

探討學生科學能力與教師探究教學實務的關係

林淑楞*

國立彰化師範大學 科學教育研究所

摘要

本研究旨在探討一個協助教師發展素養導向試題、設計和實施探究教學的教師專業發展計畫，對學生科學能力與學業成就的影響，並探討教師探究教學實務與學生科學能力的關係。7位國中科學教師參與此計畫，經半年發展素養導向試題和探究教案後，實施一學期的探究教學。採用準實驗研究法，比較實驗組和對照組學生的科學能力和學業成就。研究工具為「學校課程科學能力試卷」和「探究教學實務觀察評分表」。前者評量九年級學生「解釋科學現象」、「設計與評估科學探究」和「詮釋科學數據與證據」的三大科學能力。為了比較7位教師探究教學實務的差異，利用「探究教學實務觀察評分表」針對教師的探究教學影片進行評分。研究結果顯示整體實驗組的科學能力分數顯著高於整體對照組，而且整體實驗組在三種科學能力表現也顯著高於整體對照組；然而經個別分析，僅1位教師實驗組的科學能力和學業成就顯著高於對照組。進一步分析7位教師的探究教學實務和學生學習表現的關係，發現個案教師在探究教學的效能，以及給予學生探究學習的機會(含口語表達與動手做)兩個面向，展現出不同表現的探究教學實務，其與學生科學能力表現有關。文末探討影響教師初次實施探究教學實務的各種因素進行討論。

關鍵詞：科學能力、探究教學、教學效能、教學實務、評量

壹、緒論

科學素養為生活在現代科技社會中不可或缺的知识與能力(competences)，也是許多國家科學教育的主要目標。學校的科學教育在美國第二波科學教育改革後，已不再以培養科學專家為目的(Van den Akker, 1997)，反而期望培養未來的公民能運用所學的科學，幫助他們在影響他們生活與環境下做出明智的決定，甚至能夠與專家論辯科學相關的社

會議題。簡而言之，科學素養應該是人們將科學和以科學為基礎的科技知識應用於與他們個人、社會和專業生活的能力(國家教育研究院，2018；Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2013)。在九年一貫自然與生活科技學習領域課程綱要(教育部，2008)和2019年實施的「十二年國民基本教育」(簡稱十二年國教)的「自然科學領域課綱」(簡稱自然領綱)(國家教育研究院，2018)均將科學素養訂為教育目標。

*通訊作者：林淑楞，sflin@cc.ncue.edu.tw

(投稿日期：民國108年9月5日，修訂日期：民國108年11月19日，接受日期：民國108年11月19日)

儘管科學素養已經是許多國家科學教育的主要目標，但是，如何評量學習者的科學素養一直是科學教育上的一大挑戰。近年來，國際學生評量計畫(Programme for International Student Assessment, PISA)中以情境式題組，多種型式試題，評量15歲中學生的科學素養，已直接或間接影響先進國家的科學評量，如美國、澳洲(郭重吉等，2009；Fensham, 2009)。近年來，我國透過大學與中學教師組成團隊，共同研發評量科學素養的試題(張惠博、林陳涌，2011)，引發不少教育工作者重視發展評量科學素養的試題。因應十二年國教，大學入學考試中心(2017)公告未來大學入學考試需呼應課綱中的核心素養，試題將評量學習者運用核心能力和學科知識於生活情境的能力。負責辦理國中教育會考的心理與教育測驗研究發展中心也開始發展自然科學領域素養導向評量(林蓓伶、潘昌志、蘇少祖、陳柏熹，2018)。這些顯示出我國即將透過學生重要的入學考試，加入評量科學素養的試題，促進學校培養學生的科學素養。

科學素養的評量主要包含知識、能力和態度三部分，在PISA科學素養評量架構(OECD, 2013)和自然科學領域素養導向評量架構(林蓓伶等，2018)中，科學態度屬於情意面向，沒有正確答案，而知識和能力為科學素養評量的重點，也是本研究中所著重的部分，科學態度則暫不討論。這兩個評量架構均以真實情境為題幹，發展試題，評量學習者應用科學知識所展現的科學(探究)能力。

學校科學應如何教學才能培養學生具備科學素養呢？從文獻探討發現，有許多方式可培養學生的科學素養，包括利用探究取向的教學(Gyllenpalm, Wickman, & Holmgren, 2010; Keys & Bryan, 2001)、科學本質教學(Lederman, Lederman, & Antink, 2013)、社會

性科學議題(Sadler & Zeidler, 2009)、科學閱讀與寫作(Glynn & Muth, 1994)等。但是，很難有最好的一種方式達到科學素養，主要原因為科學素養的內涵太廣(Bybee, Carlson-Powell, & Trowbridge, 2014)。一些學者認為學校科學應該讓學生從科學領域常做的實務／實作(practices)，認識構成科學本身的事物，培養學生的科學素養(Norris & Phillips, 2003; Osborne, 2014)。因此，美國幼稚園至十二年級(K-12)科學教育架構中培養做科學探究所需的八大能力，即是科學領域中主要的科學實務，如確認問題、設計與執行科學探究、運用工具收集數據、運用證據發展解釋與模型、批判思考、分析另有解釋與預測、科學溝通、運用數學等(National Research Council [NRC], 2000)。Osborne則指出做科學、說科學、寫科學、讀科學和表徵科學為5個主要的科學活動，其中，寫作與論辯為做科學的核心活動(Jetton & Shanahan, 2012; Lemke, 1990)。因此，做科學為培養科學素養的主要活動。再者，PISA科學素養評量架構與自然領域素養導向所評量的科學(探究)能力都是科學探究必要的能力(國家教育研究院，2018；OECD, 2013)。因此，本研究發展一個教師專業發展計畫，教師須透過發展PISA試題認識科學(探究)能力，並以此為課程學習目標，設計探究取向的教學與實作活動。之後，教師實施一學期的探究教學，藉以檢視學生科學能力的改變，以及探討不同教師的教學實務與學生科學能力表現之間的關係。

過去研究常以教師缺乏多元的教學資源為由，很少更進一步地瞭解教師無法進行探究教學的實務問題。為了研究教師專業發展成效與教學實務的改進，郭重吉(2018)比較過去各種教師專業發展模式，指出過去的教師專業發展模式常以因果關係、線性模式或

交互影響模式探討教師教學成效與學生的學習，卻忽略了學生和教師在教學情境中實際的互動。然而，這卻可能是教育理論與實務脫節的關鍵。因此，郭重吉提出「教學實務模式」來探討教學情境和師生支持系統(資源)如何影響課室學習活動與過程，導致教師和學生的成果。此模式呈現實務體系整體的結構系統，強調主要組成要素之間彼此的關聯性，有助於教師教學實務的研究和教師的教學專業發展。

近年來，我國受到PISA的影響，教育部、國家教育研究院、大考中心等單位舉辦不少素養導向命題和素養導向課程設計等教師研習。未來學測或會考的自然考科將納入素養導向試題，研究者擬探究倘若教師對PISA或素養導向試題有充分的瞭解，甚至有能力發展這類試題，是否有利於他們的探究教學？藉此理念，研究者利用問卷調查，找到7位對發展類PISA試題和實施探究教學感興趣的教師，邀請他們參與本研究計畫。長久以來的教師研習常因教育政策的推動而實施，較少透過實徵性的研究探討教師改進教學實務所遇到的問題，進而設計符合其需求的教師研習，解決他們教學實務的問題。因此，本研究旨在檢視7位教師經過教師專業發展計畫後，初次實施一學期的探究教學對學生學習成效(含科學能力和學業成就)的影響，以及透過探討教師的探究教學實務與學生科學能力表現可能的關係，找出實施探究教學初期關鍵的教學實務。此研究價值為瞭解有助於或不利於學生發展科學能力可能的教學實務，以作為未來規劃教師探究教學專業發展的方向。具體的待答問題如下：

一、實驗組與對照組學生在九年級上學期(簡稱九上)的科學能力與學業成就的表現有何差異？

二、個案教師探究教學實務的差異與學生科學能力表現的關係為何？

貳、文獻探討

一、科學探究與科學能力評量

在美國國家科學教育標準(National Science Education Standards, NSES)中以「科學即探究」(science as inquiry)的標準，期望教師以探究取向教學培養學生具有進行科學探究的能力，以及對科學探究的瞭解。因此，課室中的探究教學即是培養科學探究的知識與能力。NSES中提到，課室中的探究教學應著重於讓學生體驗科學探究中的五大重要特徵：(一)提出科學問題，(二)提出回應問題所需提供的證據，(三)從證據形成解釋，(四)將解釋與科學知識做連結，(五)能與人溝通並辯證解釋(NRC, 2000)。

自1940 ~ 1950年代科學素養是指對科學及其應用的瞭解(Hurd, 1958)。之後，不同學者則從各種不同的面向涵蓋科學素養的範疇，做為科學課程所強調的重點(靳知勤, 2002; Bybee, McCrae, & Laurie, 2009)。在PISA 2006所指的科學素養意指在生活情境中運用對科學瞭解的能力(OECD, 2006)，也就是從科學的情境、知識與能力三大特徵涵蓋科學素養的範疇，作為評量科學素養的架構(Bybee et al., 2009)。PISA試題以題組方式呈現，利用是非題組、單一選擇題、簡答題和開放性問題等多種型式試題評量出學生的三大科學能力，包括「解釋科學現象」(簡稱解釋)、「設計與評估科學探究」(簡稱設計)和「詮釋科學數據與證據」(簡稱詮釋)能力。這三大能力都需要知識才能展現，包括內容知識、程序性知識和認識論知識(OECD, 2013)，不像傳統試題以去情境，僅評量學生

的內容知識，因此PISA受到許多先進國家的重視。

PISA 2006和PISA 2015在評量科學素養上十分相似，最大的不同在於PISA 2006試題中常常提供實驗設計的情境，評量學生能否從此情境中展現「形成科學議題」的能力。然而，PISA 2015採用電腦模擬實驗作答系統，在電腦提供科學探究的情境，讓答題者自由操控因素的變化，看到現象如何受操縱因素影響而變化，得以評量出答題者「設計」的能力。也就是PISA 2015能評量到學生更多設計科學實驗的能力，並且包含了PISA 2006「形成科學議題」的能力。PISA所評量三大科學能力與科學探究中強調的五大特徵十分相似，並且PISA評量科學素養改為電腦模擬科學探究情境的評量方式，越來越能突顯「科學即探究」的意涵。然而，學校評量仍以紙本試卷進行施測，因此本研究採用PISA 2006科學素養評量架構發展研究工具。

十二年國教自然領綱中課程以學習內容和學習表現為兩大主軸，學習內容即各學科和跨科的核心概念，學習表現包含探究能力和科學的態度與本質。自然領域素養導向評量為了呼應十二年國教自然領綱，參考PISA科學素養評量，以真實情境為題幹，每一個子題的發展皆以至少對應到一學習內容(核心概念)與一學習表現(「探究能力」與「科學的態度與本質」)為目標(林蓓伶等，2018)。其中「核心概念」細分為知識、理解和應用三個認知層級，「探究能力」細分為六個項目，包括審視資訊並界定問題、規劃實驗／探究計畫、執行實驗／探究計畫、分析與陳述數據、解釋數據並說明推理過程、分享與評鑑實驗／探究結論(林蓓伶等)。自然領域素養導向評量架構呼應十二年國教自然領綱架構，也呼應探究與實作課程的要點，

可提供教師利用探究與實作活動發展相關的評量試題，瞭解學生的探究能力，促使教學與評量具有一致性(alignment)，將有助於教師落實探究取向的教學。

二、教師專業發展的要素：課程設計與探究教學實務

課程設計是教師在執行探究教學之前事先須在腦中或紙上預演過的教學流程，甚至須考量學生的興趣與學習狀況，以便成功執行教學計畫。由於課程設計是教育理想與教學實務之間的中介過程，也是教師心中想像的教學實務(Van den Akker, 1997)。教師缺乏探究課程的設計能力，可能會造成教師對探究理解與探究教學的實施成效產生落差。因此，探究教學專業發展計畫中應協助教師認識探究教學的課程設計。

Wiggins與McTighe (1998)提出逆向設計(backward design)的概念，主要引導教師依照三個階段進行課程設計：(一)從期望學生學習的結果設定課程「目標」，(二)設計可「評量」出學習結果的評量方式與標準，(三)選擇合適的「教學」方法與流程。Krajcik, McNeill與Reiser (2008)的學習目標驅動(learning-goal-driven)的課程設計模式則是強調學習目標導向的設計模式，不特別強調評量與教學方法的先後順序，卻強調「目標—教學—評量」三者之間的一致性，以及從學生的結果修正課程的設計概念。

在課室中應該如何實施探究教學才能培養學生科學探究能力呢？過去科學教育學者曾依據教師是否提供學習者形成問題、選擇實驗器材、提供實驗步驟和提供實驗結果的機會，將科學探究分為驗證式探究、引導式探究、開放引導式探究和開放式探究四種層級的探究(Banchi & Bell, 2008; Schwab,

1962)。開放式探究如同讓學生經歷科學家研究問題的過程，就像進行科學展覽一樣，不易讓全班學生在課堂中進行。一些研究結果顯示引導式探究的成效比驗證式實驗更能提升學生的探究能力(Blanchard et al., 2010)。PISA 2006和PISA 2015科學素養評量報告結果顯示三大能力中，我國學生在「設計」(2015年排名第7名；2006年「形成科學議題能力」排名第13名)的能力是三大能力中表現最差的(佘曉清、黃莉郁、蘇怡蓓，2017；林煥祥，2008)，顯然，目前學校科學教育應想辦法提供有效的教學方式，給予學生提出研究問題與設計實驗的學習機會。

為了讓學生能體驗如科學家進行探究，有些學者建議採用專題式的探究(inquiry in project-based science) (Krajcik et al., 1998; Polman, 2000)或真實的探究(authentic inquiry/authentic school science) (Chinn & Malhotra, 2002)，也就是讓學生體驗科學家探究自然現象時所經歷的五個部分：(一)提出問題，(二)設計探究和規劃流程，(三)執行探究收集證據，(四)詮釋證據產生結論，(五)溝通研究結果。然而，學校中的實驗活動常採用課本所提供的實驗設計，學生缺乏設計實驗或提出科學問題的經驗。因此，Volkman與Abell (2003)提出將食譜式實驗轉化為探究取向的活動，便可培養學生「設計」的能力。或者，教師在探究教學中展現這五個探究特徵時，可依據學生主導或教師主導的分量多寡，營造出不同開放程度的科學探究(Hassard & Dias, 2013; NRC, 2000)。

對於初次使用探究教學的教師而言，哪些教學實務是教師最常出現的行為呢？Rushton, Lotter與Singer (2011)觀察7位參與1年探究教學計畫的高中化學教師他們的探究教學實務。研究發現「解釋科學概念」、

「呈現現象」及「鼓勵學生用不同的方法探究問題」三種教學行為最常被觀察到。許多教師喜歡用科學演示或預測、觀察、解釋(Prediction, Observation, Explanation, POE)教學法呈現現象，其主要目的是有助於教師解釋現象中所蘊含的關鍵概念。然而，他們較少觀察到的行為是「另有教學模式」、「由學生主導探究」及「與真實世界／領域的連結」。Grigg, Kelly, Gamoran與Borman (2013)則利用上述NSES所提到科學探究的五大特徵，課室觀察73個學校國小四、五年級科學課室，教師教學實務最常呈現的特徵是「提出回應問題所需提供的證據」和「從證據形成解釋」，其他三個探究特徵較少呈現。很顯然地，這兩個特徵是一般課程實驗中最主要的學習任務，Grigg等認為教師專業發展計畫對老師探究教學的影響很有限。

研究者長期以來觀察許多教師的探究教學，發現缺乏提問的能力可能導致他們探究教學無效，再回復為講述式教學。因此，增進教師提問與師生對話的能力將有助於他們實施高品質的探究教學。Chin (2007)指出教師善於提問有助於建構學生的思考，甚至可幫助學生思考地更深入。因為提問可誘導學生以科學的方式表達出他們的想法，幫助學生將專有名詞與他們熟悉的概念產生連結，並使概念發展地更好，如此他們的學習會顯得更有意義。Oliveira (2010)認為教師在課堂上口語的對話或學習單上的提問都具有不少的認知功能。提問可以幫助進行開放性探究的學生，將他們離題的話語或分析行為拉回與探究活動有關的狀態，並促進學生合作學習(Webb, Nemer, & Ing, 2006)。提問也能促使小組討論的學生合作產生高階的推理和有品質的解釋(Hogan, Nastasi, & Pressley, 1999)。另外，當教師進行科學演示、全班討論或動

手做活動時，教師提問，也可以給學生回饋(林淑楞、張惠博、段曉林、姜志忠、楊巽斐，2006)。甚至，學生在彙整網路上的資訊時，教師提問可促使學生展現他們在網站蒐集到資訊所產生的理解(Nieswandt & Bellomo, 2009)。因此，當學生在問題解決或探究活動的過程中，教師提出好問題，將有助於他們導向有意義的探究與知識建構。

三、教師教學實務的研究

過去的教師專業發展模式的思維常常是教師在職進修後，產生知識與信念改變，進而改變其教學實務，最後導致學生學習成果的改變；或者教師在職進修中，嘗試新教學實務而產生教學實務改變，教師發現學生學習成果改變後，造成教師態度和信念的改變。Clarke與Hollingsworth (2002)認為這種線性因果關係的模式過於簡單，因此，他們提出教師專業成長過程中教師個人(信念、知識、態度)、教學實務(專業上的試驗)、外在資源和明顯成果四個部分交互作用的關係，以及教師個人與這三個部分互動過程中，引發教師反思，造成教師教學或學生明顯的成果。然而，郭重吉(2018)認為這些因果關係的模式都忽略了學生和教師在教學情境中實際的互動，他認為這可能是教育理論與實務脫節的關鍵，也呼籲教育研究者應該用整體的觀點探討實務情境中的實務活動。因此，他參考Stufflebeam (2003)評鑑模式建立一個系統化的「教學實務模型」，供教育研究者探究教育計畫實踐過程中的問題。

Stufflebeam (2003)的評鑑模式是指一個方案／計畫推動乃為達成某些目標，將涉及相關的「情境」(context)、計畫「輸入」(input)的資源、執行的「過程」(process)和產生的「成果」(product)四部分一一進行評鑑，取

這些關鍵字的首字母將其稱為CIPP評鑑模式。郭重吉(2018)將CIPP模式運用於改進學校課室教學的計畫，建議研究者以系統化的思維探討教師受到一個教育計畫支持，進行教學改進的教學實務「過程」(包含課室教學、言行舉止、學習活動……)中，可能受到成員和支持系統「輸入」的資源(包括師生個人、同儕夥伴、教育社群……)、所處的「情境」(包含學校、課室、教育法規……)，以及產生的「成果」(包括教師自己的改變、學生學習的成果……)所影響。而此教育計畫(「輸入」資源)亦可從「成果」或變動的「情境」修改計畫內容，再次經歷新的計畫循環。

過去有些研究使用教學改革課室觀察表(Reformed Teaching Observation Protocol, RTOP)(Sawada et al., 2002)，瞭解教師探究教學實務(Blanchard et al., 2010; Rushton et al., 2011)。RTOP清楚地依據教師在建構教學取向的數學和科學課室中應有的教學表現標準，描述不同程度的教學表現，對於教師的教學表現共發展五個向度：(一)課程設計與實施，(二)陳述性知識，(三)程序性知識，(四)課室中的師生互動，(五)課室中學生之間的互動，每個向度有5個觀察項目。Tuan與Wen (2005)依據探究教學理論和自我效能理論發展探究教學效能問卷(Inquiry Teaching Efficacy Questionnaire, ITEQ)，讓教師自我檢驗探究教學能力。ITEQ包含探究能力、理解探究、探究教學能力、引導和評量探究和對探究教學結果的期望，共五個面向。其中，探究教學能力和引導探究兩個面向涉及教師對自己探究教學實務的評估，似乎較RTOP能突顯探究教學實務，有助於本研究比較不同教師的探究教學實務。

另外，教師教學效能(teaching effectiveness)的概念與本研究關注教師探究教學

實務的想法接近。文獻探討發現teaching efficacy和teaching effectiveness均翻譯為「教學效能」，前者指的是教師對自我教學效能的感受，而本研究所關注的教學效能是指教師運用各種教學策略或技巧、實施課程、教學和評量過程，使學生在學習和行為上有優良表現(張德銳、李俊達、王淑珍，2014)。通常評量教師教學效能的工具常會包含教學／課程準備、教材呈現／表徵、教學策略、師生溝通、學習環境、教學評量等面向(張德銳等)。先前研究已建立不少能完整勾勒探究教學實務的評量工具，然而，工具中繁多的項目較難突顯初次實施探究教學應優先掌握的要項，此乃本研究建立探究教學實務觀察評分表的目的。本研究參考各種教學實務的觀察量表和有關探究教學量表中的面向與項目，以建立能展現探究教學特徵，以利初次實施探究教學的教師掌握探究教學實務。

參、研究方法

一、研究設計

本研究規劃一教師專業發展計畫，協助教師發展素養導向試題、設計探究課程和實施探究教學，藉此促進教師瞭解科學能力，發展培養學生科學能力的探究教學實務。7位對發展素養導向試題與實施探究教學感興趣的教師參與此計畫。教師專業發展計畫歷時兩個學期，第一個學期主要協助教師發展試題和探究課程，第二個學期為實施探究教學。本研究採用準實驗研究法，為了探討教師探究教學的成效，每位個案教師選擇至少一個九年級的班級為實驗組，在同校中挑選一個學習成就相當的班級為對照組。實驗組和對照組在九上初期和末期進行學校科學能力試卷的前、後測。

研究者在每位個案教師教八年級和九年級上學期科學課程時，即進行課室觀察和訪談，瞭解個案教師的科學教學模式。個案教師需針對一學期的探究教學進行錄影，各提供8～12節課的影片。研究者觀察影片，進行要點記錄，再參考RTOP (Sawada et al., 2002)和探究教學自我效能問卷(Tuan & Wen, 2005)，以及持續比較7位個案教師在探究教學中的教學實務，最後建立「探究教學實務觀察評分表」，針對個案教師的探究教學實務進行評分，以探討7位教師實施探究教學的差異。

二、教師專業發展計畫

本研究採混合研究法(mixed-methods research)，研究一個教師專業發展計畫對學生科學能力發展和教師探究教學實務的影響。此專業發展計畫旨在協助教師發展素養導向試題和探究課程，藉由教師研究社群分享與討論所發展的試題與探究教學設計，以及實施探究教學，發展培養學生科學能力的探究教學能力。教師專業發展計畫分三階段進行：(一)認識、發展和分享素養導向試題：研究者首先介紹PISA科學素養評量內涵(OECD, 2006)、試題範例，以及與學校課程相關的素養導向試題範例。之後，教師須發展至少兩個題組的素養導向試題。(二)認識、發展和分享探究課程：研究者介紹逆向設計的模式(Wiggins & McTighe, 1998)，引導教師將特定的科學能力設定為探究課程的「學習目標」，設計可「評量」出學習結果的評量方式與標準，規劃合適的「教學」方法與流程。另外，提供「培養探究能力為目標的活動設計要點與教師檢核表」，幫助教師掌握學生的能力與設計有效的探究活動。在討論教師所設計的探究教案時，特別強調

「目標—教學—評量」三者之間的一致性，以及從學生的學習結果修正教學的設計概念(Krajcik et al., 2008)。(三)實施探究教學與課室觀察回饋：研究者於此計畫初期即課室觀察個案教師的教學，並訪談教師瞭解他們既有的教學。實施一學期的探究教學前，個案教師須填寫九上課程「培養學生探究能力的教學構想書」，簡述實驗組班級學生背景和特質，以及分別利用哪些教學活動或實驗培養哪一種探究能力。學期中個案教師實施至少兩個探究教學的教案，並錄製教學影片。研究者在課室或影片觀察後與個案教師進行討論，給予課室觀察回饋和教學建議。學期末，研究者透過訪談瞭解學期初規劃「培養學生探究能力的教學構想書」的實施狀況。

教師專業發展計畫中的活動形式分為小組會議和團體會議兩種。小組會議為研究者與2~3位教師一組，深入討論他們所發展的試題與教案，以進行修改。7位教師則在團體會議中分享個人修改後的試題和教案，研究者也藉由教師們在發展過程中所呈現的問題，提供專業知識，促進教師專業實務知識的發展。教師所分享的素養導向試題和探究課程，亦可作為他們實施探究教學的參考。

三、研究對象

運用分層隨機抽樣調查中部兩縣市自然領域國中科學教師的探究教學概念，藉機以問卷方式收集對發展類PISA試題和探究教學感興趣的教師資訊。透過舉辦教師研習方式，邀請感興趣的教師參加研習和認識本計畫。最後7位(4位男性，3位女性)國中自然領域教師參與本研究計畫，他們的教學年資都超過5年，年齡介於30~45歲，對於發展素養導向試題和探究教學能力有興趣。7位都重視學生的學業成就，科學教學與實驗教學有不

同的做法，以下簡要介紹他們既有科學教學特徵，括號中為性別和大學畢業科系：

- (一)盧老師(女，物理)：曾參與過教育部培訓教師研發類PISA試題的計畫，樂於學習和嘗試新的教學方法。善用多元表徵和教學方法、師生互動佳、有效經營教學與學習時間，檢討習作瞭解學生困難，善用小組討論和競賽。常示範實驗，觀察現象，有時讓學生做實驗，體驗實作。
- (二)秦老師(男，物理)：和盧老師一樣，曾參與過教育部培訓教師研發類PISA試題的計畫。因學校位處郊區，學生學習動機低落，希望學習新教學方法改善學習風氣。該校一週僅有4節科學課，使得他採用講述教學，較少提問、師生互動，也較少做實驗。一學期最多僅做2~3個實驗。
- (三)薛老師(女，物理)：善用Power Point (PPT)做動畫教學，重視筆記和解題。常用提問和抽號策略促使學生專注上課。藉由觀看課本實驗影片，學習實驗知識。有時間才會做實驗，喜歡讓學生實作未知、有趣的實驗，重視學生自己探索和發現的樂趣。
- (四)耿老師(男，物理)：善於運用影片、實物呈現科學現象，引導學生觀察，藉由多方資源選擇優質圖像表徵，製作PPT，著重解釋概念和解題。實驗著重於讓學生觀察現象。實驗前要求學生預習，學生依照課本步驟操作，實驗目的為透過動手操作提高學習興趣、加深學生印象。
- (五)阮老師(男，物理)：善用板書傳達重要概念與知識結構。實驗目的為呈現現象，若有時間則透過講解幫助學生瞭解實驗步驟，給予學生自行找出答案的機會。

鼓勵學生思考和提問，並不急於給予答案。

(六)甄老師(女，化學)：善於利用生活實例、影片提問，解釋科學概念，結合學習單和板書傳達課程內容。習慣將實驗器材寫在黑板，學生須自行選用器材，按照課本的步驟完成實驗。實驗目的主要為辨識實驗器材，透過自行操作，觀察現象。

(七)蔣老師(男，生物)：善於設計學習單，統整課程內容，重視課本圖、表和實驗。強調實驗在自然科學中的角色，幾乎課本中每一個實驗都會讓學生操作，學生須結合教師所設計的學習單收集實驗數據，教師會運用數據引導學生瞭解科學知識的產生。利用每學期末的實作評量，促使學生重視實驗操作。

7位老師挑選自行授課的九年級學生為實驗組，另外在該校挑選一班學業成就表現與實驗組相當的班級為對照組，共413位學生參與本研究。透過檢驗各校實驗組班級和對照組班級八年級期末考試成績，經獨立樣本*t*檢定，無顯著差異，而決定對照組班級。其中，甄老師和耿老師的實驗組和對照組都是自己授課，兩組科學教學的差異僅在實驗教學上。本研究實驗組採用探究式教學，對照組則採用一般教學方式。

四、研究工具

(一)學校課程科學能力(Curriculum Based Scientific Competence, CBSC)試卷

CBSC試卷主要由Lin與Shie (2015)參考PISA 2006科學素養評量架構與試題型式(OECD, 2006)，發展和效化一份與九上科學課程相關，以評量學生三種科學能力之工具。CBSC初版試卷經過專家審查和高一學生預試，分為A、B兩卷，每卷都可在45分鐘

內施測完。再由318位來自不同學業成就程度的4所高中的高一學生效化，施測結果採用試題反應理論(Item Response Theory, IRT)，分析試題的難易度、鑑別度、均方適合度(Mean Square, MNSQ)值，作為檢驗刪題或修改題目的依據。最後版本CBSC試卷由19個題組，48題組成，最高分數為59分。開放性問題21題、選擇題17題、是非題8題和簡答題2題，呈現試題型式多元的分布。各能力面向的最高分數分別為解釋面向26分，設計面向14分，詮釋面向19分。試卷整體難度平均值0.17 (範圍-2.73 ~ 5.48)，鑑別度平均值0.40 (範圍0.18 ~ 0.64)，MNSQ平均值1.00 (範圍0.80 ~ 1.23)。依據IRT選題標準難易度須介於-1.5 ~ 1.5，鑑別度介於0.2 ~ 0.8，MNSQ介於0.7 ~ 1.3 (Mead & Meade, 2010)，顯示CBSC試卷難易適中且具鑑別度。CBSC試卷在解釋、設計和詮釋面向的Cronbach's α 分別為.80、.70和.70，整體的Cronbach's α 為.89。本研究中學學生CBSC前測和後測的Cronbach's α 分別為.87和.92。

(二)探究教學實務觀察評分表

為了分析個案教師探究教學的實務表現，研究者觀看個案教師所提供的教學影片，進行要點記錄。並且，參考Rushton等(2011)觀察探究教學實務所使用的RTOP和Tuan與Wen (2005)探究教學自我效能問卷，經過比較7位個案教師的教學後，產生探究教學實務的編碼，以突顯個案教師探究教學的特色，且能與其他教師的實務表現有所差異。再者，針對同一個編碼，持續比較個案教師的表現，建立起探究教學實務不同層級，以完成「探究教學實務觀察評分表」。此評分表包含「探究教學效能」和「學習表現機會」兩大面向，共9個觀察項目。「探究教學效能」面向主要觀察教師運用多元表徵呈現科

學現象、營造學習環境與學習任務、教師提問與回答、對學生探究學習困難的瞭解與協助、系統化經營研究資料收集與詮釋資料、引導實驗討論與師生對話，以及對學生探究學習的要求和補救教學，共7項教學實務的表現。在「學習表現機會」面向上則觀察教師提供學生動手做和口語表達機會兩項的程度。每個項目建立四等第評分，表1呈現觀察項目「教師提問與回答」之評分標準。

為了提高此評分表的信度，2位熟悉國中理化教學且受過訓練的評分者，利用此評分表各自觀看每位教師至少3節的教學影片，並加以評分。2位評分者針對評分不一致的項目需提供觀察佐證，透過討論，修改評分標準的敘述，增強2位評分者對評分標準的共識。最後，評分者一致性達97%。

五、資料收集與分析

本研究收集學生學習成果和教師教學兩部分。學生學習成果的資料包括兩組學生CBSC試卷前測和後測結果，以及他們九上三次段考的成績。利用獨立樣本 t 檢定和單因子共變數分析(Analysis of Covariance, ANCOVA)比較實驗組和對照組CBSC試卷和學業成就的表現。

教師教學的資料收集包括課室觀察筆記、探究教學影片、探究教學前、中、後訪談，和教師發展素養導向試題和探究教學教案。探究教學前，研究者課室觀察個案教師

課室教學和實驗室教學，認識他們既有的教學模式。課室觀察後，採用半結構式訪談瞭解個案教師全面的科學教學模式，實驗教學的目的、實施方式、實施頻率，以及教師對探究教學的觀點，包括科學觀、教育目的、學生能力和有效的教學方式(Lotter, Harwood, & Bonner, 2007)。探究教學後亦採用半結構式訪談，利用教師在探究教學前填寫的「培養學生探究能力的教學構想書」，瞭解教師一學期間實施探究教學的狀況、培養三種科學能力的教學方式與成效評估，以及教師覺察自己教學實務的改變等，提供有關教師教學實務的資訊，進行資料的三角校正。另外，每位個案教師須提供8～12節課的探究教學影片，研究者利用「探究教學實務觀察評分表」針對7位個案教師的探究教學實務進行評分。

肆、研究結果與討論

一、學生科學學習成效

(一)科學能力的表現

表2呈現實驗組和對照組學生於CBSC試卷前、後測的結果。研究結果顯示實驗組和對照組的CBSC前測總得分和三個能力面向的得分均無顯著差異，表示兩組學生在探究教學前科學能力相當。為了檢視一學期的探究教學對學生科學能力的影響，將前測分數當作共變數，經ANCOVA後，實驗組整體的科學能力、解釋和設計的能力顯著高於對照

表1：探究教學實務觀察評分表中一項觀察項目之舉例

項目	1不足	2尚可	3佳	4優
教師的提問和回答	教師鮮少提出問題，問題幾乎都由教師回答。學生鮮少發言。教師的回答與解釋較不清楚。	教師偶爾會提出問題，但待答時間短，大多數問題由教師回答，解釋尚清楚。	教師會提出問題，但問題型態大多為簡答題；對於學生的回答會給予解答與解釋，但鮮少追問。	教師時常提出多型態的問題；對於學生的回答會給予合適的回應，包含追問、解答與解釋。

表2：實驗組與對照組學校課程科學能力試卷前、後測獨立樣本 t 檢定和單因子共變數分析結果

組別	n	前測 $M(SD)$	t	p	後測 $M(SD)$	Adjusted	F	p	η^2
CBSC			1.332	.184			5.546	.019	.016
實驗組	198	21.63 (9.29)			24.86 (11.21)	24.39 (0.58)			
對照組	147	20.26 (9.62)			21.65 (11.18)	22.28 (0.68)			
解釋科學現象			1.298	.195			3.926	.048	.011
實驗組	198	10.35 (4.08)			12.68 (5.83)	12.48 (0.34)			
對照組	147	9.75 (4.46)			11.18 (5.82)	11.46 (0.39)			
設計與評估科學探究			0.680	.497			8.526	.004	.024
實驗組	198	5.09 (3.27)			5.28 (2.89)	5.22 (0.16)			
對照組	147	4.86 (3.00)			4.41 (3.04)	4.89 (0.16)			
詮釋科學數據與證據			1.469	.143			3.099	.079	
實驗組	198	6.19 (3.26)			6.90 (3.46)	7.28 (0.22)			
對照組	147	5.65 (3.44)			6.06 (3.26)	6.68 (0.25)			

註：CBSC：學校課程科學能力(Curriculum Based Scientific Competence)。

組($F_{總} = 5.546, p = .019, \eta^2 = .016$; $F_{解} = 3.926, p = .048, \eta^2 = .011$; $F_{設} = 8.526, p = .004, \eta^2 = .024$)，表示探究教學影響學生科學能力的表現。然而，效果量 η^2 均低於.050，顯示教學法的差異對科學能力的表現解釋力不高。相反地，共變項效果的檢定則發現， $F_{總} = 308.189, p < .001, \eta^2 = .474$; $F_{解} = 179.858, p < .001, \eta^2 = .345$; $F_{設} = 225.096, p < .001, \eta^2 = .397$ ，這些結果表示共變項(前測)對於依變項的解釋力頗高。也就是學生的後測表現頗受他們既有的科學能力影響。研究者透過訪談得知至少有3位教師(盧老師、薛老師和秦老師)在發展PISA試題和設計探究教案期間(八年級下期間)，便逐漸改變他們的教學實務，上課時會嘗試採用探究取向的教學，鼓勵學生表達想法，培養他們科學表達的能力。也就是實驗組學生前測分數已經受到教師在練習探究教學時所影響。這些結果顯示科學教師透過發展類PISA試題、探究教學設計歷程，有助於個案教師有目的地以培養學生科學能力為教學目標，嘗試採用探究取向的教學，而提升學生的科學能力的表現。

(二)學業成就的表現

許多教師認為花時間讓學生做實驗將壓縮到學生學習與考試相關的內容，恐導致學生考試成績降低，所以不太願意提供機會讓學生做實驗。因此，檢視實驗組學生之學業成就表現是否較低於對照組學生是重要的。7位個案教師中，盧老師實驗組學生九上的學業成就顯著高於對照組($t = 2.262, p = .028, d = .63$)，其他6位教師的實驗組和對照組九上的學業成就並無顯著差異。顯然地，學生並未因多花時間做實驗而降低學業成就。另外，盧老師實驗組學生的學業成就與CBSC後測分數相關性非常地高($r = .941, p < .001$)，顯示利用探究活動培養學生三大科學能力亦有助於提升學生學業成就的表現。

二、教師探究教學實務與學生科學能力的關係

為了探討7位個案教師一學期探究教學的成效，比較他們各自實驗組與對照組的CBSC分數，發現僅盧老師的實驗組班級CBSC前

測平均分數已接近顯著高於對照組的狀況($t = 1.992, p = .053$) (表3)，同樣地，在發展類PISA試題和設計探究教案期間，和盧老師一樣已嘗試探究教學的薛老師的實驗組班級前測也有接近顯著高於對照組的狀況($t = 2.004, p = .050$) (表4)。後來經過九上一學期的探究教學，盧老師的實驗組後測平均分數顯著高於對照組($t = 2.315, p = .025, d = .68$)。但是，若以前測為共變數，檢視九上盧老師的實驗組和對照組教學法的成效，兩組學生後測分數則無顯著差異($F = 1.252, p = .269$)。

其他6位個案教師也採用相同的分析方式，以獨立樣本 t 檢定檢驗各個教師的實驗組和對照組前測分數，再以前測為共變數，利用ANCOVA檢視兩組的科學能力的差異，表4結果顯示兩組調整過的後測平均分數均未有顯著的差異。造成個別教師實驗組經九上期間科學能力未顯著高於對照組的可能因素有兩個，一是有效樣本數不足，另一為個別教師教學法影響的起始時間不同。由於須完成CBSC前、後測共四份試卷的學生試卷才能

進行分析，造成有效樣本數減少，此因素可能會影響統計效果。另外，有些個案教師在發展類PISA試題和探究教案期間(八年級下學期)，便已經開始練習探究教學，尤其以盧老師和薛老師最明顯。然而，CBSC前測是九上初期施測，這個因素是原本準實驗研究設計未預期到的。

由於個案教師的探究教學實務應是重要的影響因素。因此，值得進一步比較個案教師的探究教學實務。個案教師在探究教學後的訪談中，檢視自己在此學期依照原訂規劃，其中依照規劃並實施較多探究活動，培養學生三種探究能力為盧老師和蔣老師。尤其，他們兩位為了讓學生收集實驗數據或設計科學探究，提供較多動手做的實作機會，盧老師實作4個活動，蔣老師則實作11個活動。然而，蔣老師的實驗組學生在CBSC後測表現卻未能顯著優於對照組學生($t = 0.149, p = .882$)。但是，實驗組在CBSC的進步卻顯著優於對照組($t = 2.388, p = .021$) (表5)，這代表蔣老師的教學對學生科學能力提升仍有相當的影響。

表3：盧老師實驗組與對照組學校課程科學能力試卷前、後測獨立樣本 t 檢定的結果

組別	n	前測			後測			
		$M(SD)$	t	p	$M(SD)$	Adjusted	F	p
實驗組	25	23.88 (9.14)	1.992	.053	27.48 (10.81)	24.89 (1.14)	1.252	.269
對照組	22	18.45 (9.52)			20.05 (11.19)	22.99 (1.22)		

表4：6位教師的實驗組與對照組學校課程科學能力試卷前測獨立樣本 t 檢定和單因子共變數分析結果

組別	前測		ANCOVA	
	t	p	F	p
蔣老師組	-1.716	.092	3.223	.079
薛老師組	2.004	.050	0.958	.332
耿老師組	-1.058	.294	2.824	.098
秦老師組	1.459	.152	0.487	.489
阮老師組	1.434	.160	0.033	.856
甄老師組	-0.799	.428	3.340	.074

註：1. ANCOVA：單因子共變數分析(Analysis of Covariance)。

2. t 值正號代表為實驗組平均分數大於對照組。

表5：蔣老師和耿老師的實驗組與對照組學校課程科學能力試卷前、後測平均值、標準差和學校課程科學能力試卷進步值獨立樣本 t 檢定的結果

組別	n	蔣老師					n	耿老師				
		前測 $M(SD)$	後測 $M(SD)$	進步值 $M(SD)$	t	p		前測 $M(SD)$	後測 $M(SD)$	進步值 $M(SD)$	t	p
實驗組	24	18.96 (7.99)	22.33 (8.01)	3.38 (6.48)	2.388	.021	44	20.86 (9.18)	24.64 (9.78)	3.77 (6.16)	1.544	.136
對照組	30	23.20 (9.77)	21.97 (9.72)	-1.23 (7.46)			22	23.32 (8.23)	21.59 (11.46)	-1.73 (16.13)		

另外，耿老師是僅次於前兩位老師給予學生3個實作活動的老師。他的實驗組和對照組都是由他授課，他對兩組學生主要的教學差異為實驗教學方法不同。實驗組採用結構性探究，未知結果，先做實驗，依據探索的結果講解概念；而對照組進行驗證性探究，學生驗證已經學過的概念。表5結果顯示實驗組在CBSC的進步值平均高於對照組，但是因兩組進步值變異數不同質，未通過同質性檢定，以致 t 檢定結果顯示實驗組進步值無法顯著高於對照組。

除了個案教師給予學生實作機會的差異，教師探究教學實務的品質應該與學生的科學能力表現有關。兩位評分者利用「探究教

學實務觀察評分表」針對7位個案教師的探究教學影片進行評分，表6的結果顯示盧老師的探究教學實務獲得最高分，盧老師利用與概念相關的影片呈現新奇的現象(如蛇擺、卸竹子、水刀等)，提問營造師生對話，培養解釋的能力。利用知名互動模擬程式(Physics Education Technology, PhET)和課本實驗，讓學生調整變因，收集數據，以及樂高積木設計不易傾倒的吊車，培養設計和詮釋的能力，不僅提供學生動手做的機會，也讓學生發表想法，瞭解學生進行探究所遇到的困難，適時引導全班學生注意，解決關鍵困難。因此，全班學生在實驗課的主動性很強，達成任務的比例也高。更重要的是雖然

表6：7位個案教師的探究教學實務觀察評分結果

項目	盧老師	蔣老師	薛老師	耿老師	秦老師	阮老師	甄老師
節數／週	6	6	5	5	4	6	6
探究教學效能							
科學演示和影片的選擇	4	2	3	2	3	2	2
教師的提問和回答	4	3	1	3	2	2	2
對學生探究困難的瞭解與協助	4	3	2	2	1	1	1
系統化經營研究資料收集	3	3	2	1	2	1	1
實驗討論與師生對話	3	2	2	2	1	1	1
學習環境與任務經營	4	2	2	2	2	1	1
學習要求與補救教學	4	1	2	2	2	1	1
學習表現機會							
動手做機會	4	4	2	2	2	1	1
口語表達機會	4	2	3	1	2	1	1
總分	34	22	19	17	17	11	11

註：表中評分標準為不足 = 1，尚可 = 2，佳 = 3，優 = 4。

小組進行實驗，但是每個人都需自行完成學習單。她要求準時上課和傾聽他人發言的學習環境，實驗氣氛活絡卻不亂序。這些教學實務有助於盧老師實驗組學生科學能力的發展。

探究教學實務第二高分的是蔣老師。他提供實作的活動數量高於盧老師，然而，兩位老師最大的差異是對學生學習的要求、學生口語表達及師生對話。蔣老師在對學生的「學習要求與補救教學」項目表現最差，主要原因是實驗組學生進行實驗時，一個小組僅需完成一份學習單，因此，僅少數學生操作器材，其他學生較不積極參與。當老師在檢討各組數據時，也較難引起有效的討論和師生對話。課堂上很少學生表達他們的想法，不易產生深入的實驗討論，以致「學習環境與任務經營」和「實驗討論與師生對話」項目分數較低。蔣老師對實驗組學生有這樣的描述：「不愛念書，喜歡實驗，也喜歡問問題，但較無歸納能力。適合以日常生活經驗或小活動引起動機」(蔣老師的「培養學生一學期探究能力的教學構想書」)。或許這是蔣老師對學生學習要求較低，較少培養他們口語表達的原因。在CBSC試卷中有一些開放性試題，評量學生表達科學的能力。7位教師中僅有盧老師在「實驗討論與師生對話」和「口語表達機會」項目在3分以上，大部分老師可能都忽視這兩項目在培養學生表達科學能力的重要性。

表7呈現教師運用四種不同活動培養學生三種科學能力的統計表。所有教師都是設計較多活動培養解釋的能力，培養其他兩種能力的活動則偏少。主要原因為促進內容知識的理解與傳統教學的目標相同，對教師的教學挑戰較小，以科學影片或科學演示呈現現象是所有活動中最省時間的，活動數量也最

多。其他兩種能力的培養需要做實驗，收集和詮釋研究數據等，需花費較多時間實施。另外，較少研究提出有效地培養這兩種能力的教學法，也讓不少教師不願嘗試。許多老師常以授課時數不足為由，減少讓學生做實驗的機會。盧老師和蔣老師的學校提供一週6節的自然課(包含第8節)，似乎他們有較足夠的時間。但是，表7中阮老師和甄老師的學校也有每週6節自然課，但是，他們實驗組一學期學生僅進行1~2次探究實作，實驗次數還低於每週4節課的秦老師。分析7位教師課堂科學教學影片，發現大多數教師未覺察自身科學教學效能的問題，常將學生學習成效不佳歸因於學生不認真，卻未深入瞭解學生學習困難與低興趣的原因，反思自己的教學方式與內容對學生的有效程度。表6「探究教學效能」面向中6個項目的「科學演示和影片的選擇」、「教師的提問和回答」、「對學生學習困難的瞭解與協助」、「實驗討論與師生對話」、「學習環境與任務經營」五項內涵，也屬於一般科學教學的效能。也就是教師若一般科學教學效能不佳，在探究教學上更難有好的教學效能。教師探究教學效能不佳，便很難安排時間給予學生探究與實作的機會。

另外，從訪談中，有3位教師提到自己在科學教學上有較大的改變，這些改變源自於他們願意嘗試新教學法或增加新教學內容，以改進教學。在教學上嘗試新事物需要花心思調整既有的教學模式，設計和準備教學內容。例如盧老師和秦老師對於如何在有限的時間內，找到有效培養學生設計和詮釋能力的教學法，他們都嘗試使用PhET線上模擬教學。秦老師兩個探究活動都是採用PhET，減少學生實驗操作錯誤，以及收集數據的時間，有效培養學生在探究中瞭解各種變因的

表7：個案教師實施不同教學活動以培養三種科學能力的活動數量

能力	科學影片	科學演示	電腦模擬	實作活動	活動總數
盧老師					
解釋科學現象	6	1	1	1	9
設計與評估科學探究			1	1(1)	2(1)
詮釋科學數據與證據				2	2
蔣老師					
解釋科學現象	4	8	1	6	19
設計與評估科學探究				2	2
詮釋科學數據與證據				3(2)	3(2)
薛老師					
解釋科學現象	2	2		1	5
設計與評估科學探究	1				1
詮釋科學數據與證據				(1)	(1)
耿老師					
解釋科學現象	1	1		3	5
設計與評估科學探究				(2)	(2)
詮釋科學數據與證據				(1)	(1)
秦老師					
解釋科學現象					0
設計與評估科學探究			2		2
詮釋科學數據與證據			(2)	1	1(2)
阮老師					
解釋科學現象		1		1	2
設計與評估科學探究					0
詮釋科學數據與證據				(1)	(1)
甄老師					
解釋科學現象	2				2
設計與評估科學探究				1	1
詮釋科學數據與證據				1	1

註：由於某些活動可能培養一種以上的能力，培養第二種能力的活動計數以括號表示，以避免重複計算活動數量。

意義(秦老師訪談20170713)。盧老師過去主要使用科學演示，較少讓學生實作進行探究活動，但是這個計畫讓她嘗試多給予學生做科學實作的機會，學生的表現讓她有信心繼續實施探究活動(盧老師訪談20170712)。蔣老師則給予學生收集資料，詮釋數據，產生圖、表的學習機會。雖然教學成效未如預期理想，但是他卻獲得如何改進這部分的教學方式(蔣老師訪談20170721)。相較之下，其他4位教師有較多授課時間不足的理由，訪談中

感受到改進教學的動機較其他3位低，以致既有教學方式改變較少。這可能也是他們實驗組學生在科學能力較難與對照組有明顯差異的原因之一。簡而言之，大多數這些教師在學校科學老師中屬於科學教學頗受學生肯定的老師，倘若缺乏改變教學的動機，以既有的教學模式進行教學，不易培養學生科學能力。除了自身教學改變的需求不足外，科學能力並未成為學校評量的重點，或許也是教師缺乏改變動力的因素。

伍、結論與建議

一、促進學生科學能力發展的方式

(一)高品質的探究教學實務

從研究結果顯示促進教師熟悉三大科學能力與探究課程設計的專業發展計畫，促使教師實施一學期的探究教學，對整體實驗組學生科學能力的影響顯著高於對照組，其中探究教學比一般教學法能提升學生解釋和設計的能力，但效果量不大。比較各位教師的實驗組與對照組學生一學期科學能力的改變，發現7位教師實驗組學生的科學能力未能顯著優於對照組。除了有效樣本數不足，以及部分教師在前測之前便試行探究教學而提升學生的前測分數，可能是造成個別教師探究教學成效無法優於一般教學外，教師探究教學的實務能力仍有進步的空間。綜合整體和個別比較結果，可知提升中學生科學能力並非容易，每位教師在探究教學的努力，才能在整體學生的表現上看到與一般教學的差異。比較7位教師探究教學實務的表現(表6)，發現盧老師的分數似乎與其他6位教師有相當大的差距。欲有效提升學生三大科學能力，需有優質的探究教學實務。這些結果顯示協助教師發展類PISA試題、探究教案的設計，並實施一學期探究教學的專業發展計畫，對教師具有足夠的探究教學能力仍十分有限。然而，讀者應留意本研究中個別教師的學生樣本數太小，以及並未以個案分析方式呈現個別教師豐富的質性資料，這些研究限制可能威脅著本研究的結果。因此，建議未來研究在研究設計上應留意兩點，第一，將學生的前測施測設計在教師專業發展計畫之前；第二，若個別班級樣本數太少，可著重於個別教師的個案分析，結合量化與質化分析(即課室觀察和教師訪談)，完整地檢視專業發展

計畫對教師探究教學實務和學生科學能力的影響。

Blanchard等(2010)的研究發現教師有越好的探究教學實務(即RTOP分數越高)，學生在科學能力的分數也越高，而且知識的延宕表現越好。然而，使用探究教學但RTOP分數低的教師，其學生的科學能力分數也是最低的，甚至比驗證式教學的學生低。因此，並非使用探究教學，學生科學能力的表現就會好，教師仍須有高品質的探究教學實務，才有助於學生科學能力的發展。Blanchard等與本研究結果都呼應教師的探究教學實務與學生科學能力具有相關性。以下歸納3個關鍵的探究教學實務，作為發展教師探究教學專業能力值得努力的方向。

1. 呈現現象，增強師生對話能力

研究者發現盧老師在參與本計畫之前便具有相當高的教學效能，並且常使用科學演示展示現象，用問題和示範引導學生探究現象，如同林淑楞等(2006)鼓勵教師實施探究取向的科學演示。在此基礎下，較易設計和實施探究教學。7位教師初次實施探究教學，在9項探究教學實務中以「科學演示和影片的選擇」和「教師的提問和回答」兩項分數最高，展現出以優先呈現現象(phenomenon first)的教學，目的為解釋課程內的概念，這些表現與Rushton等(2011)研究國小初次實施探究教學的教師表現相似。顯然，國內外學校和大型入學考試的內容仍以內容知識為主，促進學生概念理解仍是科學教師最重視的教學目的。

2. 兼顧動手做與口語表達機會

從7位教師所提供的教學活動(表7)顯示，動手做的實作活動是教師們認為可促進學生發展科學能力的主要學習方式，尤其蔣

老師是提供最多動手做機會的教師，但是學生卻鮮少有口語表達的機會。Rushton等(2011)發現教師在RTOP表現較差的項目，如有教師「多元的溝通技巧」及「學生間的對話」，與本研究教師在「實驗討論與師生對話」和「口語表達機會」較少的狀況也相似。研究者觀察盧老師利用科學演示呈現現象，操弄教具，引導學生表達想法，進行探究的教學行為即是探究取向的科學演示(林淑楞等，2006)。盧老師原有的教學中便善於提問與師生對話，相較之下，蔣老師這部分的教學技能較弱。或許這是蔣老師在九上呈現許多科學現象，擬培養學生科學解釋的能力，卻常以教師解釋的教學方式。此效果可能不如盧老師精選現象的影片或演示，採用探究取向教學，給予學生口語表達的機會，加強師生對話，可達到更佳的教学成效。由此可知，兼重動手做與口語表達機會在發展學生科學能力上缺一不可。尤其，教師應從學生在動手做和口語表達中，瞭解學生在探究中遇到的學習困難，提供適時的幫助，促使有效的學習。

過去，謝宛秦(2015)曾以加強論證之探究教學培養學生科學能力，經過一學期的教學實驗，實驗組學生CBSC分數顯著高於傳統講述教學的對照組學生。但是，兩組在學業成就上並無顯著差異。由於CBSC試題與傳統試題最大的差異，在於前者有開放式試題評量學生科學表達的能力。盧老師和謝宛秦為了培養學生這些科學能力，在教學設計給予不少表達想法的學習任務(如口語或寫作)，藉此瞭解學生的想法，增進師生的對話機會。

3. 重視「學習要求和補救教學」和「系統化經營研究資料收集」

本研究9項探究教學實務著重於「探究教學效能」與「學習表現機會」兩個面向，能

精簡地指出初次實施探究教學之教師值得努力的要點。尤其，「學習要求與補救教學」是本研究比較2位計畫參與度、投入度相當高的教師——盧老師和蔣老師的教學影片所發現的重要差異。另外，「系統化經營研究資料收集」屬於探究教學中較高難度的活動設計，7位教師中較少教師能展現出這項實務能力。此項教學實務類似教師將科學展覽中探究一個主題的數個研究問題，分攤到各組學生進行研究問題的探究。例如1個主題探討3個研究問題，全班6組，每2組探究1個研究問題，屆時教師彙整3個研究問題的探究結果進行討論，全班分工可對此研究主題有全面的瞭解。探究相同問題的兩組學生可藉此進行論辯，瞭解研究資料的一致性或評估研究設計與操作的優劣。這兩個項目是RTOP觀察教師教學的工具所未發現的，是本研究的一個貢獻。再者，探究教學實務觀察評分表的9個項目也較能呼應5個科學探究特徵。在探究教學實務中能表現出科學探究的五大特徵也是評量教師探究教學實務的一種評量方式(Grigg et al., 2013)，更是初次實施探究教學的教師值得努力的方向。

(二) 足夠的科學課堂時數

科學課的上課時數一直是教師不願在課程中安排實驗或探究活動的因素。九年一貫課程中自然與生活科技領域有3～4節課，各校有4～6節彈性課程和輔導課可安排(教育部，2008)，以致此研究中7位教師每週上課節數有4～6節課的差異。投入較多探究教學嘗試的盧老師和蔣老師，其學校均安排6節課，所有教師對於需花較多時間培養的設計和詮釋能力的活動甚少。然而，學校每週僅安排4節課的秦老師1學期中僅能安排1次實作活動。2019年實施的自然領綱，國中自然科學領域每週僅安排3節課(國家教育研究院，

2018)，卻期望教師在教學中納入探究與實作，科學教師所面臨的挑戰將越來越大。科學教育學會2017年曾組成十二年國教科學課程研究小組，針對國際上科學表現優秀的幾個國家(如日本、韓國、中國[北京]、芬蘭、英國、法國)科學課程時數與我國現行的自然領綱進行比較，調查結果發現我國在國中和普通高中科學時數占總在學時數的比率是7個國家中最低的(連啟瑞等，2017)。綜合本研究與國際比較研究結果，建議教育政策者重視科學教育現場實施探究教學的實際狀況，制定合適的課程節數，才能讓學生有機會實作、表達科學，達到培養學生具備科學素養的教育目標。

二、支持教師探究教學專業發展的啟示

研究者參考郭重吉(2018)教學實務模型，繪製探究教學實務模型(如圖1)，在此說明教師實施探究教學的「過程」(探究教學實務)，受到哪些主要的個人與支持系統「輸入(資源)」和「情境」因素。研究結果顯示，7位教師設計和實施探究教學的實務與他們「個

人既有的教學效能」和「教學改變的投入程度」有關。Prilleltensky (2014)認為教師「個人能力」和「參與程度」是促進教師實現其教育目標兩個大途徑。「個人能力」和教師的自我效能、教學精熟度和掌握感三者有關，而「參與程度」與教師參與計畫的積極度、權力擁有度、相關性和理解程度四項有關(郭重吉)。研究者觀察7位教師尚未實施探究教學前，發現盧老師和耿老師原本的科學教學已有相當好的教學效能(即教師「個人能力」)，但是盧老師想要實施探究教學的投入程度相當高，反之耿老師投入程度十分有限(即教師「參與程度」)。另外，學生也是影響教師探究教學實務的因素之一。蔣老師的實驗組學生對科學學習的投入度較盧老師的學生差(即學生「參與程度」)。而秦老師學校一週僅有4節科學課，也使得他很難有足夠時間讓學生進行探究活動(即「學校現場」、「法規制度」)。儘管7位教師接受相同的教師專業發展活動，但是這些正向與負向因素影響的綜合結果，可解釋他們的探究教學實務為何有相當不同的差異。

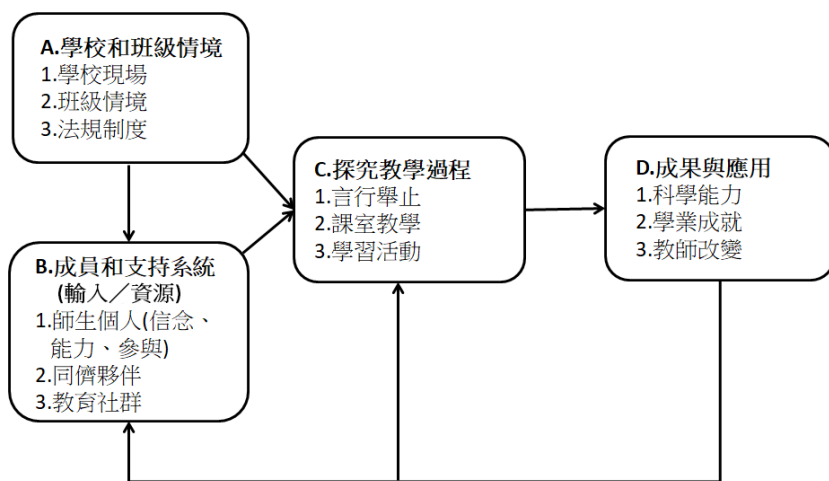


圖1：探究教學實務模型

另外，欲培養學生的科學能力需教師裝備足夠的探究教學實務知識，本研究和許多研究結果顯示，對大多數教師而言，一年的教師專業發展可能尚嫌不足(Hassard & Dias, 2013; Rushton et al., 2011)，運用網站彙集優質的探究教學影片、探究教學設計、教師社群的支持等，結合面對面與線上資源的彈性學習方式，可能是持續支持教師實施探究教學的學習方式(余忠潔、段曉林，2017；Tuan,

Yu, & Chin, 2017)。「反思」是影響教師不滿傳統教學，嘗試和精進探究教學實務的關鍵(曾崇賢、段曉林、靳知勤，2011)。建議未來教師探究教學專業發展活動中，不僅須重視反思教師的探究教學，更需要著重於反思既有教學缺乏效能的原因。先解決教師既有的教學問題，應更容易進階至較具挑戰性的探究教學。

參考文獻

1. 大學入學考試中心(2017年11月)。**108新課綱與素養導向命題精進方向**。查詢日期：2019年8月11日，檢自https://www.ceec.edu.tw/files/file_pool/1/0J193582659306285510/17.pdf。
2. 余忠潔、段曉林(2017)。以MAIT網路促進科學教師探究教學能力之專業成長。**師資培育與教師專業發展期刊**，**10**(1)，105-133。doi:10.3966/207136492017041001005
3. 余曉清、黃莉郁、蘇怡蓓(2017)。臺灣學生科學素養的表現。收錄於余曉清、林煥祥(編著)，**PISA 2015 臺灣學生的表現**(頁23-80)。臺北市：心理出版社。
4. 林淑楞、張惠博、段曉林、姜志忠、楊巽斐(2006)。一位高中物理教師對於探究取向科學演示的詮釋以及其實施的影響因素之研究。**科學教育學刊**，**14**(6)，615-640。
5. 林煥祥(2008)。**臺灣參加PISA 2006成果報告**(NSC 95-2522-S-026-002)。臺北市：行政院國家科學委員會。
6. 林蓓伶、潘昌志、蘇少祖、陳柏熹(2018)。十二年國教國中階段自然科學領域素養導向評量試題之開發與初探。**教育科學研究期刊**，**63**(4)，295-337。doi:10.6209/JORIES.201812_63(4).0010
7. 教育部(2008)。**國民中小學九年一貫課程綱要總綱**。查詢日期：2019年8月11日，檢自<https://cirn.moe.edu.tw/Upload/file/36/67053.pdf>。
8. 郭重吉(2018)。從實務理論初探教學實務模型的發展與應用。**師資培育與教師專業發展期刊**，**11**(3)，31-59。
9. 郭重吉、邱美虹、黃台珠、張惠博、張俊彥、周進洋等(2009)。中小學學生科學學習成果的評量架構與命題示例之研發。**科學教育學刊**，**17**(6)，459-479。doi:10.6173/CJSE.2009.1706.01
10. 國家教育研究院(2018年11月2日)。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。查詢日期：2019年1月11日，檢自https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/63/pta_18538_240851_60502.pdf。

11. 連啟瑞、李暉、李松濤、林淑楞、劉叔秋、鄭夢慈等(2017年7月10日)。中華民國科學教育學會e-News——2017年6月：十二年國民基本教育科學課程時數——國際比較之摘要報告。查詢日期：2019年7月1日。檢自<http://www.ase.org.tw/?menuid=9705&lgid=2&sitid=100495>。
12. 張惠博、林陳涌(2011)。科學素養評量。查詢日期：2018年11月11日，檢自<http://pisa2015.nctu.edu.tw/pisa/index.php/tw/resource/39-download/44-download>。
13. 張德銳、李俊達、王淑珍(2014)。認知教練對中小學教師教學省思及教學效能影響之研究：以參與教師專業發展評鑑方案之教師為例。臺北市立大學學報，45(1)，61-80。doi:10.6336/JUT.4501.004
14. 曾崇賢、段曉林、靳知勤(2011)。探究教學的專業成長歷程——以十位國中科學教師的觀點為例。科學教育學刊，19(2)，143-168。doi:10.6173/CJSE.2011.1902.04
15. 靳知勤(2002)。效化「基本科學素養問卷」。科學教育學刊，10(3)，287-308。doi:10.6173/CJSE.2002.1003.04
16. 謝宛秦(2015)。加強論證之探究教學對九年級學生科學學習成效之影響。未出版之碩士論文，國立彰化師範大學科學教育研究所，彰化市。
17. Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26-29.
18. Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. doi:10.1002/sce.20390
19. Bybee, R. W., Carlson-Powell, J., & Trowbridge, L. W. (2014). *Teaching secondary school science: Strategies for developing scientific literacy*. Harlow, UK: Pearson.
20. Bybee, R. W., McCrae, B., & Laurie, R. (2009). PISA 2006: An assessment of scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 865-883. doi:10.1002/tea.20333
21. Chin, C. (2007). Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), 815-843. doi:10.1002/tea.20171
22. Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. doi:10.1002/sce.10001
23. Clarke, D., & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18(8), 947-967. doi:10.1016/S0742-051X(02)00053-7
24. Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884-896. doi:10.1002/tea.20334
25. Glynn, S. M., & Muth, K. D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving sci-

- entific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 1057-1073. doi:10.1002/tea.3660310915
26. Grigg, J., Kelly, K. A., Gamoran, A., & Borman, G. D. (2013). Effects of two scientific inquiry professional development interventions on teaching practice. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 35(1), 38-56. doi:10.3102/0162373712461851
27. Gyllenpalm, J., Wickman, P.-O., & Holmgren, S.-O. (2010). Teachers' language on scientific inquiry: Methods of teaching or methods of inquiry? *International Journal of Science Education*, 32(9), 1151-1172. doi:10.1080/09500690902977457
28. Hassard, J., & Dias, M. (2013). *The art of teaching science: Inquiry and innovation in middle school and high school*. New York, NY: Routledge.
29. Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (1999). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17, 379-432. doi:10.1207/S1532690XCI1704_2
30. Hurd, P. D. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13-16.
31. Jetton, T. L., & Shanahan, C. H. (2012). *Adolescent literacy in the academic disciplines: General principles and practical strategies*. New York, NY: Guilford Press.
32. Keys, C. W., & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645. doi:10.1002/tea.1023
33. Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 313-350. doi:10.1080/10508406.1998.9672057
34. 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. doi:10.1002/sce.20240
35. Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*, 1(3), 138-147.
36. Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
37. Lin, S.-F., & Shie, W.-C. (2015, September). *Development and validation of school-based science literacy test*. Paper presented at the European Science Education Research Association. Helsinki, Finland.
38. Lotter, C., Harwood, W. S., & Bonner, J. J. (2007). The influence of core teaching conceptions on teachers' use of inquiry teaching practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(9),

1318-1347. doi:10.1002/tea.20191

39. Mead, A. D., & Meade, A. W. (2010, April). *Test construction using CTT and IRT with unrepresentative samples*. Paper presented at the Annual Conference of the Society for Industrial and Organizational Psychology. Atlanta, GA.
40. National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
41. Nieswandt, M., & Bellomo, K. (2009). Written extended-response questions as classroom assessment tools for meaningful understanding of evolutionary theory. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 333-356. doi:10.1002/tea.20271
42. Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240. doi:10.1002/sce.10066
43. Oliveira, A. W. (2010). Improving teacher questioning in science inquiry discussions through professional development. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 422-453. doi:10.1002/tea.20345
44. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. Paris, France: Author.
45. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013, March). *PISA 2015 draft science framework*. Retrieved May 5, 2014, from <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>
46. Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. doi:10.1007/s10972-014-9384-1
47. Polman, J. L. (2000). *Designing project-based science: Connecting learners through guided inquiry*. *Ways of knowing in science series*. Williston, VT: Teachers College Press.
48. Prilleltensky, I. (2014). Meaning-making, mattering, and thriving in community psychology: From co-optation to amelioration and transformation. *Psychosocial Intervention*, 23(2), 151-154. doi:10.1016/j.psi.2014.07.008
49. Rushton, G. T., Lotter, C., & Singer, J. (2011). Chemistry teachers' emerging expertise in inquiry teaching: The effect of a professional development model on beliefs and practice. *Journal of Science Teacher Education*, 22(1), 23-52. doi:10.1007/s10972-010-9224-x
50. Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2009). Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: Assessment for progressive aims of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 909-921. doi:10.1002/tea.20327
51. Sawada, D., Piburn, M. D., Judson, E., Turley, J., Falconer, K., Benford, R., et al. (2002). Measuring reform practices in science and mathematics classrooms: The Reformed Teaching Observation Protocol. *School Science and Mathematics*, 102(6), 245-253. doi:10.1111/j.1949-

8594.2002.tb17883.x

52. Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as inquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein (Eds.), *The teaching of science as enquiry* (pp. 3-103). Cambridge, MA: Harvard University Press.
53. Stufflebeam, D. L. (2003). The CIPP model for evaluation. In T. Kellaghan, D. L. Stufflebeam, & L. A. Wingate (Eds.), *International handbook of educational evaluation* (pp. 31-62). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
54. Tuan, H.-L., & Wen, M. C. (2005, November). *The development of an inquiry teaching efficacy questionnaire*. Paper presented at the International Conference of Authentic Science and Mathematics (Teachers) Education in The Netherlands & Taiwan. Hsinchu, Taiwan.
55. Tuan, H.-L., Yu, C.-C., & Chin, C.-C. (2017). Investigating the influence of a mixed face-to-face and website professional development course on the inquiry-based conceptions of high school science and mathematics teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(8), 1385-1401. doi:10.1007/s10763-016-9747-5
56. Van den Akker, J. J. H. (1997). The science curriculum: Between ideals and outcomes. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *The international handbook of science education* (pp. 421-447). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
57. Volkmann, M., & Abell, S. K. (2003). Rethinking laboratories: Tools for converting cookbook labs into inquiry. *The Science Teacher*, 70(6), 38-41.
58. Webb, N. M., Nemer, K. M., & Ing, M. (2006). Small-group reflections: Parallels between teacher discourse and student behavior in peer-directed groups. *The Journal of the Learning Sciences*, 15, 63-119. doi:10.1207/s15327809jls1501_8
59. Wiggins, G. P., & McTighe, J. (1998). *Understanding by design*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.

Investigating the Relation Between Students' Scientific Competences and Their Teacher's Inquiry Teaching Practices

Shu-Fen Lin*

Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

Abstract

The purposes of this study were to examine the impact of a teacher professional development (PD) project on students' scientific competences and learning achievement, and to investigate the relationship between teachers' inquiry practices and their students' learning performance. Seven science teachers in junior high schools participated in the project. They developed some literacy-guided items, designed an inquiry teaching plan in six months, and then implement the inquiry teaching plan during one semester. A quasi-experimental design was adopted to compare students' scientific competences and learning achievement between an experimental group and a control group. Two instruments were used in this study: the "Curriculum Based Scientific Competence (CBSC) test" and the "scoring rubric of inquiry teaching practices." The CBSC test assessed grade 9 students' scientific competences of "explaining scientific phenomenon," "designing and evaluating scientific inquiry," and "interpreting data and evidence." Teaching videos were scored by using a scoring rubric for evaluating inquiry teaching practice. Results indicate that the students' total scientific competence score of the experimental group was significantly higher than the control group, and the comparisons of the three scientific competence scores were similar. However, the analysis of individual teacher's groups, the total scientific competence score, and the students' learning achievement of one teacher's experimental group was significantly higher than the students' of another teacher's control group. After analysis of the relationship between seven teachers' inquiry teaching practices and their students' learning performance, the finding indicated that a teacher's effectiveness of inquiry teaching and the provided opportunities for students to engage in inquiry learning (i.e., oral expression and hands-on) were related to the teacher's performance of inquiry teaching practices. In addition, a teacher's use of inquiry teaching practices seemed to have a relationship with their students' learning performance. Finally, the factors which influence a teacher's initial inquiry teaching practices were discussed.

Key words: Scientific Competence, Inquiry Teaching, Teaching Effectiveness, Teaching Practice, Assessment

* Corresponding author: Shu-Fen Lin, sflin@cc.ncue.edu.tw