

以閱讀科學文本教學模式提升高中生科學能力之探究

鄭立婷¹ 曾郁然² 林煥祥³ 洪瑞兒^{4,*}

¹國立東華大學 教育與潛能開發學系

²國立中山大學 教育研究所

³國立中山大學 博雅教育中心

⁴高雄醫學大學 通識教育中心

摘要

本研究目的在探討閱讀科學文本的教學模式，引導高中學生從閱讀及探究科學文本的歷程中發現問題、設計實驗步驟，進而提升高中生的科學能力。本研究以便利取樣選取研究者所服務南部某社區型高中，35位來自不同社經地位家庭的高中一年級學生，實施六週次十二節「閱讀科學文本」課程。研究者於教學歷程中收集教師的教學內容、課室觀察紀錄、學生上課參與表現及學習單等，再以不斷比較分析法分析獲得的資料，藉以了解學生在閱讀科學文本時是如何從擷取訊息到以科學解釋現象的表現，並探討高中生在設計實驗中，較容易忽略的要素有哪些？而這些被忽略的要素，在同儕及教師提問後，是否能察覺並修正？本研究有四項主要發現：一、多數學生已具備從擷取訊息到解釋科學現象的能力；二、將文字轉換成圖像表徵與提出高層次問題的能力較為薄弱；三、在設計實驗步驟過程，除瞭解需要有「對照組」外，其他實驗要素學生較容易忽略，而多數學生經過同儕及教師提問後，已能察覺應注意而未注意的實驗設計要素；四、「重複實驗」是多數學生最容易忽略的實驗步驟。最後根據本研究結果，提出如何經由閱讀科學文本提升學生科學能力的建議。

關鍵詞：科學能力、評估與設計實驗、解釋科學現象、閱讀素養

壹、研究動機與目的

我國教育部於十二年國民基本教育課程綱要(以下簡稱108課綱)普通型高級中等學校中揭櫫「自然科學探究與實作」過程需要針對物質與生命世界培養學生發現問題、認識問題、問題解決及做出結論與表達溝通之能力。是以高中階段需延續國小至國中教育

階段的探究與實作，提供學生統整的學習經驗，強調跨學科間的整合，以綜合運用自然科學領域的跨科概念，進而成為具有科學素養並能理性積極參與公眾決策的未來公民，以達適性揚才的教育目標(教育部，2014)。由此可知，提升學生科學探究能力為科學教育的首要且當務之急。

*通訊作者：洪瑞兒，a3803429@gmail.com

(投稿日期：民國111年5月17日，修訂日期：民國111年8月26日，接受日期：民國111年8月26日)

2006年國際學生能力評量計畫(Programme for International Student Assessment, PISA)定義科學素養(scientific literacy)為：

個體可以運用科學知識來確認問題、獲取新知、解釋科學現象，對於一些和科學有關的議題能夠做出以證據為本的結論，此外，個體應該知道「科學」是一種人類知識與探究的形式，也需明白「科學」與「科技」影響我們的物質、知識以及文化環境。同時，作為一個具有反思能力的公民，更願意運用科學領域裡的知識來參與科學相關的議題。(Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2006)

因此，PISA 2015將科學能力細分為「解釋科學現象」、「評估及設計科學探究活動」及「解讀科學數據及舉證科學證據」。其中科學能力的「評估及設計科學探究活動」向度，乃期待學生能提出一種科學方法以探索特定的科學問題(OECD, 2017a)。然而許多研究指出，學生的評估及設計科學探究活動能力有待提升(余曉清、林煥祥，2017；Arnold et al., 2014; van Riesen et al., 2018)。

由於臺灣學生學習科學的主要場域為學校，學習科學閱讀的主要內容來自科學教科書或教師挑選的科學文本。陳瑞麟(2004)認為藉由閱讀科學文本，不僅能獲得科學理論知識，更能以科學家應有的態度和方法來檢視文本的品質，甚至進行科學理論的研究、分析或重建。例如：作者如何蒐集資料與分析資料？資料的真確性、推論的過程是否嚴謹、所獲得的證據是否足以支持結論、作者對於不同觀點的處理方式等都值得探究。意即透過閱讀科學文本，讀者能從文章內容的

思維脈絡，尋找可以探討的科學問題，或是重複驗證文章中的科學實驗，以考驗其再現性。換言之，科學教科書及提供學生閱讀之科學文本內容應能引導學生習得科學能力。然而，仰威融與林淑榜(2020)研究指出，國內現行的三個自然教科書版本(南一、康軒、翰林)在培養學生「評估與設計科學探究活動」和「解讀科學數據及舉證科學證據」能力的內容極為有限。因此，本研究規劃在教科書之外藉由科學教師引導學生閱讀科學文本以提升學生的「評估與設計科學探究活動」和「解讀科學數據及舉證科學證據」能力。

臺灣中小學現行科學教育與科學課鮮少有讓學生閱讀科學文本的教學，然而如何幫助學生從閱讀科學文本中提升科學素養是本研究首重的教學目標。相關研究(de Jong, 2006; Woolley et al, 2018)指出學生自行設計實驗常考慮不夠周到，會忽略重要條件或關注不重要的文本內容。根據羅廷瑛(2015)的研究發現，在閱讀科學文本的過程中，師生以口語互動的方式有助提升學生的科學素養；除此之外，邱美虹與林秀蓁(2004)研究也發現教師若能依據學生的回答來詢問更深入的問題，能促使學生進一步地思考與修正迷思概念；李暉與郭重吉(2000)及Bossér與Lindahl (2019)研究都發現學生除了透過師生對話之外，亦能從與同儕的互動或是教師與其他同儕的互動中重新建構自己對科學的理解。因此本研究聚焦在探討科學教師在引導學生閱讀科學文本的同時，是如何透過師生與同儕對話以提升學生之科學能力？

綜合上述，研究者認為若能從閱讀科學文本及師生與同儕互動的過程，引導學生閱讀科學文本並學習如何重建科學家探究實驗的歷程，將有助提升學生在「評估與設計科學探究活動」的科學能力。因此本研究透過科學文本

的閱讀，引導高中學生從閱讀科學文本中發現問題、設計實驗，進而探討其學習成效。本研究採用PISA 2015閱讀素養的三項能力來評量社區高中學生閱讀科學文本能力，從擷取訊息到形成全面瞭解進而發展詮釋(OECD, 2017b)，仍舊需要結合個人所具備的科學知識才能省思自己對一個科學現象的理解。藉由分析教師的教學內容、課室觀察紀錄、學生上課參與表現及每週撰寫的學習單，來瞭解學生是如何從擷取訊息到「解釋科學現象」的層次。本研究待答問題如下述：

- 一、透過科學文本閱讀教學，學生從擷取訊息到解釋科學現象的表現為何？
- 二、實驗設計中，學生容易忽略的要素有哪些？
- 三、經過同儕及教師提問後，學生能察覺並修正的要素為何？

貳、文獻探討

一、探究教學與科學閱讀素養內涵和相關研究

National Research Council (NRC, 1996, p. 23)針對探究做出以下的闡述，認為「探究是一種具多面向的活動，其中包含進行觀察、界定問題、驗證書本以及其他的資訊來源，瞭解已知的知識、計畫進行探索活動、重複察看實驗得來的證據，使用工具進行蒐集與分析，以及對資料進行詮釋並提出結果」。NRC (2000)進一步提出探究教學的五項基本特徵：(一)學習者圍繞科學性問題展開探究活動；(二)學習者蒐集可以解釋和評價科學性問題的證據；(三)學習者要根據事實證據形成解釋，對科學性問題做出回答；(四)學生會使用容易瞭解的說明，來判斷自己的結論是否正確；(五)學生提出的解釋能與其他學生相互溝

通並經得起論證(佘曉清、林煥祥，2017)。近三十年來聚焦於探究教學提升學生科學能力的研究甚多，例如：Abd-El-Khalick等(2004)提出，科學探究是一種能幫助學生發展科學概念的教學方法及過程，有助於提升學生對科學的理解。

除此之外，「閱讀」是現代公民所需要具備的重要能力，培養臺灣學生的閱讀素養是國家政策的重點(佘曉清、林煥祥，2017)，而「科學閱讀」則是經由閱讀的方法來學習科學(黃茂在等，2012)。根據PISA 2018閱讀評量架構與歷程包含：定位訊息(locating information)、理解(understanding)及評鑑與省思(evaluating and reflecting) (OECD, 2019)。NRC (2012)也主張學生要豐富科學與自然世界的相關知識，就必須多閱讀科學文本才能達成。

對科學學習來說，從閱讀中獲得科學資訊更是不容忽視的途徑。陳瑞麟(2004)指出，科學家將他們的知識系統透過期刊、書籍或教科書的形式表達出來，都會透露出與科學相關的有用訊息。是以閱讀科學文本，可以理解科學家們是如何從科學探究活動中建構出科學新知，也是培養科學能力的方式之一。由於科學文本大多以說明文呈現且有許多專業的科學詞彙(Wellington & Osborne, 2001)，使得科學教師在教學的過程中不僅需要幫助學生調適科學文本文體的轉換，更需要教導學生理解科學語言。面對此種情況也有科學教師企圖運用不同的教學方式改變過去使用科學文本的侷限，例如：鄭可萱與李松濤(2018)以「科學新聞SPHERE提問模式」的閱讀策略研究，也發現能顯著提升實驗組學生的科學素養表現，包括「解釋科學現象」及「科學地解釋數據與證據」等能力，但對於實驗設計題的能力並未達顯著。因

此，本研究試圖探討高中生學習科學除了透過探究實驗實作外，再增加閱讀科學文本以提升學生的科學能力。

二、評估與設計實驗的重要元素

能設計出一組嚴謹的實驗，極為重要的因素是選擇和操作變因，這些變因會對實驗結果產生影響(van Riesen et al., 2018)。為了進行有效而可靠的實驗，學生需要考慮應變變因(dependent variable)、操作變因(independent variable)和干擾變因(confounding variables)(Arnold et al., 2014; Temiz et al., 2006)及規劃對照組和驗證重複性(Lin & Lehman, 1999)。進行實驗時，學生必須操縱操作變因，觀察或測量應變變因。此外，為了確保所測量的結果完全來自操作變因的影響，學生還須考慮干擾變因並控制且保持恆定，也就是控制變因(control variable)。對學生而言，要理解任何不受控制的變因會影響實驗結果是很重要的，因為有可能會導致無法觀察到歸因於特定變因的效果(van Riesen et al.)。除此之外，學生還需要考慮重複實驗以驗證實驗結果，包括考慮樣本量、考慮對多個對象重複同一實驗以獲取代表性數據並提高可靠性(Arnold et al.)。然而，由於缺乏對實驗設計要素的控制，使得許多學生難以進行內容豐富的實驗設計。他們通常傾向於設計與研究和問題無關的實驗、或設計不嚴謹的實驗而干擾所得出的結果。常見的錯誤包括使用與研究問題無關的變因、忽略相關變因、同時更改不只一項變因或是不考慮控制變因(de Jong, 2006)。Arnold等分析16 ~ 19歲學生在設計實驗中遇到的困難，發現75%的學生沒有考慮控制變因。余曉清與林煥祥(2017)研究指出臺灣學生於2015年PISA評比之科學素養平均表現國際排名第四，但在「評估與設計科學探究活動」向度的排名下降至第七，且得分低於

「解釋科學現象」及「科學地解釋數據與證據」此兩項科學能力，由此可知高中學生在評估與設計科學探究活動的能力亟待提升。

在臺灣中小學科學教室中，教師較不願意進行科學探究課程、可能的原因是評量學生學習成效較為困難(Crujeiras-Pérez & Jiménez-Aleixandre, 2017; Sevian & Talanquer, 2014)。此外，Criswell (2012)比較傳統的教學策略與探究式教學策略發現，探究教學策略可能會降低學生對於科學概念的理解。Cheung (2011)也提及教師因為班級內人數較多、授課時數不足及學生需要準備升學考試等限制，導致教師在課室中實施科學探究意願較低。除此之外，若學生的實驗設計中沒有將控制變因確實掌控，則實驗結果常產生瑕疵(例如：操作變因與應變變因間出現不明顯的差異、干擾變因過多導致實驗結果失真或操作變因與應變變因間存在過少的關聯)。且多數學生設計實驗的過程中，常因為實驗設計的步驟較為抽象或是實驗設計規模過於龐大，在操作實驗時容易造成時間和實驗物品的浪費。

三、師生互動與同儕互動對於學生學習的影響

過往研究指出師生間互動對於學生學習成效有正向的影響(Chi et al., 2001)，Howe等(2007)指出科學探究課程中，教師的角色除了培養學生傾聽、提出問題、解釋與達成共識的能力之外，更能夠透過師生互動使學生能夠模仿這些行為進而提升科學成效。Arvidsson與Kuhn (2021)指出學生在進行探究的過程，教師提供的互動介入會引起學生反思其探究策略。問題導向(problem-based)的科學探究過程中，教師與學生的互動能讓學生產出的問題更具有結構化(Reilly et al., 2019)。Gillies (2019)研究亦指出師生間互動

(例如：教師的提示與挑戰)在科學探究課程現場，能讓學生運用論證技巧來強化對於自己的立場或觀點；而學生也受益於師生互動的影響，將習得的論證能力轉移到不同的環境與任務中。Boardman等(2018)研究指出閱讀課程中，教師提供的策略與指導不僅不會抑制學生的討論與參與，甚至能為學生產出更多有意義的論述。

許多研究證實在科學學習的過程中，同儕互動會帶來的正面成效(Bedford & Legg, 2007; Galloway & Burns, 2015; Topping, 1998)；透過同儕的溝通與合作，學生的批判性思考、創造力與解題的能力都有明顯的提升(Hwang et al., 2018)。而在同儕的互動中，大學生藉由相互討論科學文本其溝通表達能力會顯著提升(Deng et al., 2019)。此外，同儕間互動的過程，學生的世界觀、文化理解與語言表達都會增進，是以在相互回饋時能做更深度的討論(Seng & Hill, 2014)。因此，本研究聚焦在探討高中生在閱讀科學文本時，經由師生間及同儕間不斷的互動與討論，教師適時提供即時回饋給學生，學生間相互腦力激盪所帶來的衝擊與效益。

綜合上述文獻可知，透過閱讀、提問以提升學生科學能力的教學已經逐漸受到重視

(Hwang et al., 2018)，然而，鮮少研究深入探討學生在閱讀科學文本後產生的科學問題，評估與分析同儕產出的實驗研究設計，究竟是如何同時提升閱讀素養與科學素養，及如何引導學生如科學家般地進行科學探究的歷程。本研究詳細闡述兩項素養間是如何進行交流與聯結，以及教師在引導學生閱讀科學文本，是如何鼓勵學生提出科學問題，再透過同儕及師生互动交流以修正實驗設計。本研究將PISA 2015所界定的科學素養內涵與閱讀素養內涵結合成以「閱讀科學文本培養科學能力之教學模式」(圖1)，並說明在教學上，應透過適當的教學設計，才能使閱讀素養與科學素養產生交互作用，圖中雙箭頭為教師引導學生來回探討不同素養間之關聯及雙向互動式討論的過程。

參、研究方法

本研究規劃在臺灣南部某社區高中以一門「科學文本閱讀課程」來帶領高中學生閱讀生活化的科學主題文本，引導高中學生從閱讀科學文本中發現問題、設計實驗，再探究學生在閱讀科學文本過程中，有哪些強項和弱項，進而探討其可能的原因和解決的策略。研究設計如下。

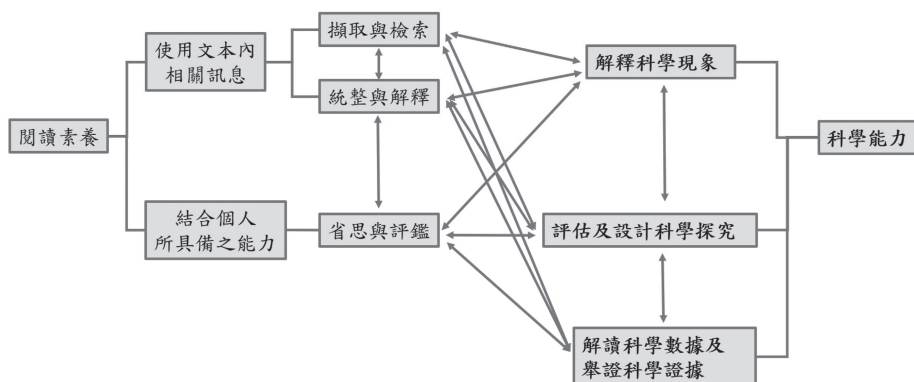


圖1：閱讀科學文本培養科學能力之教學模式

一、教學設計

本研究以「科學文本閱讀課程」為研究範圍，由於本課程的屬性和囿於時間限制，並未讓學生實際操作實驗及進行實驗結果分析，而是聚焦在閱讀科學文本過程是如何使用文本內相關訊息來解釋科學現象，以結合個人經驗與能力評估與設計科學實驗。根據本研究所發展出來的教學模式依本課程需求修改如圖2：教學者透過科學文本，引導學生擷取與統整文本內容以解釋科學現象，再透過討論反思自己的解釋是否需要修正，並以文本的內容為基礎進行實驗延伸設計。至於科學能力中的解讀科學數據及舉證科學證據結果，暫未涵蓋於本研究的範圍，有待未來繼續研究。

二、科學文本閱讀教學模組

本研究選用高中學生生活中常見的科學文本為教學內容，素材改寫自《科學人雜誌》Liger-Belair (2003/2016)撰寫的文章〈香檳泡泡的金色魔力〉。文本內容為科學家使用科學儀器對於飲料中的氣泡從生成到迸裂間的現象所做的微觀紀錄與解釋。氣泡產生的現象為高中學生所熟悉，課程所需要的科

學知識經由兩位科學教師根據高中一年級學生的能力進行修改，並移除所有插圖。本科科學文本內容與高中生的生活情境和經驗聯結性高，學生在思考與規劃實驗設計時，較容易從生活經驗中找到可操作的變因。本研究依據課程目標分成三部分說明本課程：

第一部分依據閱讀素養歷程的三個層次「擷取與檢索」、「統整與解釋」以及「省思與評鑑」與科學素養中「解釋科學現象」的關聯來設計第一份學習單，內容包括：使用擷取與檢索能力將文本中較為困難的科學專有名詞註記，並嘗試在文本中找出說明。接著，學生運用自己統整與解釋能力寫下一段摘要並繪製一個與文本有關的插圖。科學教師在學生的插圖中可以瞭解其統整與解釋科學現象的程度。最後學生須針對文中的敘述提出延伸性的問題，並根據科學文本的敘述或既有的知識概念回答自己的提問，目的在瞭解學生提出的問題是屬於閱讀素養中擷取文本敘述的問題(例如：氣泡從飲料中哪個位置生成?)或是具備「評估與設計科學探究活動」的可驗證性問題(例如：飲料的糖分是否影響氣泡多寡?)。據此，第一份學習單設計之問題有三：(一)依據文章內容，請寫下約

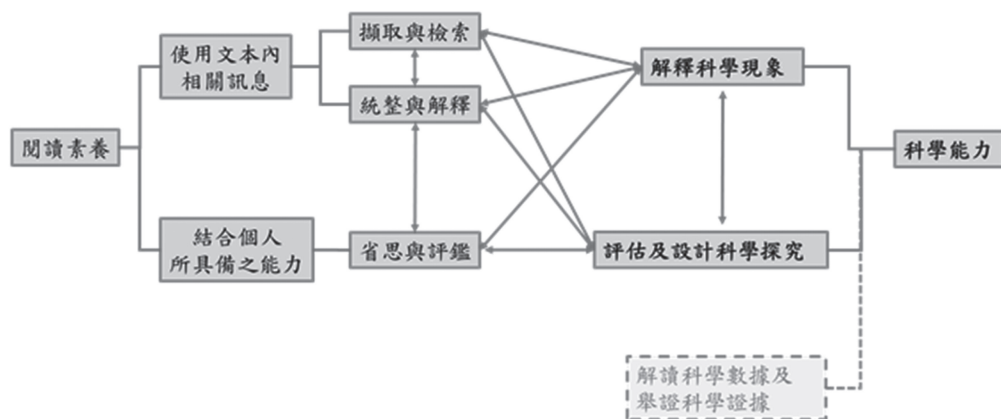


圖2：本研究閱讀科學文本培養科學能力之教學模式

150字摘要在下方空格內。(二)請針對文章中的敘述，設計一個讓讀者可以理解內文的插圖，並附上一個句子來說明這個插圖想要表達什麼？(三)請針對文章提出兩個延伸性問題，並嘗試回答這兩個問題。期望學生能像科學家一般在閱讀科學文本後，進行省思與評鑑來提出延伸問題進行研究。完成學習單後，教學者針對學生撰寫的內容進行討論，再給予回饋。

第二部分為引導學生透過科學文本中的科學描述找出研究目的，瞭解不同的變因，並進一步設計實驗，也就是「評估與設計科學探究活動」的內涵。學生藉由學習單的提示，聚焦文本中「氣泡的生成」階段，提出氣泡生成可能的因素，並透過討論形成可驗證之假設。學習單之提示問題為：聽過同學們報告之後，請整理出哪些氣泡產生的因素是可以利用實驗證明的？請條列說明原因。再行設計幾個可驗證的假設，提示問題為：(一)請小組內每位同學提出一個可以做得出實驗來證明的實驗目的；(二)根據討論後的結果，你(妳)們的實驗目的、實驗器材與藥品，設計並描述你(妳)們的實驗步驟。最後由小組(共九組)報告實驗設計內容，其他學生則針對該組報告內容找出其中的操作變因、控制變

因、應變變因及實驗預測結果，並對報告的組別提問及建議。

第三部分為修正與精煉，各組須依據課堂中的討論，整理出所修改、精煉以及重新建構的研究問題及實驗設計，因此第三份學習單是以小組為單位完成。期望學生透過同儕和教師提問及自我反思，提升學生的科學素養與閱讀素養。茲將本研究所發展的科學文本閱讀教學模組所包含的三個成分(教學流程、閱讀素養與科學能力)相互對應情形整理如表1。

三、研究對象與場域

本研究目的在瞭解教學現場的真實情境，故採取非參與式(nonparticipant)的自然主義觀察(naturalistic observation) (Salkind, 2010)，亦即研究者對教室所發生的一切不做任何干預，僅觀察紀錄自然發生的事項，進而詮釋研究對象在學習設計實驗過程中的實際情形。本研究場域為南部某社區型高中，以便利取樣選取35位來自不同社經地位的家庭，高中一年級學生(男生：13位；女生：22位)，學生身分為一般生有26位，新住民子女4位，原住民：5位，研究對象之入學考試中自然科學表現低於平均值，且多數學生對於

表1：教學流程、閱讀素養與科學能力素養對應表

教學流程	閱讀素養	科學能力
1.引導學生註記文本中較為困難的科學專有名詞	擷取訊息	
2.摘要文本內容	統整與解釋	解釋科學現象
3.繪圖說明表徵科學現象	統整與解釋	解釋科學現象
4.針對文中的敘述提出問題與自我回答	省思與評鑑	解釋科學現象／評估與設計科學探究活動
5.引導學生透過文本中的科學描述找出研究目的	統整與解釋	評估與設計科學探究活動
6.找出氣泡生成可能的因素	省思與評鑑	評估與設計科學探究活動
7.形成可驗證之假設	統整與解釋	解釋科學現象
8.設計可驗證假設之實驗	省思與評鑑	評估與設計科學探究活動
9.討論、修改並精煉	省思與評鑑	評估與設計科學探究活動

自然科學學習動機極為低落。研究者在本論文第二作者所開設的「閱讀科學文本」課程進行研究。本課程共進行六週，每週2節，共計12節。

四、資料蒐集與分析

(一)資料蒐集

本研究蒐集的質性資料包括上課錄影(video)、逐字稿(transcript)、課室觀察表(observation)、學習單(learning sheet)與訪談錄音(interview)等，依序編碼為V、Tr、O、Ls、I。上課錄影為本研究之重要資料，上課前在教室後方架設攝影機，並針對教師與學生互動的過程轉譯為逐字稿作為文本分析的內容。

(二)資料分析

1.發展編碼表

本研究目的著重於分析學生科學能力的表現及師生互動內容，因此以段落為分析單位，並重視概念而非單一字詞。故以段落編碼分析為主、字詞為輔發展編碼系統。編碼系統的發展採由上而下的方式，研究者先依據文獻及之前的研究建立初始編碼，由本研究第一作者及一位研究助理以此編碼表在其他自然科課堂使用，再依據實際情況進行編碼表的修訂與擴充，本研究場域所使用的即是此調整後的編碼表。編碼內容是依據PISA 2015科學能力素養的向度作為基本的類別架構(詳如附錄一)，同時參考教育部108課綱高中階段自然探究能力項目，摘要其中與本研究目的相關之內容，使編碼系統更趨完整。

2.教學過程分析

本研究分析教師上課內容影片、影片轉錄逐字稿及課室觀察紀錄為基礎，進行不斷比較分析法(constant comparative method)(Claser & Strauss, 1967)，主要聚焦於師生間

的對話，目的在分析教師與學生、學生與學生之間的提問、回答和討論的內容，是否為刺激學生反思閱讀與科學素養的互動過程。編碼是由兩位編碼者(一位科學教育背景博士及一位科學教育博士生)各自分析進行，完成後再針對不一致處進行溝通與討論，並自行修正直至達成共識為止。分析研究場域的歷程若浮現新的想法，也會在系統中納入新的編碼。

3.學習單分析

學習單的分析，將聚焦於研究問題所要探討的內容文字，採用歸納整理的模板式(template analysis style)分析方式，亦即研究者根據研究問題，預先建立分類系統，再以半開放的方式對文字資料進行編碼與歸類(張芬芬, 2010; King, 2012)。例如：第一份學習單的三個問題，分別讓學生進行文本摘要、將摘要轉換成圖像表徵，以及從文本衍生提問。第二份學習單從文獻(Arnold et al., 2014; Temiz et al., 2006; van Riesen et al., 2018)探討中將設計實驗的要素分成六項，包括：與實驗目的相符、設計對照組、控制變因、操作變因、應變變因以及重複實驗(或增加樣本數)。首先依據評分原則(舉例如附錄二)將學生表現分成優秀(2分)、良好(1分)與待加強(0分)，同樣由兩位評分者各自評分，評分者信度為.97 (Cohen, 1988)，完成評分之後，再依據本研究建置的編碼系統，進一步分析學生在各項問題上的表現，若兩位分析者在編碼歸類上有出入，將會再針對不一致處討論直至達成共識為止。

肆、研究結果與討論

一、學生從擷取訊息到解釋科學現象的表現情形

本節說明35位高中一年級學生在「解釋

科學現象」所包含的三個能力：摘要科學文本、圖像表徵及提問能力得分人數及所占的比例。表2顯示31位學生(占88.5%)具備「摘要科學文本能力」，16位學生(占45.7%)具備將摘要轉換為「圖像表徵能力」，僅7位學生(占20.5%)具備「提問能力」。

(一)學生摘要科學文本的表現

由上表可知，全班35人中有13位學生(占37.1%)在摘要科學文本內容的表現優秀(2分)，一半以上(占51.4%)的學生表現良好(1分)，另有4位學生(占11.4%)的摘要內容無法呈現文章重點(0分)。進一步分析學生摘要科學文本內容發現，表現優秀的學生均能掌握科學文本重點，也就是能從文章中擷取氣泡生成、上浮、迸裂的歷程，並且統整成簡要的描述，例如：

氣泡生命史有三個階段：生成、上浮、迸裂。氣泡是由糖經發酵作用轉成酒精及二氧化碳，容器內的液體中二氧化碳依循亨利定律，氣體溶解於液體和壓力成正比達到平衡，若要形成氣泡，必須克服成核作用的能量障礙。當氣泡從成核點釋放出來後，它會一邊上浮，一邊不斷成長。在氣泡上升過程中，溶解的二氧化碳會不斷自氣泡表面擴散到氣泡中，因此氣泡體積會不斷變大。一旦擴大，浮力也跟著增加。上升到液體表面，形成「泡

蓋」。當泡蓋薄到某個臨界厚度，會開始對振動與溫差十分敏感，最後就破裂了……(Ls1033)

從S1033的摘要中可以看到，這位女學生的文字敘述包含許多文本中提到的專有名詞或關鍵字詞，例如：發酵作用、亨利定律、成核作用、成核點等等，顯示她已經能從這篇科學文本中擷取關鍵字詞。而〈香檳泡泡的金色魔力〉全篇共3966字，S1033女學生能撰寫250字短文摘要，且掌握文章重點，表現出「解釋科學現象」能力中：精準的簡要描述和解釋系統化之科學現象的能力。

而表現屬於良好(1分)的學生，摘要雖不盡完整，但仍能以科學事實的方式陳述。例如：

氣泡的形成：香檳、氣泡酒和啤酒的氣泡都是由二氧化碳生成，由於糖經過酵母菌發酵後會轉換成酒精及二氧化碳分子。形成氣泡的成核點是從空氣中掉落，或者是擦拭玻璃杯的過程中遺留下來的，由於這些外來粒子的幾何形狀無法被飲料沾濕，所以在杯子斟滿時就可以包住一些微小的氣袋，最後長成肉眼可見的氣泡。同樣的過程會不斷重複到二氧化碳用盡，氣泡就不會繼續發生了。(Ls1036)

範例女學生S1036的摘要中雖然清楚描述氣泡生成的過程，然而整篇文章並非只談

表2：學生在解釋科學現象之各能力得分人數及所占比例

得分	摘要科學文本能力		圖像表徵能力		提問能力 ^a	
	人數	百分比	人數	百分比	人數	百分比
0分	4	11.4%	19	54.3%	27	79.4%
1分	18	51.4%	11	31.4%	6	17.6%
2分	13	37.1%	5	14.3%	1	2.9%

註：學生總人數為35人。^a提問能力部分，一位學生未作答，故總人數僅34人。

這個部分，還需包括氣泡的上浮與迸裂，才是完整的內容。

而表現待加強(0分)的學生，在文本訊息的擷取與統整的範例如下：

在碳酸飲料中看似簡單無奇的氣泡竟隱藏著許多學問與知識！尤其是一瓶好香檳中一定要有的極致完美的小泡泡。從而探討氣泡生命史的三個階段：氣泡的生成、氣泡慢慢上浮、氣泡的迸裂。每一個階段都能仔細的觀察去發現那些唯美在心中如煙火般開心爆炸的滋味～氣泡的生成因為裡面有許多二氧化碳分子、瓶中壓力的影響都是能否製造出完美泡泡的關鍵呢！(Ls1001)

從上述範例中可以看到這位男學生S1001的摘要雖然有提到「探討氣泡生命史的三個階段」，但除此之外，他的敘述以形容現象與感受為主，例如：極致完美、那些唯美在心中如煙火般開心爆炸的滋味等等，而不是對事實的陳述。

(二)學生將摘要轉換成圖像表徵能力表現

評量學生將摘要轉換成圖像表徵能力是以微觀的角度來描述氣泡從生成到迸裂的過程，比較表2和圖3獲知，學生將摘要轉換成圖像表徵的得分人數少於摘要科學文本得分

的人數。在此項能力中，獲得2分的學生只有5人(占14.3%)，獲得1分的高中一年級學生不到一半(占31.4%)，而得0分的學生則超過半數(占54.3%)。若進一步探討這些學生的摘要得分與繪圖分數的變化，則會發現摘要1分繪圖0分有11人，摘要2分繪圖0分有5人，摘要2分繪圖1分則有2人。換句話說有18位學生(占51%)的圖像表徵得分低於摘要科學文本的表現，由此可知將摘要轉換成圖像表徵對於高一學生而言有其困難度。

圖3呈現圖像表徵不同得分的範例，由左自右分別為得分2分、1分和0分。

圖中可以看到得分2分的學生(S1002)完整呈現一顆氣泡生成、上浮到迸裂的過程。然而他的說明為「一個氣泡的人生」則不夠精準，因此教學者也針對這點和學生進行討論：

師：「我覺得用『一個氣泡的人生』太文學了，可不可以再幫我把它變得科學一點？……給個說法，一個氣泡的？」

生：「生成。」

師：「生成！然後呢？把它講完整一點，一個氣泡的生成(停頓)，上升到？」

生：「破裂。」

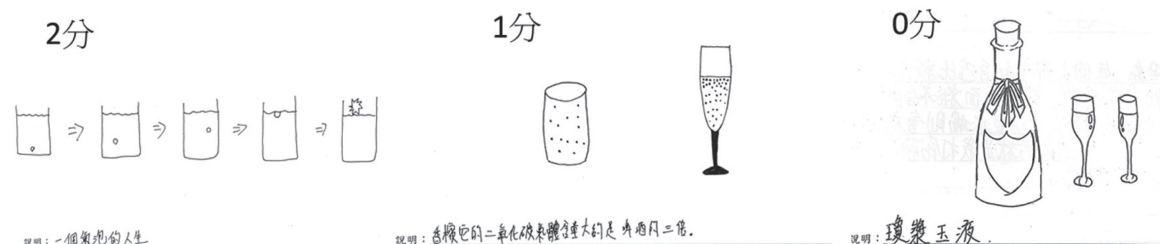


圖3：圖像表徵不同得分範例

師：「的過程。這樣是不是就像科學的敘述？沒有那麼文學了……」(V06091812)

從教師與學生的對話，可以看到教師企圖讓學生能使用較客觀的文辭描述科學現象。

圖3中，得分1分的學生(S1029)所繪製的圖像，只說明了文章裡所提到的一句話：「香檳它的二氧化碳氣體含量大約是啤酒的三倍」。教師對此圖的提問是：「你確定讀者知道哪一杯是香檳，哪一杯是啤酒？」、「你具體寫下了三倍，但圖片真的有三倍嗎？杯子大小不一樣如何比較？」(V06091223)讓學生思考在將文字轉換成圖說時，該如何呈現更科學。

圖3中，得分0分的學生(S1034)的繪圖則偏向文章中的插畫，而非對內文摘要進行繪圖說明，因此未獲得分數。而多數0分之學生的繪圖都類似S1034的插畫，並未呈現對文章事實的具體描述。

(三)學生根據科學文本內容提出問題的能力表現

學生根據科學文本內容提出問題得0分的學生中，除了有1位學生未作答，高達27位(79.4%)學生提問的層次只落在「擷取訊息」能力層次，例如：「噴束滴的小水珠，是受到何種影響所產生？」(S1011)是直接可以從科學文本中找到答案的問題。剩下的6位學生提問層次在「統整與解釋」(1分)能力的層次，這類的提問必須統整文章內不同段落的描述才能形成答案，例如：「為什麼氣泡間的距離會逐漸變大？」(S1029)。該生的作答是擷取文本中的敘述來回應。只有1位學生提出了「省思與評鑑」及「評估與設計科學探究」(2分)能力層次的問題，該生提出的疑

問是：「同一瓶酒，分別以不同材質的杯子盛裝，口感是否會有所不同？」(S1034)這個問題雖然不易進行測量，但問題的答案在文本中並無著墨，且問題能呈現科學實驗的操作變因與應變變因，在該生的回應中也針對所提出的問題預測材質與口感間可能會存在差異。

(四)討論

從研究結果可以看到，若以各別項目探討學生解釋科學現象的能力，可見學生在擷取訊息並統整成摘要，以文字解釋科學現象的表現良好。這項表現能夠對應到108課綱自然科學領域中「*pc-Va-2*精準的簡要描述」(教育部，2018)。*Lemke* (1990)指出科學的語言大多是「說明」(*expository*)或「分析」(*analytical*)式的語言，用來說明關係、整理、分類、釐清邏輯與觀念。在摘要項目中得分1分以上的學生即是能精簡的摘要文章中的重要敘述。另一方面*Kinneavy* (1971)也指出科學的語言通常是抽象、客觀以及訊息取向的，其修辭風格是避免使用第一人稱以及對等連接詞，排除個人情感、煽動或太過文雅的論述。在本項目中得分0分的學生便是如同前述S1001的描述，以個人感受為主敘述，而非客觀說明文章中的科學現象。

圖像表徵是將抽象概念或內在表徵以視覺方式呈現出來。然而科學圖像的功能不只於此，*Levin* (1982)指出科學圖像在學習上的功能有五，包括：解釋(*interpretation*)、組織(*organization*)、表徵(*representation*)、遷移(*transformation*)和裝飾(*decoration*)功能。本研究期待學生能練習將文字轉換成圖像並加以解釋、組織或表徵，可惜半數以上學生沒有掌握到圖像的這三種功能，而是以裝飾之目的繪圖。研究者依此結果進一步訪談授課教

師，他認為「自己的指導語可能下的不夠精確」(IT0514)，造成學生誤會只要「把文章中的內容畫成圖」(IT0514)就好。因此後續教學再花了兩節課與學生討論所繪的圖像，幫助他們更加清楚學習目標，同時也從互動中進行概念澄清。

在根據文章內容提出問題的作業中，許多學生在課堂上反應「很難，想很久，不知道要問什麼」(V06094115)，顯示學生對於從所閱讀的文章中發現問題的能力偏弱。然而科學家會藉由閱讀獲得研究題目或靈感、確認研究點子的可行性、找尋合適的研究方法、確認研究進程、瞭解相關研究情形，並確認研究的價值等(黃鴻博，2018)。因此將學生閱讀科學文本的能力層次提升到可以就文章內容提出進一步探討、具反思性的問題，是未來科學閱讀課程需要努力的方向。

二、實驗設計中，學生容易忽略的要素

教師在學生進行設計實驗之前，以提問的方式幫學生回憶：「一個完整的實驗需要包含的要素？」(V061620013)例如：實驗目的、假設、器材與藥品、操作變因、控制變因、應變變因、重複實驗消除誤差等，教師提問結束後，學生再分組討論並完成學習單二(Ls2)之實驗設計。表3為學習單二之實驗步驟各分項得分表現，從表3可以看到學生

在設計實驗的時候，所有組別均考慮到「對照組」之要素。其次「與實驗目的相符」以及「操作變因」的要素中，平均得分為1.89。再其次為「控制變因」，平均得分為1.78。「應變變因」則為平均1.33分。儘管教師在提問時有提到「實驗要做幾次？」(V061620457)，但學生在這份作業中還是忽略了「重複實驗」。為了瞭解學生未能在各項要素中獲得滿分的原因，研究者進一步分析學生學習單內容如下。

(一)學生易忽略的要素分析

1. 實驗目的與實驗步驟中各變因的一致性

學生於學習單二撰寫實驗設計時，第八組學生的實驗目的為「搖晃汽水時間與氣泡上升速度的關係」。據此目的，實驗步驟撰寫的操縱變因應為「不同的搖晃汽水時間」，然學生卻寫「分別從50、100、150公分高的位置往下丟」，與實驗目的不符。

2. 一個實驗只能有一個操作變因

設計實驗前的討論顯示，學生能夠理解操作變因的意義(V061620330)，然而學習單中卻有組別出現一個實驗存在兩個操作變因：「汽水搖晃5、10、15秒，分別靜置0、5、10分鐘」(Ls209)。

3. 須羅列重要的控制變因

此項目未獲滿分的組別，原因為「只寫出一個控制變因」或「完全沒列控制變因」。

表3：學習單二之實驗步驟各項要素得分情形

得分	組數					
	重複實驗	應變變因	操作變因	控制變因	對照組	與實驗目的相符
0分	9	1	0	1	0	0
1分	0	4	1	0	0	1
2分	0	4	8	8	9	8

註：學生進行小組討論，總組數為9組。

4. 可測量的應變變因

教師在上課時有告訴學生，撰寫實驗步驟所呈現的應變變因，應該是可以測量、能蒐集數據的實驗結果，然而仍有學生對應變變因的描述模糊，例如：紀錄實驗結果(Ls208)、觀察氣泡有何變化(Ls202)、比較氣泡的多寡(Ls201)。

5. 對重要條件下操作型定義

在分析實驗設計的學習單之前，研究者並未察覺學生忽略「下操作型定義」的重要性，然而在批閱學習單的過程，發現學生的用詞語焉不詳，甚至有名詞的誤用，例如糖的分量寫成糖的「質量」，或是自創意義不明的新詞，例如「鹽度」、「消泡時間」。

(二) 討論

本研究對象之學生在學習單中，被要求提出氣泡生成可能的因素，形成可驗證之假設。學生多能據此假設完成實驗的設計，但可能因為提出的因素與假設不只一個，在設計實驗步驟時如沒有回頭檢視實驗目的，無意間便忽略了實驗步驟與實驗目的的一致性。如同de Jong (2006)的研究提到學生因為對設計實驗的要素概念模糊，而設計出與研究問題無關的實驗。

此外，學生在設計實驗的經驗不足，自然(生物、物理、化學、地球科學)教科書若沒有提供足夠的參考範例，或是教師未給予適當的鷹架，在撰寫實驗步驟時，學生便容易忽略關鍵要素。例如：在研究對象所使用的高一生物科教科書(龍騰版)、物理與化學教科書(翰林版)中，在實驗或探究活動中，都沒有明確寫出控制變因有哪些。授課教師在受訪時也提到：

選用的文本在研究設計中的控制變

因敘述較為不足，因此學生在進行文本判讀時容易誤以為實驗只需要將操作變因與應變變因設計好，就能獲得良好的研究結果……當然科普文章不是科學論文，不用強調這些，所以我上課才會用學習單補充，因為我覺得這樣才能幫學生對科學實驗是怎麼設計出來的，有更完整的概念。(IT0514)

類似的研究對高中學生進行的研究也發現，多數學生設計實驗時沒有考慮控制變因(Arnold et al., 2014)。

同樣的，研究對象所使用的高一生物科教科書在實驗步驟中對應變變因的敘述也不夠明確，常見的有「觀察XX的變化」、「比較前後的差異」，這和學生寫出語意不明的應變變因相似。學生對應變變因的描述，可能來自於模仿教科書的敘述方式，而忽略了教師在學生著手設計實驗前不斷提到：「要有數量關係」(V061620134)、「你的器材不可以記錄你的實驗數據？」(V06160650)、「泡蓋的厚度就可以作為你紀錄實驗的一個數據」(V06164131)。這些強調可測量的結果。

重複相同實驗步驟以增加可信度在實驗中極為重要，然而學生都忽略了這個要素，Arnold等(2014)同樣發現只有18.8%的高中學生提到要重複實驗。檢視研究對象所使用的教科書，同樣發現這個情況，教科書中往往缺少重複實驗的描述，無論是增加樣本數量或是相同實驗重複數次，都沒有在研究對象的科學教科書的實驗步驟中提及。

de Jong (2006)認為學生缺乏控制實驗的概念，造成他們設計不出豐富而嚴謹的實驗。陳均伊(2010)也指出在臺灣國高中課程

中，學生已學習過變因控制的概念，然而當他們進行實驗設計時，卻鮮少會將概念與實務作連結。這和本研究結果相似，即使科學教師上課曾經提及，學生依然會忽略實驗設計的重要條件。而如何幫助學生提升設計實驗的能力，Arnold等(2014)建議透過對話、提問與回答，詳細說明學生需要做什麼和如何做(即程序性知識)，以及需要說明為什麼他們應該做這些事情。也就是本研究探討的第三個問題。

三、透過師生及同儕互動，學生較能察覺與修正

經過授課教師帶領學生評鑑同儕設計實驗之敘述內容，以及省思自己的實驗設計內容，本研究比較師生及同儕互動前後之差異，表4比較學生小組初次設計實驗(學習單二)，經由師生對話、根據提示修正原設計(學習單三，Ls3)，實驗步驟中各項要素的得分變化。從表4中可以看到，除「對照組」維持原狀外，其他各要素得分組別數量均有提升。其中全部組別「與實驗目的相符」、「控制變因」和「操作變因」要素均提升至滿分2分，「應變變因」滿分的組數也由原來的4組提升到8組，「重複實驗」則有1組學生於學習單三中呈現。各項結果分述如下：

(一)學生是如何察覺與修正？

1. 實驗目的與實驗步驟中各變因的一致性

第八組學生原本實驗目的為「搖晃汽水

時間與氣泡上升速度的關係」(Ls208)，操縱變因為：「分別從50、100、150公分高的位置往下丟」。其他組別學生針對此項操縱變因提出質疑後，該小組成員的解釋是：

組8：「因為你搖的次數不同的時候，它產生出來的氣泡數量還有然後生成的速度會不一樣……而且搖越久手越痠，你搖的速度就不一樣，所以我們用不同高度讓它掉下來。」

生：「那你們為什麼不直接改高度，不要用搖晃速度？」

師：「好，他們的搖晃汽水的定義要再調，是速度？時間？還是什麼？」(V062322439)

透過對話，第八組於學習單三中，將實驗目的修改成「汽水從不同高度落下與氣泡上升的關係」(Ls308)，使實驗目的與實驗步驟中的操作變因一致。

2. 一個實驗設計一個操作變因

將一個實驗設計兩個操作變因(汽水搖晃時間，靜置時間)的組別(Ls209)，在教師對他們的設計提出疑問時，學生的解釋為「討論時在想要研究哪一個比較好，因為兩個都想做，後來選了靜置時間，但是忘記改(刪掉搖晃時間)了」(V06231742)。表示他們並非不清楚一個實驗只能有一個操作變因，而是沒有細心檢視所寫的內容。透過上臺發表、教

表4：師生與同儕互動前後，學生實驗步驟之各項要素得分組數

得分	重複實驗		應變變因		操作變因		控制變因		對照組		與實驗目的相符	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
0分	9	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1分	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0
2分	0	1	4	8	8	9	8	9	9	9	8	9

註：學生進行小組討論，總組數為9組。

師提醒，該組學生將汽水搖晃時間刪除，保留不同的靜置時間作為操作變因。

3. 羅列重要的控制變因

在進行實驗設計前，教師沒有明確要求最少要列出幾個控制變因，但有學生發現別組同學沒列控制變因後，針對這個問題和同學展開對話：

生23：「你的汽水跟你的容量是一樣的嗎？」

組4：「是一樣的。」

生23：「那個裝的那個杯子一樣嗎？」

組4：「一樣。」

生23：「你都沒講。」

師：「對，你們這組都沒有寫出控制變因，同學就會不知道，你們應該要寫出至少三項控制變因，如果其他人要複製你們的實驗才會知道怎麼做。」

組4：「好，回去改！」(V062313205)

相似的對話在報告的組別沒有提出控制變因時，便會有其他學生指出此問題，爾後在修正過的學習單中，這些組別的控制變因都能完整描述。

4. 可測量的應變變因

對於應變變因的敘述，語意不清的組別除了只寫「紀錄實驗結果」外，多為「觀察氣泡」，如何測量其觀察結果則未說明。教師在討論過程提示學生：「紀錄實驗結果紀錄的是什麼？氣泡的多寡指的是什麼？產生的泡蓋？泡蓋如何測量？氣泡多寡如何計算？」(V062322139)讓多組學生將應變變因寫得更具體。其中有一組學生雖然做了修正，但仍未掌握要點，他們將「觀察氣泡有

何變化」(S202)修改為「觀察氣泡的多寡」(Ls302)，顯示他們對可測量、能收集數據之實驗結果的意義還不完全理解。

5. 重複實驗

在第三份學習單中，僅第四組學生增加了重複實驗這項要件，為了探究原因，檢視錄影資料及逐字稿時發現，對於重複實驗的重要性，教學者並未於過程特別提出來討論，僅對第四組學生的報告，提出：「若起始狀況不一致，要如何消除誤差增加可信度？」(V062323540)學生回答：「多做幾次」(V062323541)。爾後也在他們的學習單中增加了重複實驗的步驟。

6. 對重要條件下操作型定義

下操作型定義的重要性雖然一開始沒有出現在研究的分析目標裡，但在研究過程中浮現，因為若沒有明確的操作型定義，無法讓其他組別學生瞭解報告組別學生所設計的實驗步驟且能重現實驗。例如，學生實驗目的中使用「鹽度」(Ls206)來作為操作變因的敘述，而實驗設計中，操作變因只敘述加入不同重量的食鹽。且學生報告時針對鹽度的定義為：「加入的鹽的公克」，教師會進一步提醒：「加入鹽的公克量。如果你要讓它變成一個類似像溶解度、濃度這樣的名詞，你可能要說，每100克的飲料裡面加多少克，讓這個鹽度的定義變得更準確」(V062321102)。教師利用類似上述的對話，引導不同組別的學生對所設計的實驗之重要條件下操作型定義，報告組別學生後來將操作變因中「鹽度」修正為不同種類的鹽：「鹽的成分(含碘與否)」。顯示教師在引導操作型定義的過程可能使學生感到挑戰而將操作變因修正為二元對立的敘述。

(二) 討論

由於師生間的互動屬於垂直式(vertical)互動，同儕間的互動為水平式(horizontal)互動，因此教師適時的引導，學生的提問將更有深度(Seng & Hill, 2014)。本研究採用的互動方式為蘇格拉底式對話法(林信志等，2017)，教師將問題聚焦在探討設計實驗的重要條件，由學生根據這些重要條件自由發問，教師從旁追問引導，發現這樣的方式有助於學生練習澄清與整合本身的想法，同時透過討論、詰問反思自己既有的概念，並且進一步進行修正。

本研究發現「重複實驗」是社區高中學生最容易忽略的實驗步驟，可能有下列原因：1.上課時間不夠沒時間進行重複實驗；2.認為不用寫在實驗步驟中，只要在實驗紀錄表呈現就好。Arnold等(2014)主張：重複實驗的概念絕對是不可缺少，然而如果教師只是單純講述式的提醒，學生對於重複實驗的重要性沒有深刻的印象。授課教師在訪談中提到上課時間不夠，所使用的分組進行相同實驗的做法，仍難以讓學生注意到重複實驗的重要性。但是當教師詢問第四組成員要如何消除實驗結果產生誤差時，學生即可領會到必須重覆實驗。由此可見教師的提問能夠幫助學生更加察覺到容易忽略的要素。亦即：提問一回答的對話形式，比起講述或是單純動手操作，更能夠讓學生發現自己在設計實驗步驟中之不足，本項發現提醒自然科教師在教學中需要善用提問的教學策略(邱美虹、林秀蓁，2004；羅廷瑛，2015)。本研究除了呼應先前文獻有關教師提問的重要性外，更以化學教學情境，舉例指出教師如何運用提問技巧進一步提升學生設計實驗步驟的能力。

伍、結論

依據本研究之結果，提出結論如下。

一、多數學生具備從擷取訊息到解釋科學現象的能力

研究結果一顯示多數學生具備從擷取訊息到解釋科學現象之能力，但將文字轉換成圖像表徵、提出高層次之問題的能力則較弱。

二、經由師生對話，學生設計實驗的能力明顯提升

研究結果二顯示，教師講述後，學生自行設計實驗時，除了「對照組」都會在實驗步驟中描述外，其他如「與實驗目的相符」、「操作變因」、「控制變因」、「應變變因」和「重複實驗」等要素，在師生對話後有不同幅度的提升。

三、「重複實驗」是多數高中學生在討論後仍舊容易忽略的實驗設計重點

研究結果三顯示，經過同儕及教師提問及互動後，學生多能察覺應注意而未注意的實驗設計要素，唯「重複實驗」仍是多數高中學生較容易忽略的實驗設計重點。

陸、建議

108課綱素養導向的教學強調跨領域的知能整合，本研究結合閱讀素養與科學能力，提出了一種融合兩種素養教學的可能性。儘管本研究屬於初探階段，尚不足以推論至更大的群體及更廣泛的地區，但對於結合閱讀素養與科學能力的教學，本研究的結果仍能提供相關教學法之洞見與提出下述建議。

一、科學文本閱讀之教學目標宜更重視高層次的思考

過往閱讀科學文本教學，多著重在理解與省思，本研究創新之處，便在引導學生透過閱讀產生可以進行實驗驗證的想法。研究結果亦顯示學生在從閱讀科學文本到產生可研究的問題能力不足，然而此能力卻是國家科學人才必備之競爭力，因此科學文本閱讀之教學目標，應該放在提升學習者更高層次的思考能力，而一般閱讀歷程中的省思與評鑑，在科學類文章之閱讀更應擴充至仿效科學家的閱讀，對閱讀內容進行資訊合理性的檢視、邏輯論證、批判與尋找可研究的主題。如此才能提升學生在科學閱讀的層次。

二、設計實驗的能力可透過師生互動予以提升

除了提供適當的學習單作為鷹架引導學生設計實驗之外，師生的對話有助於學生概

念的澄清，以及提示他們忽略的細節，甚至引導他(她)們反思自己學習的歷程。本研究結果可以看到學生藉由討論、回答同儕與教師的提問，精煉了原本的實驗設計，使之更加嚴謹且完整，可見教師在引導互動中扮演的重要角色。因此在科學課程的教學上，可以藉由更多的師生互動，幫助學生提升設計實驗的能力。

三、未來可繼續探討不同類型科學文本對於提升學生科學能力之影響

本研究所採用的科學文本屬於化學領域的科普文章，然而科學文本的範疇不止於此，科普文章與科學學術性論文有所差異，且不同科學領域的文本敘事方式有異。而對於不同類型之科學文本，是否同樣能夠以本研究所提出的教學模式提升學生之科學能力，未來將可以進一步探討。

參考文獻

- 仰威融、林淑楞(2020)。運用PISA科學素養評量架構探討國中生物教科書中問題的特徵。*教科書研究*, 13(1), 75-106。https://doi.org/10.6481/JTR.202004_13(1).03
- [Yang, W.-R., & Lin, S.-F. (2020). Features of grade 7 biology textbook questions explored using the framework for PISA scientific literacy assessment. *Journal of Textbook Research*, 13(1), 75-106. https://doi.org/10.6481/JTR.202004_13(1).03]
- 李暉、郭重吉(2000)。科學話語與科學概念之學習：以國中生理化課學習為例。*科學教育*, 10, 3-30。https://doi.org/10.6767/JSE.200008.0003
- [Lee, H., & Guo, C.-J. (2000). The study of scientific discourse and scientific concepts: Taking the study of physiology and chemistry in middle school as an example. *Journal of Science Education*, 10, 3-30. https://doi.org/10.6767/JSE.200008.0003]
- 余曉清、林煥祥編(2017)。PISA 2015臺灣學生的表現。心理。
- [She, H.-C., & Lin, H.-S. (Eds.). (2017). *Taiwan student performance on PISA 2015*. Psychological Publishing.]

林信志、劉藍芳、洪啟昌(2017)。國小校長專業發展實驗課程之探究：蘇格拉底對話法之應用。《教育科學期刊》，16(1)，131-156。

[Lin, H.-C., Liu, L.-F., & Hung, C.-C. (2017). A study of professional development experimental courses for primary school principals: Application of socratic dialogue. *The Journal of Educational Science*, 16(1), 131-156.]

邱美虹、林秀蓁(2004)。以CHILDES分析一對一科學教學活動中師生互動共建科學知識的行為表現。《科學教育學刊》，12(2)，133-158。https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1202.01

[Chiu, M.-H., & Lin, S.-J. (2004). Analyzing behavioral interactions between teacher and student of co-constructing scientific knowledge in one-to-one tutoring activities via CHILDES. *Chinese Journal of Science Education*, 12(2), 133-158. https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1202.01]

陳均伊(2010)。高中學生參與物理人才培育課程的學習成效之研究。《物理教育學刊》，11(1)，23-44。https://doi.org/10.6212/CPE.2010.1101.03

[Chen, J.-Y. (2010). Investigating high school students' learning outcome in the physics curriculum on fostering prospective scientists. *Chinese Physics Education*, 11(1), 23-44. https://doi.org/10.6212/CPE.2010.1101.03]

陳瑞麟(2004)。科學理論版本的結構與發展。國立臺灣大學。

[Chen, R.-L. (2004). *The structure and development of scientific theory versions*. National Taiwan University.]

教育部(2014)。十二年國民基本教育課程綱要：總綱。https://reurl.cc/RXMnRD

[Ministry of Education. (2014). *Curriculum guidelines of 12-year basic education: General guidelines*. https://reurl.cc/RXMnRD]

教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要——國民中小學暨普通型高級中等學校：自然科學領域。https://bit.ly/3KXEh6r

[Ministry of Education. (2018). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary, junior high schools and general senior high schools—Natural sciences*. https://bit.ly/3KXEh6r]

張芬芬(2010)。質性資料分析的五步驟：在抽象階梯上爬升。《初等教育學刊》，35，87-120。

[Chang, F.-F. (2010). The five steps of qualitative data analysis: Climbing up a ladder of abstraction. *Journal of Elementary Education*, 35, 87-120.]

黃茂在、陳文典、吳敏而(2012)。科學課堂之探究式教學實踐之關鍵因素探討。收錄於洪若烈(編著)，「永續教育發展——創新與實踐」2010國際學術研討會：課程與教學論文專輯(頁162-179)。國家教育研究院。

[Huang, M.-T., Chen, W.-D., & Wu, R.-J. (2012). Discussion on the key factors of inquiry teaching practice in science classroom. In J.-L. Hung (Ed.), *"Yongxu jiaoyu fazhan—Chuangxin*

- yu shijian” 2010 guoji xueshu yantaohui: Kecheng yu jiaoxue lunwen zhuanji (pp. 162-179). National Academy for Educational Research.]
- 黃鴻博(2018)。科學閱讀的基本理念。收錄於胡秀芳(編著)，*讀+科學：科學閱讀教學36問*(頁6-11)。教育部國民及學前教育署。
- [Huang, H.-B. (2018). Basic concepts of scientific reading. In S.-F. Hu (Ed.), *Reading + science: 36 questions for teaching science reading* (pp. 6-11). K-12 Education Administration, Ministry of Education.]
- 鄭可萱、李松濤(2018)。當科學素養與閱讀素養相遇：高中學生科學新聞閱讀策略之實驗研究。*教育科學研究期刊*，**63**(4)，157-192。https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63(4).0006
- [Zheng, K.-H., & Lee, S.-T. (2018). When science literacy and reading literacy meet: Experimental study of science news reading strategy for high school students. *Journal of Research in Education Sciences*, 63(4), 157-192. https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63(4).0006]
- 羅廷瑛(2015)。溝通式閱讀科學文本教學方案對國小四年級學生科學閱讀表現之影響。*新竹教育大學教育學報*，**32**(1)，93-126。https://doi.org/10.3966/199679772015063201004
- [Lo, T.-Y. (2015). Effect of a communicative reading program on the science reading performance of fourth-grade students. *Educational Journal of NHCUE*, 32(1), 93-126. https://doi.org/10.3966/199679772015063201004]
- Liger-Belair, G. (2016)。香檳泡泡的金色魔力(陳義裕譯)。https://reurl.cc/RXoKKz。(原作出版於2003年)
- [Liger-Belair, G. (2016). The science of bubbly. (Y.-Y. Chen, Trans.). https://reurl.cc/RXoKKz (Original work published 2003)]
- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419. https://doi.org/10.1002/sce.10118
- Arnold, J. C., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding students' experiments—What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719-2749. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209
- Arvidsson, T. S., & Kuhn, D. (2021). Realizing the full potential of individualizing learning. *Contemporary Educational Psychology*, 65. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101960
- Bedford, S., & Legg, S. (2007). Formative peer and self feedback as a catalyst for change within science teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1), 80-92. https://doi.org/10.1039/B6RP90022D
- Boardman, A. G., Boele, A. L., & Klingner, J. K. (2018). Strategy instruction shifts teacher and student interactions during text-based discussions. *Reading Research Quarterly*, 53(2), 175-

195. <https://doi.org/10.1002/rrq.191>
- Bossér, U., & Lindahl, M. (2019). Students' positioning in the classroom: A study of teacher-student interactions in a socioscientific issue context. *Research in Science Education*, 49, 371-390. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9627-1>
- Cheung, D. (2011). Teacher beliefs about implementing guided-inquiry laboratory experiments for secondary school chemistry. *Journal of Chemical Education*, 88(11), 1462-1468. <https://doi.org/10.1021/ed1008409>
- Chi, M. T. H., Siler, S. A., Jeong, H., Yamauchi, T., & Hausmann, R. G. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471-533. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00044-1](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00044-1)
- Claser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory*. Aldine.
- Cohen, J. (1988). Set correlation and contingency tables. *Applied Psychological Measurement*, 12(4), 425-434. <https://doi.org/10.1177/014662168801200410>
- Criswell, B. (2012). Framing inquiry in high school chemistry: Helping students see the bigger picture. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 199-205. <https://doi.org/10.1021/ed101197w>
- Crujeiras-Pérez, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). High school students' engagement in planning investigations: Findings from a longitudinal study in Spain. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 99-112. <https://doi.org/10.1039/C6RP00185H>
- de Jong, T. (2006). Technological advances in inquiry learning. *Science*, 312, 532-533. <https://doi.org/10.1126/science.1127750>
- Deng, Y., Kelly, G. J., & Deng, S. (2019). The influences of integrating reading, peer evaluation, and discussion on undergraduate students' scientific writing. *International Journal of Science Education*, 41(10), 1408-1433. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1610811>
- Galloway, K. W., & Burns, S. (2015). Doing it for themselves: Students creating a high quality peer-learning environment. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 82-92. <https://doi.org/10.1039/C4RP00209A>
- Gillies, R. M. (2019). Promoting academically productive student dialogue during collaborative learning. *International Journal of Educational Research*, 97, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.07.014>
- Howe, C., Tolmie, A., Thurston, A., Topping, K., Christie, D., Livingston, K., Jessiman, E., & Donaldson, C. (2007). Group work in elementary science: Towards organisational principles for supporting pupil learning. *Learning and Instruction*, 17(5), 549-563. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.004>
- Hwang, G.-J., Lai, C.-L., Liang, J.-C., Chu, H.-C., & Tsai, C.-C. (2018). A long-term experiment to investigate the relationships between high school students' perceptions of mobile learning and

- peer interaction and higher-order thinking tendencies. *Educational Technology Research and Development*, 66(1), 75-93. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9540-3>
- King, N. (2012). Doing template analysis. In G. Symon & C. Cassell (Eds.), *Qualitative organizational research: Core methods and current challenges* (pp. 426-450). Sage. <https://doi.org/10.4135/9781526435620.n24>
- Kinneavy, J. L. (1971). *A theory of discourse: The aims of discourse*. Prentice-Hall.
- Lemke, J. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Ablex.
- Levin, J. R. (1982). Pictures as prose-learning devices. *Advances in Psychology*, 8, 412-444. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62709-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62709-0)
- Lin, X., & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 837-858. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<837::AID-TEA6>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<837::AID-TEA6>3.0.CO;2-U)
- National Research Council (1996). *National science education standards*. National Academy Press.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academy Press.
- National Research Council (2012). *Nutrient requirements of swine* (11th ed.). National Academies Press.
- Organization for Economic Co-operation and Development (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. <https://doi.org/10.1787/9789264026407-en>
- Organization for Economic Co-operation and Development (2017a). *PISA 2015 science framework*. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-3-en>
- Organization for Economic Co-operation and Development (2017b). *PISA 2015 reading framework*. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-4-en>
- Organization for Economic Co-operation and Development (2019). *PISA 2018 reading framework*. <https://doi.org/10.1787/5c07e4f1-en>
- Reilly, C. M., Kang, S. Y., Grotzer, T. A., Joyal, J. A., & Oriol, N. E. (2019). Pedagogical moves and student thinking in technology-mediated medical problem-based learning: Supporting novice-expert shift. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2234-2250. <https://doi.org/10.1111/bjet.12843>
- Salkind, N. (2010). *Encyclopedia of research design*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9781412961288>
- Seng, M. G. J., & Hill, M. (2014). Using a dialogical approach to examine peer feedback during chemistry investigative task discussion. *Research in Science Education*, 44(5), 727-749. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9403-4>

- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23. <https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>
- Temiz, B. K., Tasar, M. F., & Tan, M. (2006). Development and validation of a multiple format test of science process skills. *International Education Journal*, 7(7), 1007-1027.
- Topping, K. (1998). Peer assessment between students in colleges and universities. *Review of Educational Research*, 68(3), 249-276. <https://doi.org/10.3102/00346543068003249>
- van Riesen, S. A. N., Gijlers, H., Anjewierden, A., & de Jong, T. (2018). The influence of prior knowledge on experiment design guidance in a science inquiry context. *International Journal of Science Education*, 40(11), 1327-1344. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477263>
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Open University Press.
- Woolley, J. S., Deal, A. M., Green, J., Hattenbruck, F., Kurtz, S. A., Park, T. K. H., Pollock, S. V., Transtrum, M. B., & Jensen, J. L. (2018). Undergraduate students demonstrate common false scientific reasoning strategies. *Thinking Skills and Creativity*, 27, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2017.12.004>

附錄一：科學能力編碼表

主範疇	次範疇	意義單元	精簡後之例子
A. 科學地 解釋 現象	回憶與應用合適的科學知識	pc-Va-2 精準的簡要描述	教師要求使用證據解釋汽水瓶內壓力>1atm (060910944)
	辨識、使用與產生解釋性的模型及表徵	tm-Va-1 依據問題建立模型 tm-Va-1 理解模型可修正	在對話中引導如何科學地描述現象，以事實陳述、精準、具體(060910826-45)
	產生並證明合適的預測	pe-Va-1 預測結果	討論碳酸飲料中雜質特性的合理性以及對雜質數量與氣泡生成的關係做預測(060923919-4244)
	提供解釋性的假說	ti-Va-1 察覺問題成因 ti-Va-1 發想假設	教師要學生討論__越__氣泡越__，因為(06160851)
B. 評估與 設計 科學 探究 活動	辨識出科學研究中所探索的問題	po-Va-1 從日常觀察覺察問題	引導實驗目的之寫法(可記錄數據之 A)和氣泡生成(B)之關係，及轉換成研究問題(06160811)
	區分出能進行科學調查的問題	po-Va-2 確認適合的科學問題 po-Va-2 分辨科學問題的重要優先順序	探討的因素要能夠收集數據、刪除上述難以收集數據之因素、評估哪些同學提出的因素是可以實驗證明的(060920924)
	提出一個能進行科學探索的方法	ti-Va-1 設計實驗步驟 ti-Va-1 創新實驗方法	練習寫實驗步驟，如何在步驟中精準地寫出各種變因(06160912)
		pe-Va-1(PI) 分辨自變項(操縱變因)	
		pe-Va-1(PI) 分辨應變項(應變變因)	
		pe-Va-1(PI) 重複實驗(重複實驗)	
	評估進行科學探索的方法	pc-Va-1 提出完整的疑問或意見 pc-Va-1 進行評價 pc-Va-1 提出改善方法	提醒學生考慮實驗的困難度與可行性，並討論：怎樣可以設計出清晰明瞭的實驗步驟？(06160932)
	敘述與評估一系列科學家用以確認資料的信度與解釋的客觀性和一般性之方法	tc-Va-1 比較合理性 tc-Va-1 進行批判或確認 tc-Va-1 反思多元觀點	教師提問：如何從文本中，確認文句描述的是事實、或是推論、或是個人觀點？(060910235)

附錄二：評分原則舉例

Q1: 摘要	例子
優良 (2 分) 包含解釋科學現象向度下之： pc-Va-2 精準的簡要描述 AQ-從觀察中提出特徵、模式或矛盾之問題 tm-Va-1 解釋系統化之科學現象 涵蓋氣泡生成、上浮、迸裂的歷程	氣泡生命史中的三個主要階段：氣泡的生成、上浮，以及迸裂。在香檳、氣泡酒中的氣泡，主要是由二氧化碳所形成。這是由於糖在經過酵母菌發酵後，會轉換成酒精及二氧化碳分子。這些飲料並不是純物質，還包含了許多分子量較大的有機化合物，這些分子能夠展現出表面活性，因此將這些分子稱表面活性劑。氣泡在溶液中上升時，氣體會膨脹而導致氣泡表面積增加。氣泡只會從飲料最上方冒出一個頭，露出來的部分稱「泡蓋」，當泡蓋薄到某個臨界厚度，會開始對振動與溫差十分敏感，最後破裂。自由表面上迸裂的氣泡對飲料賦予一種「口感」，所以泡泡的迸裂對於香氣與味道的釋放也扮演極重要的角色。(S014)
好 (1 分) 有摘要到重點但不夠完整 只摘要氣泡生成、上浮、迸裂三個階段的一部分	研究氣泡有三個主要階段：氣泡的生成、上浮，以及迸裂。在香檳、氣泡酒以及啤酒中的氣泡，主要由 CO₂ 所形成，這是由於糖經過酵母菌發酵後，轉換成酒精及 CO₂ 分子。液體中的氣體分子藉由聚集在氣體空腔，形成氣泡，氣體空腔的半徑必須大到可以克服這個成核作用。氣泡越小，壓力越大，可以透過頻閃儀來測試發泡的頻率。汽水、啤酒與氣泡酒不是純物質，裡面還有包含其他許多分子量較大的有機化合物如蛋白質、醣類蛋白，這些分子具有親油端以及親水端。(S016) (註：只說明氣泡的形成)
待加強 (0 分) 不明確或不相關的敘述	此文章是在描述香檳啤酒等氣泡飲料，它們的氣泡是如何產生、上升及迸裂的。文中用科學的原理去解釋，平常喝的氣泡飲料中原來暗藏了許多如此複雜的原理。(S009)

Q2: 提問		例子
優良 (2 分)	提問的答案無法透過文本統整，且問題的敘述包含解釋科學現象向度下之： ti-Va-1 察覺問題成因 ti-Va-1 發想假設 以及呈現操作變因與應變變因	同一瓶酒，分別以不同材質的杯子盛裝，口感是否會有所不同？(S1034)
(1 分)	提問的內容與答案皆來自科學文本中的研究問題。	造成氣泡上浮的因素有那些？(S1005)
待加強 (0 分)	提問文本中的名詞解釋或不明確的敘述。	氣泡是由什麼組成？(S1024)
Q3: 繪圖表徵		例子
優良 (2 分)	繪圖呈現了文本所述的氣泡生成、上浮、迸裂的歷程	圖(略)
(1 分)	繪圖僅呈現氣泡生成、上浮、迸裂三個階段的一部分	圖(略)
待加強 (0 分)	無關文本中科學現象的插圖	圖(略)

Exploration on Enhanced High School Students' Scientific Ability by Reading Scientific Articles

Li-Ting Cheng¹, Yu-Jan Tseng², Huann-Shyang Lin³ and Zuway-R Hong^{4,*}

¹Department of Education and Human Potentials Development, National Dong Hwa University

²Institute of Education, National Sun Yat-sen University

³Center for General Education, National Sun Yat-sen University

⁴Center for General Education, Kaohsiung Medical University

Abstract

The purpose of this study was to explore the effect of a teaching model that integrated scientific reading for secondary school students' science learning. Thirty-five 10th graders were conveniently selected from a senior high school in Southern Taiwan suburban area in which students were from different social-economic families. These students participated in a total of 6-week 12-hour "Scientific reading course". We collected qualitative data from teaching video, classroom observation, and weekly learning sheets. A constant comparative method was used to analyze the teaching video, observation record, and learning sheets for understanding these participants' performance from extracting information to explaining phenomena scientifically after reading scientific context. The essential findings were: (1) Most of students had an ability that extracting information to explain phenomena scientifically. (2) Students had less abilities on converting symbolic representation into model representation which needs high level thinking skills. (3) Most of students always ignored assigning a control group in an experimental design, but they could notice the missing elements after the teachers' and peer's comments. (4) Repeatable experimental design is an important element that most students forgot to consider. This study provided a fresh insight on conducting scientific reading teaching model to increase students' learning outcome.

Key words: Scientific Ability, Evaluation and Design Experiment, Explaining Phenomena Scientifically, Reading Literacy

* Corresponding author: Zuway-R Hong, a3803429@gmail.com