計72份寫作樣本，由二位評分者計分，評分者一為第一作者，另一位為生物領域博士候選人。計分採二階段，首先，評分者基於規準劃分之次向度勾選，再依被勾選之論述所屬等級計分，加總各次向度，除以該向度之次向度的劃分數，即為學生於該論證向度之得分，最後以二位評分者之分數平均作為該生之得分，計分公式如附錄3。依據上述計分原則，二位評分者各自進行72份樣本的論證評分，當分數差異大於0.5分時，即進行協商後再各自評分，評分者信度以「組內相關係數」(intra-class correlation)

表示(Shrout & Fleiss, 1979)，七大向度之評分者信度分別為： $r_Q = .936$ 、 $r_C = .920$ 、 $r_{QC} = .935$ 、 $r_E = .904$ 、 $r_{CE} = .869$ 、 $r_{COM} = .928$ 、 $r_R = .883$ 、總評分表為.918，具有良好的評分者信度。最高論證寫作總分為35分，0～14分為待加強之論證寫作，14～21分為尚可之科學論證，21～28分為優良論證寫作、28～35分則為極優良之論證寫作。

(二)量化資料分析

為瞭解學生於不同探究單元之科學論證表現，以IBM SPSS Statistics Subscription (SPSS) 22.0將18位學生四次的論證寫作進行重複量數分析，並依據四次論證寫作總得分，將學生劃分為高論證表現組(H_A組)、低論證表現組(L_A組)，藉Mann-Whitney無母數檢定分析二群學生各論證向度的表現，再以次向度之得分人數百分比搭配質性資料來詮釋其差異。最後，以逐步迴歸分析影響論證寫作品質的關鍵向度。在概念學習的方面，本研究藉Wilcoxon符號等級檢定分析學生

表3：探究實驗三之啟發式科學寫作「主張」的論證評分範例

論證等級	實際得分	學生寫作樣本(學生代碼)
1	1.93	- 可：香草醇、阿魏酸、經基苯並三唑。 - 不可：藜蘆基醇、3-胺基苯甲酸、香草醛。(S12)
2	2.28	所有待測受質都可以和漆氧化酶發生反應。(S8)
3	2.86	漆氧化酶除了癒創木酚之外VA、1-HBT、vanillin、vanillyl alcohol、3-ABA、FA也可作為漆氧化酶的受質。(S1)
4	3.79	能夠作為漆氧化酶催化反應的受質不只一個，在單一受質反應試驗中化合物沒有顏色變化的並不代表沒有反應。(S13)
5	4.43	酵素不一定僅能催化一種受質，而是有特定的受質範圍。(S2)
	4.64	漆氧化酶不只能催化固定一個受質，它能催化結構類似的化合物。(S5)

註：S2學生的主張計分示例與實際得分詳見附錄二。

「酵素概念成就測驗」前測、後測資料，以瞭解科學探究與實作課程前後18位學生酵素概念理解的變化，再以Mann-Whitney無母數檢定比較 H_A 、 L_A 二組學生之酵素概念理解的差異。

肆、結果

一、酵素科學探究實作課程與學生論證能力及酵素概念理解的發展

(一)個案學生的論證寫作表現

將18位個案學生撰寫的四次SWH論證寫

作進行重複量數分析，結果如表4。學生於本課程之SWH論證寫作表現優良，總分介於21.69 ~ 22.56分之間，表現最優者為單元二，而單元三的論證表現則較差。就各論證向度而言，四個探究單元中，學生之「問題」、「主張」論證向度得分有顯著差異。學生於單元二、三、四之「問題」得分顯著高於單元一，而單元二、三、四得分差異未達顯著；此外，單元二之「主張」分數顯著高於單元一，然相較於單元二，單元三、四得分有些許下降。

表4：18位學生四次論證寫作各向度得分之重複量數分析

啟發式寫作	寫作一	寫作二	寫作三	寫作四			
論證向度	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>F</i>	<i>p</i>	Post hoc
問題 Q	2.57 (0.386)	3.23 (0.465)	3.07 (0.754)	3.26 (0.868)	4.027	.028	Q2 > Q1, Q3 > Q1, Q4 > Q1
主張 C	3.14 (0.214)	3.48 (0.335)	2.87 (0.761)	2.94 (0.765)	4.485	.017	C2 > C1, C2 > C3, C2 > C4
問題—主張 QC	3.48 (0.744)	3.22 (0.703)	2.97 (0.856)	3.01 (1.070)	1.399	.254	
證據 E	3.00 (0.700)	2.99 (0.693)	3.07 (0.707)	2.95 (0.496)	0.194	.900	
主張—證據 CE	3.42 (0.491)	3.45 (0.576)	3.53 (0.531)	3.51 (0.541)	0.223	.880	
比較 COM	3.50 (0.832)	3.06 (0.353)	3.14 (0.686)	3.28 (0.518)	2.357	.083	
反思 R	3.16 (0.457)	3.14 (0.439)	3.03 (0.795)	3.05 (0.518)	0.301	.825	
總分	22.27 (2.648)	22.56 (2.303)	21.69 (3.651)	21.99 (2.990)	0.466	.707	

(二)個案學生的酵素概念理解表現

以Wilcoxon符號等級檢定分析18位學生於本課程前後的酵素概念理解表現，結果如表5，四個單元的後測得分均顯著高於前測，顯示本課程有助於提升學生對酵素概念的理解。

二、不同論證表現學生之論證寫作及酵素概念理解發展的差異

(一)不同論證表現學生之論證寫作表現差異

為瞭解小組合作學習之論證表現的個別差異，以18位學生四次SWH論證寫作總分進行分組，總分前30%的六位學生為H_A組($M = 97.30$, $SD = 8.19$)，後30%六人為L_A組($M = 80.89$, $SD = 1.44$)，進而分析二組學生於不同探究單元、各論證向度的差異。

1. H_A組與L_A組四次論證寫作表現差異

以Mann-Whitney無母數檢定分析H_A、L_A組學生四次論證寫作的表現，結果如表6。H_A組得分顯著優於L_A組，且均屬優良論證

寫作，平均總分為24分以上；L_A組總分介於18.56 ~ 21.07分之間，單元三之論證表現略低，整體論證品質屬中等程度。

2. H_A組與L_A組於論證寫作七向度之表現差異

概括整體論證寫作，H_A組學生於「主張」、「主張—證據關係」、「證據」、「主張—證據關係」、「比較」、「反思」等六向度表現均顯著高於L_A組，唯「問題」向度差異未達顯著，如表7。

3. H_A組與L_A組學生四次論證寫作之七向度論證評分的表現差異

以Mann-Whitney無母數檢定比較H_A、L_A組學生四次論證寫作各向度的差異，如表8。四次論證寫作中，「問題」向度均無顯著差異，而H_A組學生的「證據」向度表現都顯著優於L_A組。整體論之，H_A、L_A組達顯著差異之向度主要分布在寫作一、二，寫作三、四則差異向度較少；此外，計算H_A、L_A組學生於各向度之評分細項之得分人數百分比(如圖1)，以詮釋H_A、L_A組學生的論證表現。圖中方格之顏色越深代表得分人數比例越高。

表5：18位學生四個探究單元之酵素概念理解之無母數檢定分析

探究單元	單元一	單元二	單元三	單元四	總測驗
理解表現	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$
前測	66.22 (18.53)	53.89 (17.87)	46.00 (24.05)	39.00 (18.69)	205.11 (53.92)
後測	80.67 (13.67)	80.00 (17.49)	72.00 (16.06)	72.89 (16.15)	305.56 (32.68)
Z	3.185	3.556	2.605	3.724	3.725
p	.001	< .001	.009	< .001	< .001

表6：H_A組與L_A組四次論證寫作總分之無母數檢定分析

啟發式寫作	寫作一	寫作二	寫作三	寫作四
論證表現	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$
H _A	24.59 (1.63)	24.56 (1.30)	24.03 (4.13)	24.12 (2.59)
L _A	21.07 (1.01)	20.64 (1.49)	18.56 (1.32)	20.62 (1.25)
U	36.000	36.000	35.000	32.000
p	.002	.002	.004	.026

表7：H_A組與L_A組論證寫作七向度得分之無母數檢定分析

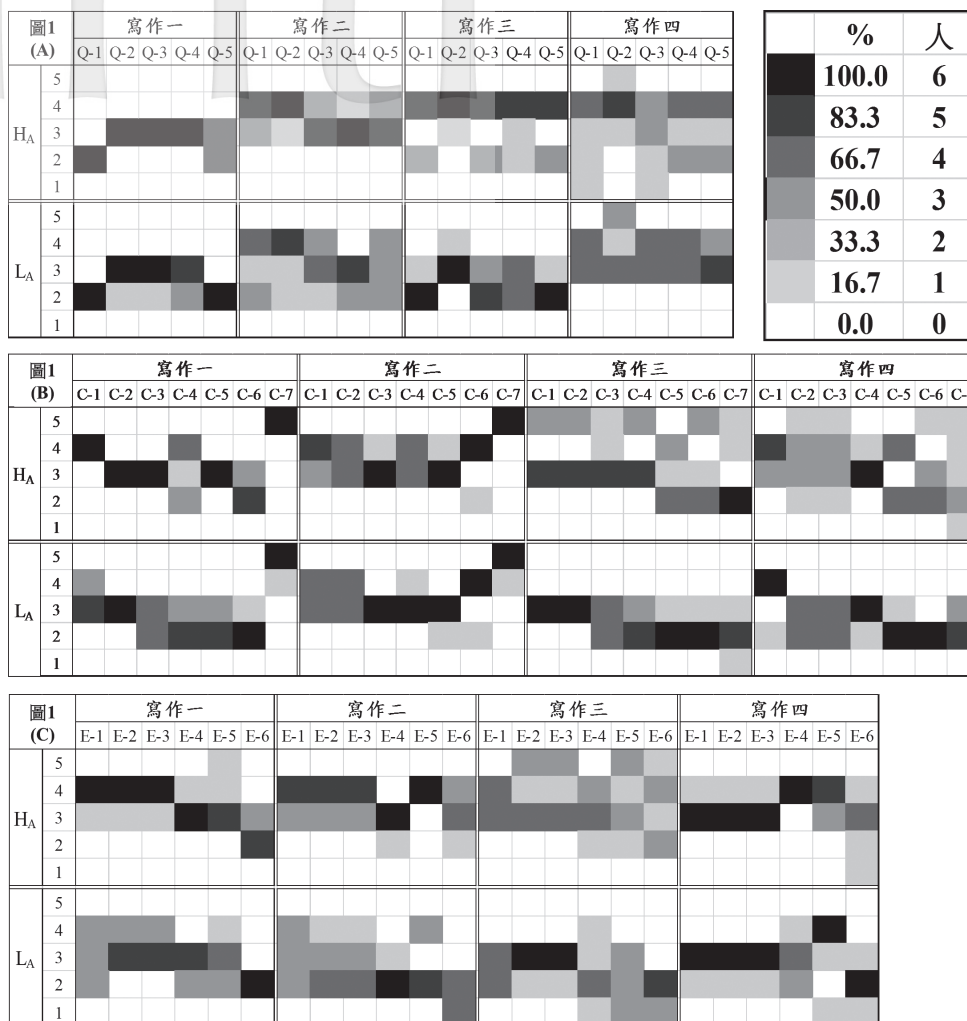
論證向度	問題	主張	問題—主張	證據	主張—證據	比較	反思
論證表現	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)
H _A	3.20 (0.66)	3.32 (0.65)	3.54 (0.82)	3.45 (0.47)	3.80 (0.38)	3.69 (0.65)	3.33 (0.53)
L _A	2.90 (0.54)	2.82 (0.51)	2.88 (0.78)	2.60 (0.54)	3.19 (0.43)	2.99 (0.54)	2.84 (0.57)
<i>U</i>	30.000	36.000	32.000	36.000	36.000	36.000	31.500
<i>p</i>	.065	.002	.026	.002	.002	.002	.026

表8：H_A組與L_A組在四次論證寫作七向度得分之無母數檢定分析

啟發式寫作		寫作一		寫作二		寫作三		寫作四	
論證向度		<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>p</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>p</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>p</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>p</i>
問題	H _A	2.70 (0.11)	.065	3.40 (0.34)	.485	3.50 (0.80)	.093	3.18 (0.87)	1.000
	L _A	2.43 (0.29)		3.07 (0.59)		2.65 (0.27)		3.43 (0.37)	
主張	H _A	3.31 (0.09)	.004	3.59 (0.09)	.669	3.23 (1.03)	.093	3.17 (0.87)	.132
	L _A	2.95 (0.23)		3.46 (0.30)		2.36 (0.25)		2.52 (0.33)	
問題—主張	H _A	3.73 (0.53)	.485	3.65 (0.55)	.026	3.10 (1.15)	.485	3.69 (0.94)	.180
	L _A	3.42 (0.81)		2.67 (0.58)		2.56 (0.74)		2.88 (0.84)	
證據	H _A	3.43 (0.43)	.041	3.50 (0.17)	.026	3.51 (0.73)	.009	3.36 (0.49)	.026
	L _A	2.75 (0.50)		2.57 (0.71)		2.40 (0.49)		2.69 (0.49)	
主張—證據	H _A	3.80 (0.22)	.004	3.85 (0.15)	.009	3.72 (0.70)	.065	3.82 (0.33)	.065
	L _A	3.13 (0.33)		3.10 (0.56)		3.22 (0.21)		3.30 (0.60)	
比較	H _A	4.17 (0.68)	.041	3.33 (0.33)	.026	3.45 (0.87)	.310	3.81 (0.34)	.015
	L _A	3.33 (0.45)		2.78 (0.31)		2.92 (0.76)		2.94 (0.50)	
反思	H _A	3.46 (0.59)	.026	3.24 (0.64)	.699	3.53 (0.59)	.026	3.10 (0.25)	.240
	L _A	3.06 (0.21)		3.00 (0.24)		2.46 (0.77)		2.85 (0.70)	

以「問題」為例，量化結果雖顯示H_A、L_A組學生提問表現無顯著差異，然問題評分細項得分百分比分布顯示二群學生於不同探究單元的表現仍有不同，如圖1(A)，以寫作三最為明顯，H_A組平均得分為3.5分，L_A組僅2.65分，相較於L_A組以提出等級為2分之封閉表面問題為主(L_A: 83.33%)，約66.67%的H_A學生能提出較開放的核心問題(得4分)，可測試問題之比例達83.33%，例如：「漆氧化酶是否只能催化一種受質？——S2」；L_A學生之提問：「如何測定漆氧化酶會不會催化其他化合物？——S10」則不易聚焦變因以進行試驗。

「主張」部分，H_A組僅寫作一顯著高於L_A組。質性資料如圖1(B)所示，H_A組的主張均是源自其對實驗觀察或數據的解釋(得4分為100%)，L_A組學生則解釋較少(得4分僅33.33%)，近七成屬無效、不健全的主張，如：「我主張在pH4、70°C、0.8 ml酵素濃度和0.6 ml酵素濃度下，為其最佳條件——S11」，論述之單位誤用或缺乏單位，以致數字意義不明。不過，二組學生在寫作二得分均有進步，L_A組更提升至3.46分(如表8)，主因為學生主張的整體陳述較完整(等級3有83.33%)，理論性主張的比例也與H_A組相

圖1： H_A 組與 L_A 組於四次論證寫作之各向度評分細項百分比。

註：(A)問題向度；Q-1問題開放性、Q-2問題可測性、Q-3問題與實驗切合度、Q-4問題意義與顯著性、Q-5問題整體品質。(B)主張向度；C-1主張根據、C-2主張於實驗掌握度、C-3主張意義性、C-4主張有效性、C-5主張整體品質、C-6主張表面或理論性、C-7主張含科學概念性名詞多寡。(C)證據向度；E-1證據強度、E-2證據有效性、E-3證據可靠性、E-4證據充分性、E-5證據解釋度、E-6證據連貫性。1-5為論證等級，灰階程度表示得分人數(以百分比計)。

當。然不若 H_A 組表現穩定， L_A 組學生於寫作三之得分顯著低於實驗二($p = .010$)。

「證據」方面， H_A 組四次論證寫作提出的「證據」均優於 L_A 組，如表8、圖1(C)。寫作一、二中， H_A 組學生都能提出有力、準確、可靠的證據(得4分有83.33%)， L_A 組卻僅

三成，且證據強度中等偏弱(66.67%)，準確有效性也較低； H_A 組較能以有限的數據解釋來形塑證據，寫作二4等級的比例達100%， L_A 組學生則否。寫作三中，仍有一定比例(33.33%)的 H_A 組學生能根據實驗邏輯、具體至抽象來建構證據(4等級)，而 L_A 組學生的證

據則較缺乏連貫性。寫作四中， H_A 組學生能提出充分證據(4等級)的比例(100%)遠超過 L_A 組(16.67%)。整言之，證據強度、有效可靠與充分性、證據間的連貫性與建構、對證據的解釋說明等， L_A 組學生普遍較難掌握。

4. H_A 、 L_A 組學生四次論證寫作之組內進退表現分析

以相關樣本弗里曼(Friedmen)雙向等級變異分析，瞭解 H_A 、 L_A 組四次寫作之進退表現。結果顯示 H_A 組學生四次寫作之七個論證向度表現穩定， L_A 組學生在「問題」與「主張」向度有差異，寫作四提問表現顯著優於寫作一($p = .022$)，然「主張」向度，相較於寫作二，寫作三、四之主張得分較低($p = .010, p = .010$)，其餘向度表現未達顯著。

就質性觀點而言，相較於寫作一以表面問題為主， L_A 組學生已有半數能在寫作四提出開放性較高的核心問題，可測試問題比例也提升，如圖1(A)。然「主張」向度，如圖1(B)，學生於寫作三的主張僅源自觀察的描述(得3分，100%)，而沒有任何解釋，主張之有效性、健全性也降低；此外，在寫作二中有83.33% L_A 組學生能提出理論性主張(4等級)，如「產物量由受質量控制，反應最大速率由酵素量控制——S8」，然於寫作三則多屬等級2的表面主張(83.33%)，如「所有的待測受質都可以和漆氧化酶發生反應——S8」。

(二)不同論證表現學生之酵素概念理解表現差異

以Mann-Whitney無母數檢定比較 H_A 、 L_A 組學生於酵素概念成就測驗後測之概念理解表現，如表9所示，隨探究單元之科學概念難度提升，分數有些許下降，然 H_A 、 L_A 組學生得分無顯著差異，顯示二群學生之酵素概念理解程度相當。

綜合四次寫作的整體差異， H_A 組學生在不同探究單元的表現穩定， L_A 組與 H_A 組於起始的論證寫作表現差異較大， L_A 組表現穩定度不若 H_A 組。在概念理解方面， L_A 組學生表現與 H_A 組相當。整體而言，在本課程中，學生藉多次實驗探究、成果分享、對話思辨與論證寫作練習，更能掌握科學實作而發展對科學概念的真正理解。

三、酵素科學探究與實作課程之預測整體論證寫作表現的最佳指標

為瞭解論證寫作之七大評分向度中能預測論證表現的關鍵向度，將18位學生四次論證寫作進行逐步迴歸分析，各次寫作之預測向度與 R^2 改變量(ΔR^2)如表10所示。在寫作一中，七大評分向度均進入本預測模式，然以「主張—證據關係」為預測論證寫作表現的最佳指標，預測量近七成；寫作二雖僅「主張—證據關係」、「問題—主張關係」、「反思」及「證據」等向度進入本預測模

表9： H_A 組與 L_A 組酵素概念理解表現之無母數檢定分析

探究單元	單元一	單元二	單元三	單元四	總測驗
理解表現	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$
H_A	80.33 (15.67)	81.67 (11.69)	74.67 (21.86)	72.67 (20.38)	309.33 (42.02)
L_A	87.00 (06.03)	83.33 (13.66)	71.33 (19.34)	68.33 (18.69)	310.00 (31.37)
U	13.500	18.000	19.000	21.500	17.000
p	.485	1.000	1.000	.589	.937

表10：預測論證表現之論證評分各向度迴歸分析

啟發式寫作	寫作一	寫作二	寫作三	寫作四	整體寫作
投入預測向度的順序	向度(ΔR^2)	向度(ΔR^2)	向度(ΔR^2)	向度(ΔR^2)	向度(ΔR^2)
1	CE (.692)	CE (.727)	C (.788)	E (.631)	E (.782)
2	QC (.139)	QC (.180)	E (.106)	QC (.202)	QC (.134)
3	R (.118)	R (.036)	QC (.054)	C (.064)	R (.047)
4	COM (.018)	E (.018)		Q (.041)	Q (.021)
5	E (.021)			CE (.037)	C (.008)
6	Q (.008)			R (.012)	
7	C (.004)			COM (.013)	
Optimum R^2	1.000	0.961	0.948	1.000	0.992

註：Q：questions(問題)；C：claims(主張)；QC：questions-claims relationship(問題—主張關係)；CE：claimsevidence relationship(主張—證據關係)；E：evidence(證據)；COM：compare(閱讀與比較)；R：reflection(反思)。

式，不過亦是以「主張—證據關係」為預測論證總得分之關鍵向度，預測量則逾七成二；在寫作三中，進入本預測模式的候選向度有「主張」、「證據」及「問題—主張關係」，其中關鍵向度「主張」有近八成的預測量；寫作四與寫作一相同，七大評分向度均進入此預測模式，然寫作四之預測最佳向度為「證據」，預測量約六成三；在整體寫作的預測方面，「證據」、「問題—主張關係」、「反思」、「問題」及「主張」等向度進入本預測模式，且以「證據」為預測論證表現的關鍵向度，預測量亦高達七成八。

伍、討論

協助學生進行科學探究，自實作中獲得科學知識與技能，培養其自發的實務參與、互動協商之核心素養是重要科學教育目標(教育部，2016; National Research Council, 2011)。本科學探究與實作課程發展從國人日常生活接觸的議題出發，根據十二年國教自然領綱(草案)強調的學習內容來規劃四大探究單元，讓學生在實驗室的科學探究與實作中發展其「科學探究能力」，以SWH探究教學

法引導學生藉論證寫作來瞭解科學知識產生的方式，培養其科學思考的「科學態度與本質」，並習得科學知識的「核心概念」，是為科學核心素養的實踐(教育部，2016)，符應十二年國教總綱之科學教育目標(教育部，2014)。而根據三項待答問題之研究結果分別討論如下。

一、酵素科學探究實作課程與學生科學核心知識及論證能力的發展

本課程提供學生蘊含探究本質的實作活動、跨科學習素材、多元統整的學習經驗，以科學論證為主要探究結果來探討學生在本課程的學習表現。研究顯示，學生對酵素概念的理解有顯著提升，且都能如期完成探究實驗與論證寫作任務。雖然多數學生之前無科學論證寫作經驗，然18位學生四次論證寫作總分(21.69 ~ 22.56分)達優良論證寫作標準，顯示透過本課程，學生能在實驗室的科學探究中，藉由實作經驗、探究結果來建構基於證據的科學論證。

論證是重要學習表現之一(教育部，2016)，本課程能引導學生藉科學探究與論證

實作來發展核心知識的理解。然而不同探究任務對學生各論證向度發展可能有不同的影響，顯示考量實驗任務、學生論證能力之個別差異，以針對論證歷程進行更細緻評量的必要性。

本研究參考Choi等(2010)的評分架構，編修寫作論證評分表，且改採勾選法就各向度之次向度評選，加權等級後再以平均為該向度得分，能更全面的呈現科學論證的多元樣貌。本研究藉比較探究任務之各論證向度得分，來釐清實驗任務對學生論證歷程可能的影響，亦透過寫作總分區別論證能力，以更細緻方式(各次向度之得分等級、該等級得分人數百分比等)比較、呈現 H_A 、 L_A 組學生於不同探究任務之論證表現差異(圖1)，進而討論差異成因。

李明昆與洪振方(2010)研究發現，我國九年級生形成科學問題的能力不足，而探究經驗影響學生的研究問題品質(Hofstein, Navon, Kipnis, & Mamlok-Naaman, 2005)，Hung等(2014)更指出，探究經驗是學生研究問題進步關鍵。本課程提供學生練習形成研究問題的機會，故18位學生於論證寫作二、三、四之「問題」表現顯著優於寫作一。然而，不若 H_A 組表現穩定， L_A 組學生寫作三提問得分下滑(表8)，推測可能是對「酵素專一性」概念理解不足，加上無相關實驗經驗，而影響其問題的品質。然而，學生若有足夠的時間來熟悉學習素材，其提問能力應能逐步提升(Hung et al.)，是以在時間加倍的單元四中， L_A 組學生因有充分時間建立相關陳述性及程序性知識(Séré, 2002)，以致「問題」得分顯著進步。

對探究任務深度討論是學生認知投入與科學論證建構的關鍵(Kind et al., 2011)。以「主張」為例，在本課程「實驗討論」階

段，學生藉問題引導，與同儕討論數據變化趨勢，理解結果與科學概念之關聯，如附錄一圖(D)。18位學生寫作一之「主張」表現中等，主要是 L_A 組學生撰寫健全主張有待加強；學生寫作二之「主張」表現顯著優於寫作一，大幅進步反映在 L_A 組(表8)，顯示本課程提供的數據分析經驗能提升學生定義主張的能力(Berland & Reiser, 2009)，而「實驗討論」的結果分享及理論探討，則能協助學生發展合理性主張。不過， L_A 組學生為既有概念所困或實驗掌握不足可能是其寫作三、四之「主張」表現退步主因。以單元三為例， L_A 組學生過去認知單一受質的專一性概念無法解釋各組不同結果，故就直觀數據提出表面主張； H_A 組學生藉不一致結果的討論，深度思考化合物與酵素關係，歸納出「酵素不一定僅能催化一種受質，而是有特定的受質範圍——S2」之理論性主張。「證據」方面，學生能藉探究過程蒐集數據，於「實驗討論」之科學概念的探討來建構數據的解釋，並在「綜合討論」比較、整合各組實驗結果與想法，刺激學生藉數據評估、辯論以形塑證據(Kind et al.)。然而，18位學生四次寫作之「證據」表現中等且無差異(表4)，與前人(Walker & Sampson, 2013)研究相近。但是，本研究發現「證據」向度的個別差異最大，二組學生表現落差竟高達一分(表8)，可能是部分學生(L_A 組)對於「什麼才算證據？」缺乏理解(Kelly & Takao, 2002; McNeill & Krajcik, 2007)。在寫作四中， L_A 組學生之「證據」與「主張」向度表現均有提升，顯示學生需足夠時間進行實驗、強化討論與反思，方能建構高品質的科學論證，確保科學探究與實作課程的學習成效(Katchevich et al., 2013)。

二、預測整體論證寫作之指標向度與探究任務及學生先備知識的關係

根據前人研究(Choi et al., 2010; Choi et al., 2013)，各論證向度中，多以「主張—證據關係」、「證據」為預測論證寫作品質的向度，然不同探究任務卻有差異，顯示最佳論證預測向度與探究任務之間存在關聯。Choi (2012)研究中，第一年普通化學十個實驗的概念複雜度高(平均6.25)，「證據」為七個實驗的預測向度。第二年十二個實驗活動之概念複雜度約5.17分，「主張—證據關係」為主要預測向度，然表現較差的實驗仍是「證據」為預測向度。此外，Choi等(2010)認為對年輕學生(五年級)而言，「主張」是預測向度，或許是因為發展論證的起始階段，學生多關注於實驗結論至「主張」的形塑。然探究任務仍具影響，實驗一以「主張—證據關係」為五年級學生論證品質之預測向度，稍複雜的實驗三、四則為「主張」。

本研究以酵素主題探討不同科學概念難度、探究任務與論證預測向度的關係。單元一的核心概念於中學課程著墨甚多，多數學生都有相關食譜式實驗經驗。單元二為單元一的延伸，化學反應平衡與反應速率亦是理化、高中化學課程強調的科學概念，比色計操作簡易，且搭配LabQuest2視覺化表徵結果，故部分學生(H_A組)得以將數據連結科學原理，以轉化為證據來合理支持主張，L_A組學生則否，故以「主張—證據關係」為論證寫作品質之預測(表10)。單元三之核心概念為「酵素專一性」，中學階段無相關實驗課程且探究難度高，學生需以不同檢測法針對七種未知化合物篩選、確認，終以結構相近之數種受質來挑戰既存之單一受質的迷思、探討「酵素專一性」的意義，是以「主張」

品質為整體論證之關鍵。單元四之概念為酵素胺基酸組成、金屬離子親和性與色層分析法，學生均無先備知識與相關實驗經驗，加上管柱與電泳原理複雜、操作繁瑣而挑戰性高，H_A組學生僅能自結果中判別可靠、有效證據(L_A組學生則否)，但「主張—證據關係」向度表現與L_A組學生相近，故以「證據」為預測向度。

綜言之，以有效證據合理解釋其主張屬較高的認知歷程(Choi et al., 2010)。因此，若整體探究任務開放程度低、實驗素材與儀器操作簡易，學生持相關實驗經驗，論證品質以「主張—證據關係」為預測向度。倘若任務開放程度高，學生對主題或實驗任務難掌握，可能傾向以「主張」至「證據」為預測向度。

三、科學探究與實作課程的逆向設計與實施SWH對學生學習的影響

科學探究與實作課程的效能由學生是否達成期望的學習結果而決定，逆向課程設計讓教師以評量者的思維，選擇適當的學習證據以規劃相應的學習經驗(Wiggins & McTighe, 2005)。因此，「什麼是我們所期望的學習結果？」即是教師首要考量的問題(Osborne, 2014; Wiggins & McTighe)，本課程的主要課程開發與教學者有二位(第一作者與第二作者)，課程開發之初，彼此所欲關注的課程目標與學生的學習表現有些許不同，實驗開發教授側重實驗室工作，而中學教師則是期望在科學探究的歷程中，學生有更多元的實作(如論證、寫作)機會，是以十二年國教自然領綱草案的引導、課程設計理念的協商是催化本科科學探究與實作課程的關鍵。再者，逆向設計可能面臨的另一個問題是「教

師如何直接在科學探究的歷程中檢視學生的表現能否達成學習目標？」本研究搭配基於論證的探究教學法SWH而發展的「酵素概念暨科學論證寫作簿」，包含探究活動單元件與SWH元件，教師能根據學生的撰寫紀錄即時檢視學生的理解與實作進度，以確保學生探究實驗活動、論證及寫作等學習表現與期望的學習結果相應(Sanders et al., 2016)。

在課程實施方面，為了協助學生掌握科學實作的同時發展學科概念的理解，本研究以基於論證的探究教學法SWH引導學生進行發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等探究學習。學生都能如期完成探究實驗與論證寫作任務，然而其論證表現卻存在顯著的個別差異。學者指出科學課室中SWH探究教學法實施的品質(對話互動、聚焦學習等)影響學生的學習表現，且對低成就生的學習促進較為顯著(Akkus, Gunel, & Hand, 2007)，而在實驗室科學探究的小組學習中，同一位教師與每位同學的互動程度不同，教師的提問對不同學生的引導效應也不一定同質(Yesildag-Hasancebl & Kingir, 2012)，可能因而導致論證表現差異。此外，對話協商是SWH探究教學法實施的重要面向，探究實驗內容的討論與全班性的論證對話有助於論證寫作品質的提升(Chen et al., 2016)，然而本課程中礙於時間考量，在「實驗討論」與「綜合討論」階段採自願方式鼓勵學生主動發表其想法，並非所有學生都有等量的機會或意願參與論證對話，可能亦是部分L_A組學生論證表現不如預期之因。

陸、結論與建議

綜合研究結果，研究者提出以下結論與建議。

一、酵素科學探究與實作課程能發展學生科學核心知識與論證能力

本研究中，18位學生四次論證寫作表現良好，且經由本科科學探究與實作課程後，學生對酵素核心概念的掌握提升到八至七成，顯示輔以SWH確實能協助學生進行科學探究實作的同時亦促進其科學概念的深度理解。

二、不同論證表現學生於不同探究任務之論證寫作品質及各論證向度表現有差異

在本科學探究與實作課程中，H_A組學生於四次論證寫作的整體品質與各論證向度表現優於L_A組學生，且在不同探究單元的表現相對穩定。L_A組學生表現雖不及H_A組，但「問題」、「主張」向度均有進步，且在酵素概念理解方面，L_A組學生表現也與H_A組相當。

三、預測學生整體論證寫作表現之最佳指標在不同任務中有差異

本課程之四大探究任務中，預測學生整體論證寫作表現的最佳指標有差異，論證寫作一、二以「主張—證據關係」為預測論證總得分的最佳指標，寫作三為「主張」向度，而寫作四與整體寫作品質的最佳指標向度則為「證據」。鑒於科學探究與實作課程中的科學論證多元而複雜，論證寫作品質的預測能協助教師在課程實施時聚焦於關鍵向度的引導，同時亦有助於提升科學論證的評量效率。

四、教學建議

本酵素科學探究與實作課程由簡至深且跨科整合的四大探究單元，能提供教師選擇

與運用，教師亦能參考本課程的設計架構，結合自身專長與學校資源來嘗試融入不同探究主題，於科學課室中落實科學探究與實作課程，而搭配本研究編修之勾選式論證評分表，教師能以更便捷的方式來直接評量學生的科學論證表現。此外，整合本研究結論二、三(H_A 、 L_A 組學生於不同探究任務之論證表現的結果與最佳預測指標的差異)可發現，科學探究與實作的團隊學習中，教師需慎選探究任務，並關注學生論證能力的差異。若教學目標為發展基於證據的主張，任務相關概念及資料蒐集法應以學生熟悉且簡易技術為主，對論證能力稍弱的學生需強化「實驗討論」、「綜合討論」與探究任務的整合；反之，若任務難度高，學生易聚焦於數據蒐集，此時教師則需提供 L_A 組學生「什麼算證據？」及「數據如何發展成證據？」的指導。再者，於全班性的論證前，教師也可以嘗試以二組為一單位來相互進行研究成果報告與討論，讓全體學生都有機會表達與分享想法，進而誘發學生產生更多批判性的對話；或於全班性的論證協商後，提供學生修改其論證寫作的機會，藉口頭論證與寫作論證的整合，以促進科學核心知識的建構與科學論證能力的發展(Chen et al., 2016)。

五、課程發展價值與未來研究方向

新課程的發展要因應當代需求並符應國家課程改革方向，PISA 2015的研究結果顯示，整合科學論證思考的科學探究與實作課程確實是我國當前必需的課程型態(余曉清、林煥祥，2017)，因此，本研究以逆向設計原則，根據十二年國教自然領綱(草案)的基本理念，考量科學學習內容、方法及評量等面向，並基於「自然科學探究與實作」課程的學習重點來發展酵素科學探究與實作課程(教育部，2016)。在科學學習內容方面，本課程

自學生生活經驗出發，以新舊課綱均強調的核心概念——酵素為探究主題；課程中運用SWH探究教學法來引導學生主動探索研究問題、自主規劃實驗設計而成為自發主動之學習者，並藉小組對話、實驗與綜合討論，鼓勵學生積極與他人互動、對實驗進行辯論，建構有效溝通及科學論證，以貫徹「探究與實作」之學習方法；最重要的是，本課程的學習評量秉持真實性評量之精神，以編修之論證評分表，直接評量學生於科學探究與實作中的論證表現，並分析高、低論證表現學生於不同探究單元、不同論證向度的個體差異，以利教師予以學生差異化及適性化的指導，最終達成十二年國教總綱強調的「自發、互動、共好」之課程理念。本課程之設計理念與具體實施方式，可提供有興趣發展「自然科學探究與實作」相關課程之教育工作者參考。

在未來研究之建議方面，研究者本身將配合任教個案學校之「自然科學探究與實作」領域必修課程發展，擬於上、下學期間實施本科科學探究與實作課程，增加參與學生數與研究樣本，並基於此課程架構再嘗試開發其他主題的探究單元，以提供教師更符合教學現場之課程發展與實施的建議。此外，本研究雖涉及學生自行設計實驗，但並未進行評分，因此也建議往後類似的課程實施中，可思考評估課程對學習者評量及設計科學探究之能力的幫助，及課程對學生科學情意面向(例如態度)之影響，以期實現培養國民科學素養的教育目標。

誌謝

本研究感謝科技部補助(MOST 106-2511-S-018-002)以及審查委員對本文寶貴的建議，特此誌謝。

參考文獻

1. 余曉清、林煥祥編(2017)。PISA 2015臺灣學生的表現。臺北市：心理。
2. 李明昆、洪振方(2010)。國三學生對探究性科學問題提問之研究。臺北市立教育大學學報，41(2)，111-148。
3. 何宗穎、王敏男、謝佩妤、郭幸宜、趙大衛、黃臺珠(2013)。大學普通生物學實驗課程應用探究鷹架自我評估策略對學生探究能力表現之影響。科學教育學刊，21(4)，401-429。
4. 林志能、陳玲君、洪振方(2010)。高一學生多變因因果推理與論證能力之相關研究。教育實踐與研究，23(2)，1-36。
5. 林宗進、林樹聲、陳映均(2010)。大學生對基因改造作物議題的認知與論證能力之研究。科學教育學刊，18(3)，229-252。
6. 林煥祥、洪振方、余曉清、李松濤、李暉、秦爾聰等(2016，12月)。PISA 2015。發表於第三十二屆科學教育國際研討會。臺中市：中華民國科學教育學會。
7. 邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學素養中的模型認知與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：106年8月21日，檢自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=14186>
8. 洪逸文、湯宜佩(2016)。高中特色課程的開發與實施：以論證課程為例。課程研究，11(1)，23-57。
9. 教育部(2009)。普通高級中學課程綱要。臺北市：作者。
10. 教育部(2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。臺北市：作者。
11. 教育部(2016)。十二年國民基本教育課程綱要：自然科學領域(草案)。臺北市：作者。
12. 蔡佩穎、張文華、林陳涌、張惠博(2013)。不同性別七年級學生論證科學新聞之學習效益。科學教育學刊，21(4)，455-481。
13. 蘇衍丞、林樹聲(2012)。在社會性科學議題情境下應用鷹架教學提升國小六年級學生論證能力。科學教育學刊，20(4)，343-366。
14. 顧炳宏、陳瓊森、溫燮純(2011)。從學生的表現與觀點探討引導發現式教學作為發展探究教學之折衷方案角色的成效——以密度概念為例。科學教育學刊，19(3)，257-282。
15. Akkus, R., Gunel, M., & Hand, B. (2007). Comparing an inquiry-based approach known as the science writing heuristic to traditional science teaching practices: Are there differences? *International Journal of Science Education*, 29(14), 1745-1765.
16. Backus, L. (2005). A year without procedures: Removing procedures from chemistry labs creates opportunities for student inquiry. *The Science Teacher*, 72(7), 54-58.
17. Berland, L. K., & Hammer, D. (2012). Framing for scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(1), 68-94.

18. Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
19. Cavagnetto, A., & Hand, B. (2012). The importance of embedding argument within science classrooms. In M. S. Khine (Ed.), *Perspectives on scientific argumentation* (pp. 39-53). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
20. Chen, Y.-C., Hand, B., & Park, S. (2016). Examining elementary students' development of oral and written argumentation practices through argument-based inquiry. *Science & Education*, 25(3-4), 277-320.
21. Chen, Y.-C., & Steenhoek, J. (2014). Arguing like a scientist: Engaging students in core scientific practices. *The American Biology Teacher*, 76(4), 231-237.
22. Choi, A. (2010). Argument structure in the science writing heuristic (SWH) approach. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30(3), 323-336.
23. Choi, A. (2012). Using the writing template provided by the science writing heuristic (SWH) approach for quality arguments. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(9), 1470-1488.
24. Choi, A., Hand, B., & Greenbowe, T. (2013). Students' written arguments in general chemistry laboratory investigations. *Research in Science Education*, 43(5), 1763-1783.
25. Choi, A., Notebaert, A., Diaz, J., & Hand, B. (2010). Examining arguments generated by year 5, 7, and 10 students in science classrooms. *Research in Science Education*, 40(2), 149-169.
26. Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
27. Ford, M. (2008). Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning. *Science Education*, 92(3), 404-423.
28. Grimberg, B. I., & Hand, B. (2009). Cognitive pathways: Analysis of students' written texts for science understanding. *International Journal of Science Education*, 31(4), 503-521.
29. Hand, B. M. (Ed.). (2007). *Science inquiry, argument and language: A case for the science writing heuristic*. Rotterdam, The Netherlands: Sense.
30. Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundation for the 21st century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
31. Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman R., (2005). Developing students' abilities to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791-806.
32. Hofstein, A., & Walberg, H. J. (1995). Instructional strategies. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (Eds.), *Improving science education* (pp. 70-89). Chicago, IL: National Society for the Study of Education.

33. Holliday, W. G., Yore, L. D., & Alvermann, D. E. (1994). The reading-science learning-writing connection: Breakthroughs, barriers and promises. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 877-893.
34. Hung, P.-H., Hwang, G.-J., Lee, Y.-H., Wu, T.-H., Vogel, B., Milrad, M., et al. (2014). A problem-based ubiquitous learning approach to improving the questioning abilities of elementary school students. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 316-334.
35. Jiménez-Aleixandre, M. (2008). Designing argumentation learning environments. In S. Erduran & M. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 91-115). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
36. Katchevich, D., Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2013). Argumentation in the chemistry laboratory: Inquiry and confirmatory experiments. *Research in Science Education*, 43(1), 317-345.
37. Kelly, G., Regev, J., & Prothero, W. (2008). Analysis of lines of reasoning in written argumentation. In S. Erduran & M. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 137-158). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
38. Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342.
39. Ketpichainarong, W., Panijpan, B., & Ruenwongsa, P. (2010). Enhanced learning of biotechnology students by an inquiry-based cellulase laboratory. *International Journal of Environmental and Science Education*, 5(2), 169-187.
40. Keys, C. W. (1999). Language as an indicator of meaning generation: An analysis of middle school students' written discourse about scientific investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 1044-1061.
41. Kind, P., Wilson, J., Hofstein, A., & Kind, V. (2010). *Stimulating peer argumentation in the school science laboratory: Exploring the effect of laboratory task formats*. Paper presented at the 2010 National Association for Research in Science Teaching Annual International Conference. Philadelphia, PA.
42. Kind, P. M., Kind, V., Hofstein, A., & Wilson, J. (2011). Peer argumentation in the school science laboratory—Exploring effects of task features. *International Journal of Science Education*, 33(18), 2577-2558.
43. Kipnis, M., & Hofstein, A. (2008). The inquiry laboratory as a source for development of meta-cognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 601-627.
44. Krajcik, J., McNeill, K. L., & Reiser, B. J. (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 92(1), 1-32.

45. Krajcik, J., Reiser, B. J., Sutherland, L. M., & Fortus, D. (2013). *Investigating and questioning our world through science and technology (IQWST)* (2nd ed.). Greenwich, CT: Active Science.
46. Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.
47. Lin, H.-S., Hong, Z.-R., Chen, C.-C., & Chou, C.-H. (2011). The effect of integrating aesthetic understanding in reflective inquiry activities. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1199-1217.
48. Lin, S.-S., & Mintzes, J. J. (2010). Learning argumentation skills through instruction in socio-scientific issues: The effect of ability level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(6), 993-1017.
49. Lord, T., & Orkwiszewski, T. (2006). Moving from didactic to inquiry-based instruction in a science laboratory. *The American Biology Teacher*, 68(6), 342-345.
50. McComas, W. (2005). Laboratory instruction in the service of science teaching and learning: reinventing and reinvigorating the laboratory experience. *Science Teacher*, 72(7), 24-29.
51. McElhinny, T. L., Dougherty, M. J., Bowling, B. V., & Libarkin, J. C. (2014). The status of genetics curriculum in higher education in the United States: Goals and assessment. *Science & Education*, 23(2), 445-464.
52. McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. In M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with data: The proceedings of the 33rd Carnegie symposium on cognition* (pp. 233-265). Mahwah, NJ: Erlbaum.
53. National Research Council. (2011). *A framework for K-12 science education: Practices, cross-cutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
54. Next Generation Science Standards Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.
55. Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
56. Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463-466.
57. Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
58. Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
59. Rivard, L. P. (2004). Are language-based activities in science effective for all students, including low achievers? *Science Education*, 88(3), 420-442.

60. Roth, K., & Garnier, H. (2006). What science teaching looks like: An international perspective. *Educational Leadership*, 64(4), 16-23.
61. Russ, R. S. (2014). Epistemology of science vs. epistemology for science. *Science Education*, 98(3), 388-396.
62. Russ, R. S., Coffey, J. E., Hammer, D., & Hutchison, P. (2009). Making classroom assessment more accountable to scientific reasoning: A case for attending to mechanistic thinking. *Science Education*, 93(5), 875-891.
63. Sampson, V., Enderle, P., Grooms, J., & Witte, S. (2013). Writing to learn by learning to write during the school science laboratory: Helping middle and high school students develop argumentative writing skills as they learn core ideas. *Science Education*, 97(5), 643-670.
64. Sanders, E. R., Moberg-Parker, J., Hirsch, A. M., Lee, P. Y., Shapiro, C., Toma, S., et al. (2016). Transforming laboratory education in the life sciences. *Microbe*, 11(2), 69-74.
65. Schiller, A. (2015). Understanding by design unit lesson plans for the next generation science standards: Life science. *Graduate Research Papers*, 73. Retrieved December 5, 2017, from <http://scholarworks.uni.edu/grp/73>
66. Séré, M.-G. (2002). Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education. *Science Education*, 86(5), 624-644.
67. Shapiro, C., Moberg-Parker, J., Toma, S., Ayon, C., Zimmerman, H., Roth-Johnson, E. A., et al. (2015). Comparing the impact of course-based and apprentice-based research experiences in a life science laboratory curriculum. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 16(2), 186-197.
68. Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Use in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420-428.
69. Tuan, H.-L., Chin, C.-C., Tsai, C.-C., & Cheng, S.-F. (2005). Investigating the effectiveness of inquiry instruction on the motivation of different learning styles students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 541-566.
70. Walker, J. P., & Sampson, V. (2013). Learning to argue and arguing to learn: Argument-driven inquiry as a way to help undergraduate chemistry students learn how to construct arguments and engage in argumentation during a laboratory course. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(5), 561-596.
71. Wallace, C. S., Hand, B., & Prain, V. (2004). *Writing and learning in the science classroom*. Boston, MA: Kluwer.
72. Watson, J. R., Swain, J. R. L., & McRobbie, C. (2004). Research report: Students' discussions in practical scientific inquiries. *International Journal of Science Education*, 26(1), 25-45.
73. Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Philadelphia, PA: Open University Press.

74. Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design* (2nd ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
75. Wood, W. B. (2009). Innovations in teaching undergraduate biology and why we need them. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 25, 93-112.
76. Yesildag-Hasancebi, F., & Kingir, S. (2012). Overview of obstacles in the implementation of the argumentation based science inquiry approach and pedagogical suggestions. *Mevlana International Journal of Education*, 2(3), 79-94.
77. Zeidler, D. L. (1997). The central role of fallacious thinking in science education. *Science Education*, 81(4), 483-496.

附錄

附錄一：酵素概念暨科學論證寫作簿之探究活動單與SWH元件圖

(a)

除環境因子外，有哪些因素也會影響酵素催化活性？這些因素與酵素催化的反應速率有什麼關係？

Discuss

反應物(底質)及酵素的濃度

酵素濃度對酵素的催化反應速度有什麼影響呢？

酵素濃度愈高，其催化的反應速率一定愈快嗎？

假設 在同一體積下，酵素濃度愈高，反應一定愈快。

受質濃度對酵素的催化反應速度有什麼影響呢？

受質濃度愈高，其催化速率一定愈快嗎？

假設 在同一體積下，受質濃度愈高，速度愈快。

I'm a scientist

實驗一、漆氧化酶催化反應的最佳條件

Beginning Ideas

我的問題是什麼？

什麼樣的狀況下能使漆氧化酶有最佳的反應活性效果？

(b)

探究活動一 酵素濃度對酵素反應速率的影響

Think

本實驗的「操縱變因」為：漆酶濃度，漆酶量與受質量有異
 本實驗的「控制變因」可能有：木酚的濃度、體積
 若有受 濃度 的影響則可能的結果「應變變因」是：顏色變化
 每分鐘可催化多少木酚的反應

實驗紀錄	試管編號	0	1	2	3	4
漆氧化酶最終濃度 (U/ml)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8
1 U/ml 漆氧化酶(體積 ml)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8
水(體積 ml)	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1
50 mM 受質(體積 ml)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

受質濃度

探究活動二 受質濃度對酵素催化反應的影響

Think

本實驗的「操縱變因」為：受質濃度及水量，即受質(木酚)濃度
 本實驗的「控制變因」可能有：漆酶濃度
 若有受 濃度 的影響則可能的結果「應變變因」是：顏色變化

實驗紀錄	試管編號	0	1	2	3	4
木酚	0	1	2	3	4	
木酚濃度	0	0.2	0.4	0.6	0.8 (mM)	
木酚體積	0	10	20	30	40 (mL)	
加水量	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1 (mL)	
漆酶量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1 (mL)	

Tests

我要怎麼做？我做了什麼？

實驗 1: pH 值
 利用不同 pH 值的 Buffer (檸檬酸、檸檬酸鈉、磷酸鹽、碳酸鹽) 混合出不同 pH 值的溶液，分別裝在 10 ml 的試管中，並加入 1 滴漆酶 (1 滴用水作對照組)。每個試管內加入 1.6 ml 的 Buffer (或水) 及 0.2 ml 的漆酶及 0.2 ml 的受質 (木酚)，將試管放在 30°C 水浴中，每隔 30 s 記錄一次，並寫下最佳 pH 值與反應速率貼上實驗照片。

實驗 2: 溫度
 將 0~5 的 6 個試管各加入 0.8 ml 的水、0.1 ml 的漆酶及 0.1 ml 的受質 (木酚)，除 0 號試管維持室溫 (30°C) 外，其餘試管放在加熱器上，使其溫度分別為 40°C、50°C、60°C、70°C、80°C，並每隔 30 s 記錄其變化，最後寫下最佳溫度及貼上實驗照片。

實驗 3: 酵素濃度
 將 0~4 的 5 個試管中的溶液體積相同，故將 0~4 的 5 個試管各加入 0 ml、0.2 ml、0.4 ml、0.6 ml、0.8 ml 的漆酶及 0.9 ml、0.7 ml、0.5 ml、0.3 ml、0.1 ml 的水，最後加入 10 ml 的受質 (木酚) 各 0.1 ml，每隔 30 s 記錄其變化，最後寫下最佳酵素濃度及貼上實驗照片。

實驗 4: 受質濃度
 將 0~4 的 5 個試管中各加入 0 ml、0.2 ml、0.4 ml、0.6 ml、0.8 ml 的受質 (木酚) 及 0.9 ml、0.7 ml、0.5 ml、0.3 ml、0.1 ml 的水，最後加入 0.1 ml 的漆酶，每隔 30 s 記錄一次，並寫下最佳受質濃度及貼上實驗照片。

W12

(c) 實驗結果

實驗結果 → 高麥可麗底

Time (min)	顏色深淺順序
試管() > 試管() > 試管() > 試管()	
0:30 min	3 > 4 > 2 > 1 > 0
1:00	3 > 4 > 2 > 1 > 0
1:30	4 = 3 > 2 > 1 > 0
> 2:00	4 = 3 > 2 > 1 > 0

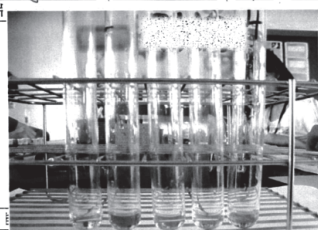
實驗結果照片



實驗結果

Time	0	1	2	3	4	
0:30 min	✓	2	3	4	1	4>1>2>3>0
1:00	✓	2	3	4	1	4>1>2>3>0
1:30	✓	2	3	4	1	4>1>3>2>0
2:00	✓	1	3	4	2	1>4>3>2>0

實驗結果照片



(d)

結論-本實驗最佳酵素濃度: 0.6 U/ml

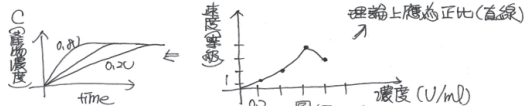
結論-本實驗最佳酵素濃度: 40 mM

實驗討論



在探究活動一探討酵素濃度與反應速度關係的實驗中，藉由顏色的變化可判斷哪一個酵素量的反應速度最慢？哪一個酵素量的反應速度最快？酵素量與反應速度之間呈現何種關係？當反應至顏色不再改變時，哪一管的顏色最深？哪一管的顏色最淺？反應共進行了多少時間？反應結束時的顏色深淺與反應速度有何關係？你認為為什麼會有這樣的關係？

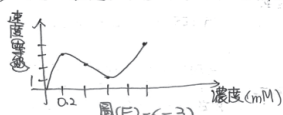
都添加等量的 0 號管最慢，加了 0.6 ml 的 3 號管最快；3 分鐘後顏色皆不再改變，顏色以 4、3 號管最深，0 號管無色。



圖(E2-6-1)

在探究活動二探討受質濃度與酵素催化反應的實驗中，藉由顏色的變化可判斷哪一個受質濃度的反應速度最慢？哪一個受質濃度的反應速度最快？受質濃度與反應速度之間呈現何種關係？當反應至顏色不再改變時，哪一管的顏色最深？哪一管的顏色最淺？反應共進行了多少時間？反應結束時的顏色深淺與反應速度有何關係？你認為為什麼會有這樣的關係？

都添加等量的 0 號管最慢，加了 0.8 ml 的 4 號管最快（但 3 分鐘後 1 號管顏色最深）；3 分鐘後顏色皆不再改變，0 號管無色。



圖(E2-6-2)

Observation

我看到什麼？

實驗 1: pH 值

由表 E1-4 中可知不同 pH 值的 $C_6H_8O_7$ 、 $Na_2C_6H_4O_7$ 、 Na_2HPO_4 及 NaH_2PO_4 作為緩衝劑混合液，各有不同的 pH 值，再由表 E1-5 的實驗結果可知，在酸性環境中 (pH=7~8) 時反應最慢，幾乎沒有變色；而在酸性環境下 (pH=3~4) 時反應最快，其中以 3 號管 (pH=3) 的速度最快。而由表 E1-5 的照片中可知最後 3、4 號管的顏色不深，其餘 1、2 號管顏色皆相同 (紅棕色)。

另外，由圖 E1-7-1 可知 3 號管 (pH=3) 的 pH 值皆為 3，但在 30s 時 mBT 的反應速度較快 (mBT 遇水變色，mBT 已有少許)，即緩衝劑 pH 值亦會影響其反應速度。

實驗 2: 溫度

由表 E1-6 中可知反應在 30°C 時最快，故參照圖 E1-7-2，在室溫下 (30°C) 反應最慢，80°C 時次之，其餘溫度下反應速度差不多。

實驗 3: 酵素濃度

由表 E2-4 中可知 5 個試管內由漆酶 (Laccase) 分別為 0.2 U/ml、0.4 U/ml、0.6 U/ml、0.8 U/ml，而反應速度以 3 號管 (0.6 U/ml) 最快，4 號管 (0.8 U/ml) 次之，都添加等量的 0 號管最慢。再由照片可知 3 min 後顏色以 3、4 號管最深，0 號管無色。

實驗 4: 受質濃度

由表 E2-5 中可知 5 個試管內的受質反應速度共為 1.1 > 1.2 > 3 > 2，在 1.30 時顏色以 4 > 1 > 3 > 2 > 0，由照片可知最後顏色最深的是 1 號管，所以反應速度以 1 號管最快，加了 0.8 ml 的 4 號管最快。

Claims

我的主張是什麼？

漆酶在 pH 值為 3、溫度為 60°C、酵素濃度為 0.6 U/ml、受質濃度為 40 mM 時的活性最佳。

Evidence

我是如何知道的？為什麼我會提出這樣的主張？

討論 (根據實驗結果)

在實驗 1 中由 0.1 M $C_6H_8O_7$ 5.9 ml 和 0.1 M $Na_2C_6H_4O_7$ 4.1 ml 混合而成的 mBT 緩衝液造成 pH=3 的環境，使其反應速度比 3 號管 (0.6 U/ml)、mBT、mBT、mBT、mBT 都慢，故我主張漆酶在 pH=3 時活性最大。

在實驗 2 中由加熱器加熱 1 min 的 60°C 的試管 3 的反應速度比 3 號管 0.1、1、2、4、5 都慢，所以我認為漆酶在 60°C 的環境下活性最大。

在實驗 3 中控制 (酵素濃度) 0.6 U/ml 的 3 號管的反應速度比 3 號管 0.1、1、2、4 都慢，因此我推測漆酶在 0.6 U/ml 時活性最大。

在實驗 4 中控制 (受質濃度) 40 mM 的 4 號管的反應速度比 4 號管 0.1、1、2、3 都慢，所以我主張漆酶在受質濃度為 40 mM 時活性最大。

(e)

綜合討論

酵素量與受質量都會影響漆氧化酶之催化活性嗎？
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

兩者的濃度(時應加水量)皆會影響催化活性,而各組實驗結果如下:

組別	受質濃度	反應速度
1	0.8	10
2	0.8	10
3	0.8	10
4	0.8	30
5	0.6	40
6	0.8	70

不同的原因:
1. 加入酵素的順序不同
2. 反應前水是否有攪拌
3. 受質濃度太高,消耗完水中的氧氣,使化合作用無從進行。(見實驗4)
4. 反應溫度太高,促進性的自由基過多,可能變成更大的自由基,顏色不但是紅棕色。

關於本實驗，我覺得.... (可描述任何疑問、分享任何收穫與心得)

有3個實驗的歷程,這次的實驗出乎意料的快呢!
可是我們的實驗結果跟老師預期的結果大相逕庭,甚至相反。要不是因為眼睛所能分辨的顏色有限,就是右邊瓶大家吞沉沉的了。

E2 7

Reading

我如何比較我的想法與其他的想法？

討論(比較他人研究)

在實驗1的結果討論中,大多數組別皆測得 pH=3 為最佳 pH 值,有些組別還細心地測得 pH=3.5 或 3.4,其實都差不多。在這個實驗,大家都得到了這個共識,即圖 E1-7-1 的結果。

在實驗2的結果討論中,所有組別的結果大抵分布在 50~70℃ 之間,可能是因為大家都等不及把溫度加熱,以低於測定的溫度並照一定的準確度,而我們的結果正好在正中間(60℃),覺得這應該算是準確的!

在實驗3的結果討論中,所有的組別測得的结果皆為 0.8%,只有我們的結果是 0.6%,不論論上的結果大相逕庭(參照圖 E2-6-1 與 E2-6-2),但這是因為加入酵素的順序與受質不同所致。

在實驗4的結果討論中,測得 10 mM 的組別最多,而測得 20 mM、30 mM 與 40 mM 的各有一組,而自我測得的数据(見圖 E2-6-3)還是太簡單了,簡直毫無道理可言。雖然不是實驗的注意目的,但我們把最慢的顏色變化時段下來,也知老師的編號值不同(見圖 E2-6-4),畢竟新久,老師提供了兩個可能原因:一是受質濃度太高,消耗完水中的氧,使作用無從進行;二是過度的自由基過多,可能合併成更大的自由基而無紅棕色的顯色物,所以觀察不到。

Reflection

我的想法如何的改變? 支樹的主張與新發現

呵呵,我想老師的實驗都比我們的實驗準確的多。
很慶幸在之前實驗課已有經驗,前2個實驗進行得很順利,後兩個卻不知道發生什麼事了。

第3個實驗,我們 6% 的結果一出來心裡就有底了,果然其結果差極大。其實以直覺判斷也知不可能是 6%,因為酵素不是反應物也不是生成物,你變不變,濃度自然也不變,而造成的影響「酵素濃度越高反應越快」是無庸置疑的,而且就算是抑制劑也應該「減緩反應速度」,怎麼也不會噴出一個中間的。

第4個實驗裡,最大的困難是:到底受質濃度會不會造成速度變化?因為受質是反應物,國中教過的知識是「反應物濃度越大,粒子碰撞機會增加,反應速率越快」。但我一直有一個疑問,如果同一個體積的反應物下,濃度越高,反應的粒子不就更多嗎?既然反應物增加,其餘條件都不變的話,反應時間不就變久,速度變慢嗎?而老師給我們的正確答案是「因為他測不準,反應速率就相同」,這令我更百思不得其解了,得繼續想。

W12 4

註：(a)腦力激盪、探究假設與問題；(b)實驗設計與試驗；(c)實驗結果與觀察；(d)實驗結論、討論與主張、證據；(e)綜合討論與閱讀比較、反思。

附錄二：啟發式科學寫作之論證評分表(主張評分標準)及S2之計分示例

S2主張	● 酵素不一定僅能催化一種受質，而是有特定的受質範圍	評分者一
7個次向度(次向度劃分數：7)	標準	等級
C-1主張根據	☐ 主張沒有基於任何數據或觀察	1
	☐ 主張可能不是源自於任何數據或觀察	2
	☐ 主張可能源自於其實驗觀察或數據	3
	☐ 主張是源自於其對實驗觀察或數據的解釋	4
	☒ 主張是源自、並基於其對實驗觀察與數據的解釋	5
C-2主張於實驗掌握度	☐ 主張無法掌握該實驗的要素與精隨	1
	☐ 主張可能無法掌握該實驗的要素與精隨	2
	☐ 主張可能可以掌握該實驗的要件	3
	☐ 主張可以掌握該實驗的要件	4
	☒ 主張能徹底掌握該實驗的要件	5
C-3主張意義性	☐ 主張是無意義的	1
	☐ 主張可能不顯著(不那麼有意義、重要、明確)和不充分	2
	☐ 主張可能是顯著(有意義、重要、明確)和充分的	3
	☒ 主張是顯著(有意義、重要、明確)和充分的	4
	☐ 主張非常顯著(有意義、重要、明確)與充足	5
C-4主張有效性	☐ 主張是無效的、不正確的	1
	☐ 主張可能是無效的、不健全的	2
	☐ 主張可能是有效的、健全的	3
	☐ 主張是有效的、健全的、正確的	4
	☒ 主張是非常有效的、健全的、正確的	5
C-5主張整體品質	☐ 主張品質很低	1
	☐ 主張可能是低品質的	2
	☐ 主張可能是高品質的	3
	☒ 主張是高品質的	4
	☐ 主張是非常高品質的	5
C-6主張表面或理論性	☐ 主張可能只是具體(表面)、基本的主張	1
	☐ 主張是具體(表面)、基本的主張	2
	☐ 主張可能是一般性、理論性的主張	3
	☐ 主張是一般性、理論性的主張	4
	☒ 主張是極具理論性的主張	5
C-7主張含科學概念性名詞多寡	☐ 主張不含科學描述之概念性名詞	1
	☐ 主張含一個科學描述之概念性名詞	2
	☐ 主張含二個科學描述之概念性名詞	3
	☒ 主張含三個科學描述之概念性名詞	4
	☐ 主張含三個以上科學描述之概念性名詞	5

$$\text{學生各論證向度之得分} = \frac{\text{次向度等級} \times \text{次數}}{\text{次向度劃分數}}$$

學生S2之「主張是顯著和充分的」、「主張是高品質的」、「主張含三個科學描述之概念性名詞」，三個次向度均屬第4等級，且該生之「主張是源自、並基於其對實驗觀察與數據的解釋」、「主張能徹底掌握該實驗的要件」、「主張是非常有效的、健全的、正確的」、「主張是極具理論性的主張」，此四次向度則屬第5等級，故此評分者之評分為(4等級 × 3次 + 5等級 × 4次) ÷ 7次向度 = 4.57分，如下：

$$\text{學生S2「主張」向度之得分} = \frac{4 \times 3 + 5 \times 4}{7} = 4.57$$

另一位評分者為4.29分，故該生「主張」的實際得分為4.57分與4.29之平均4.43分。

The Development, Implementation and Assessment of a Scientific Inquiry and Practice Curriculum: The Scientific Argumentation in the Laboratory

Pei-Shan Chang¹, Chi-Yung Lai² and Meichun Lydia Wen^{1,*}

¹Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

²Department of Biology, National Changhua University of Education

Abstract

The aims of this study were to develop a scientific inquiry and practice curriculum corresponding with core literacy, and to investigate students' conceptual learning and performance of scientific argumentation in laboratory contexts. Based on Grade 1–12 Curriculum Guidelines for Nature Science Discipline, we developed the curriculum, which included four inquiry enzyme experiments through Backward Design. The learning outcome we expected was that students could explore the construction of knowledge through practicing and understanding the importance of writing in the scientific community. Therefore, we employed the Science Writing Heuristic approach to guide students' scientific argumentation in the "Enzyme Concept & Scientific Argumentation Writing Journal." Achievement test and check-type argumentative writing evaluation sheets were adopted to evaluate the results. Step-wise multiple regression analyses were conducted to determine important argument components. The results indicated that 18 participants from a senior high school in Southern Taiwan did excellently on the conceptual achievement test ($p < .001$) and written argumentation, which suggested that this curriculum could help students develop their scientific concepts and scientific argumentation. However, there were distinct differences between individuals' argumentative performances. Compared to the stable performance across written argumentation of high argumentation performance group, the performance of low argumentation group was affected by the inquiry tasks. But overall, the "question," "claim" argument components and the concepts of enzyme were improved in low performance group. Furthermore, the predictive components of argumentative writing quality were "claim–evidence relationship," "claim," and "evidence." Taken as a whole, the "evidence" component was the most important predictor for overall argumentative writing. Last, we provided teaching and research suggestions according to our results.

Key words: Scientific Inquiry and Practice Curriculum, Science Writing, Scientific Argumentation

* Corresponding author: Meichun Lydia Wen, mlwen@cc.ncue.edu.tw