

科學教育新熱點—科學探究學習進程

黃滄翔*、高慧蓮**、陳淑敏***、黃楸萍****

摘要

學習進程(learning progressions, LPs)是科學教育改革中出現的新理念，學習進程的提出為目前科學課程廣而不深，課程、評量、學習脫節等問題提供了新的解決方法，而在面對未來知識爆炸性增加時代的來臨，邁入知識經濟的新時代，我們應培養學生具備探究能力與素養，使之能有效參與快速變遷的全球化社會，目前國內科學教育研究確認科學探究為科學教育重要改革之一，然而科學探究過程的明晰性、科學探究能力的界定等等均在實務的教學實踐中漸漸模糊。本文介紹發展國小科學探究學習進程的評量系統並結合教學的可行方式，達成科學探究學習進程評量系統與教學的實踐，進一步達成建構國小科學探究學習進程的目標，可供科學教師、科學教育家、師資培育者之參考。

關鍵詞：科學探究、學習進程、評量系統

黃滄翔：大仁科技大學幼兒保育系助理教授(通訊作者)

通訊：phhuang@mail.tajen.edu.tw

高慧蓮：國立屏東教育大學數理教育研究所

陳淑敏：國立屏東教育大學幼兒教育學系

黃楸萍：國立高雄師範大學師資培育中心

Developing Scientific Inquiry Learning Process and Multi-stage Scientific Inquiry Curriculum for Elementary School Student

Pai-Hsiang Huang

Abstract

Learning progressions (LPs) is science education reform in the appears of new concept, learning process of made for currently science courses wide and does not deep, courses, and assessment volume, and learning out, problem provides has new of address method, science research teaching courses for children science learning is a good way, to research for based of learning helps students understood science nature, and science research technology and reasoning of process, and can training are positive attitude. LPs is available to science teachers, science educator, teacher training providers reference.

Keyword: scientific inquiry, learning progressions, assessment system

Pai-Hsiang Huang : Department of Early Childhood Care and Education, Tajen University
correspondence : phuang@mail.tajen.edu.tw
Huey-Lien Kao : National Pingtung University of Education
Shu-Min Chen : National Pingtung University of Education
Cho-Pin Huang : Center for Teacher Education, NKNU

壹、前言

科學探究是科學教學與學習的最佳策略，以探究為基礎的學習有助於學理解科學本質、科學探究技術與推理的過程，並能培養正向的態度(Hinrichsen & Jarrett, 1999; 陳均伊、張惠博，2008)。科學探究教學課程對於兒童科學學習是一良好途徑，Prairie (2005)根據 Johnson 研究建議在兒童階段的訓練應鼓勵發現「難題」，並幫助他們探索解決難題的方法，在此架構下兒童被鼓勵操作物件、觀察和預測結果、傾聽和使用語言、以及和成人或年長兒童合作進而發展其思考能力。此時教師和成人的角色應是共同建構(Co-Construction)、互為主體(Inter-subjectivity)，以及合作學習(Collaboration)者，由於成人專注於科學經驗，以致很容易忽視兒童本身，教師不應該將自己的行為方式加諸於兒童探究思考的發展，因此培養兒童對科學的喜好並種下科學知識種子，以引導兒童邁入科學殿堂之門極為重要。然而傳統課室教學是以教師為中心，受限於單向的訊息傳遞，而學生扮演的是被動的訊息接受者和背誦者的角色。科學學習的研究認為空白如紙的概念是不存在的看法已獲得共識，兒童對其周遭事物自動建立其想法，並且從不同來源吸收點滴和片段的資訊，因此他們在學習科學課程之前多少已具有一些學科的先前概念(Confrey, 1990)。這個結論本身是平凡無奇的，但問題重點在於非白紙般的概念是如何形成的(Smith, DiSessa & Roschelle, 1993)，根據建構主義的觀點學習者是會主動建構他們自己的知識的，他們會運用既有的知識，有意義地去解釋新的資訊。基此，科學探究活動讓學生有機會由實際學習與生活過程中發現問題、收集資料、澄清問題、提出研究假設、設計實驗(調查)、進行實驗(收集資料)，進而解決問題，獲得結論並將成果展現出來，這樣過程對學生而言是充滿教育的意義與價值。而我國國民中小學九年一貫課程，即明定國民中小學學生應培養十項基本能力，在「人與自然」領域的三項能力「運用科技與資訊」、「主動探索與研究」、「獨立思考與解決問題」，也突顯出培養學生「科學探究」能力的重要性。然而，目前多數的科學教學仍然是聚焦於科學知識的內容，甚少強調科學發展的過程，王靜如、周金燕、蔡瑞芬(2006)的研究指出目前科學教學中學生大多被要求去學習教科書中的事實和運算法則，並記憶和回憶它們。在日常生活的實際情境中，學生很少應用和綜合被教的科學概念。有些教師在自然科學課程上，雖然重視科學概念及學科過程技能的學習，但教學活動仍僅限於教室講解或操作訓練，即使實施探究教學，不是引起的學習動機不足，就是教師在科學探究方法的設計上，已先行幫學生規劃好實驗步驟。

許多研究指出探究教學無法落實的原因之一為大多數教師認為他們的主要任務為讓學生能在標準化或高賭注性(high-Stakes, 譬如台灣的學測等)的測驗獲得高分, 由於教師希望學生在重大測驗上能表現的很好, 在教學時特別強調重大考試測驗的內容與形式(謝祥宏, 2005)。而 Popham (1995)認為此種高賭注性的測驗對教師的教學、課程的實施, 具有磁吸效應的影響。外部高賭注性(總結性)的測驗, 不是被用來有效地反映學生邁向充分理解學習過程中間工具, 以至於它們在引導日常的課堂學習的價值性大大減低, 甚至破壞了課程、教學以及評量(curriculum, assessment and pedagogy, CAP)應有的良性交互影響, 而形成三者間的「惡性三角循環」(vicious triangle) (Black, Wilson & Yao, 2011)。國內學者張郁雯(2012)也指出在此惡性三角循環下, 課程對教學僅具微弱指引功能, 評量卻強力影響教學, 但又無法對日常課堂的學習提供有力的指引。

由上述科學教育的研究結果, 看來我們必須重新思考科學課程、教學、評量三者之間的關係, 重新建構其良性的循環。學習進程(learning progressions, LPs)是科學教育改革中出現的新理念, 也是最近幾年來西方科學教育界頗受矚目的研究方向, 美國國家研究委員會(National Research Council, NRC)的研究報告(Taking science to school: learning and teaching science in grades K-8, NRC, 2007)認為可以以學習進程的觀點, 聯結課程、教學與評量, 使三者間有更好的協調, 以改善美國科學教育上所面臨的困境 (Duncan & Hmelo-Silver, 2009), 學習進程描述學生在恰當的教學條件下, 對科學概念以及相關科學實踐的理解和應用能力, 以及隨著時間的推移逐漸生長, 趨於複雜、深入的過程。它被視為是溝通學習研究與課堂教學實踐的橋樑, 聯結課程、教學與評量, 促進其相互一致性的有效工具(韋斯林、賈遠娥, 2010)。學習進程的提出為目前科學課程廣而不深, 課程、評量、學習脫節等問題提供了新的思考方向, 而近幾年的研究也慢慢發展出的新工具和方針。

貳、科學探究教學

一、科學探究的意涵

一般認為科學知識的建構基本上自我調適 (self-regulation) 的過程 (Lawson, 1995), 所謂自我調適是指個體能動手去尋找解決矛盾或統合新經驗的關係和模式, 自我調適開始於探究目前思考和行為, 從而發明新的想法或行為, 這些想法或行為在運用時有可能成功, 也可能失敗。自我調適其功用在增進理解這個世界, 這是新的陳述性知識; 以及改進個人建構理解的過程, 這是新的程序性知識。在自我調適的循環過程中, 洪振方(2003)認為心智型態的建立和認知能力, 提供創造假說、模型、及理論等去嘗試組織新的現象, 這需要進行逆推(abduction), 也就是借用個體目前的概念或概念系統中的型態引介新的概念, 此時學習者經由科學探究建構科學知識。

一般而言探究(inquiry)就是尋找問題、解決問題的過程, 因此探究學習是指學生主動參與獲得知識的過程, 而非教師把現成的答案提供給學生的一種學習模式, 藉以培養研究自然所需的探究能力, 以形成認識自然科學概念的基礎, 同時也培養探求未知自然積極的態度(王美芬, 2006), 此外張惠博(1993)認為科學探究的主要意義在於以知識的尋求來取代知識的獲取; 黃泮翔(1995)則認為探究的主要意義在於尋求知識的過程, 其重點是讓學生探求知識, 而不是直接獲取知識; 劉宏文(2001)則科學探究最主要的特質即在於論辯過程的邏輯性, 以及作為證據的信度與效度的檢驗。洪文東(2006)則認為科學探究是一種從問題發現到問題解決的循環歷程, 科學探究是從問題的發現開始, 經由探討的過程尋求問題的解決, 在探討的過程中涉及以科學過程技能, 科學概念知識與科學態度之綜合運用, 以求得問題的解決。美國國家科學教育標準(National Science Education Standards)描述科學探究是科學學習的核心, 從事科學探究時學生描述物體與事件、問問題、建構解釋、以目前科學知識做測試、與他人溝通等, 並強調科學探究是科學家研究自然世界, 並以工作中所獲得的證據為基礎提出解釋的各種不同的方法(NRC, 1996)。而 Roth (1994)認為「從建構主義的觀點, 每一位學習者的知識, 來自於由他們所知道瞭解的知識建構或重建構(reconstructs), 應比來自於由教師或權威人士的知識灌輸要多得多!」。

Lederman (1998)則認為科學探究是有關於科學家用來回答感興趣的問題的有系統的方法，科學探究不只包含了如觀察、推論、分類、預測、測量、提問、解釋和分析資料這些傳統的科學過程技能，還包含結合科學過程技能與科學知識、科學推理、批判思考以發展科學知識。此外 NSTA (National science Teachers Association, 簡稱 NSTA, 2005)指出科學探究的歷程正是科學家如何去理解這個自然世界的運作，而科學探究也是學生如何學習的核心要點，在科學探究歷程的學習過程中，學生必須學習去如何進行調查、從不同來源蒐集資料、從這些資料中提出合理的解釋以及能與他人溝通，並當別人提出質疑時，能為他們的結論與他人進行辯證，因此科學探究能幫助學生對科學及科學探究發展更深入的理解。

綜而言之，科學探究是一種思考能力，也是一種過程能力，當學生經過問題的解題活動或解題探究，則應屬於奧斯貝的「有意義的學習」，而以紙筆(paper-pencil)為主要格式的教科書，否定了學生的能力，且剝奪了學生去驗證知識及體驗獲得知識過程的機會，所以應該提供動手做(hand-on)的活動，由學生自己建構知識；而非由教師單方面去驗證知識。現今「自然與生活科技」領域學習強調以探究和實作的方式來進行學習，強調手腦並用、活動導向、設計與製作兼顧知能與態度並重，所以科學教師應以探究與解決問題的方式進行科學教學，並鼓勵學生主動參與科學的學習與探究，提出更多不同的想法。

二、科學探究教學

在面對未來知識爆炸性增加時代的來臨，學校有責任教育學生成為二十一世紀的具有科學素養的公民可以應付不可避免的變遷，因此我們應培養學生具備探究能力與素養，使之能有效參與快速變遷的全球化社會。至於對教師而言，以年來師資培育所強調的「教師是行動者也是探究者」的觀點，教師也會透過探究的過程提高教學成效，察覺影響教學的因素，進行建立自己的教學模式或理論，此已成為教師專業成長的重點(Cox-Petersen, 2001; Crawford; 2000)。無疑地，科學探究教學課程對於兒童科學學習是一良好途徑，Johnson (1999)建議在兒童階段的訓練應鼓勵兒童發現「難題」，並幫助他們探索解決難題的方法，在此架構下兒童被鼓勵操作物件、觀察和預測

結果、傾聽和使用語言、以及和成人或年長兒童合作進而發展其思考能力。此時教師和成人的角色應是共同建構(Co-Construction)、互為主體(Intersubjectivity)，以及合作學習(Collaboration)者，由於成人專注於科學經驗，以致很容易忽視兒童本身，教師不應該將自己的行為方式加諸於兒童探究思考的發展(Prairie, 2005)。

在探究課程中最常被引用的當屬 BSCS (Biological Science Curriculum Study)之 5E 探究課程，所謂的 5E 包含(王美芬、熊召弟，1995)：投入(Engagement)、探索(Exploration)、解釋(Explanation)、精緻化(Elaboration)、評鑑(Evaluation)等：

投入：這時期的教學目的是學習之間的連結，將過程和現在的學習經驗聯繫起來，關注學生在當今活動學習成果。

探索：這時期的教學過程提供學生鑑定及發展目前的概念，學生主動地探索他們的環境並操弄教材、教具。

解釋：這時期要提供學生能以言語傳述他們對概念的瞭解或是犯他們對投注及探索經驗的技巧和行為。同時，教師可以引介對概念、過程或行為正式的定義。

精緻化：這時期的教學要對學生概念瞭解予以挑戰及延伸，並起提供學生驗證預期的技巧及行為的機會，以發展深入且淵博的理解，獲得更多的資訊及發展更高的技巧。

評鑑：這時期應鼓勵學生評量他們自己的瞭解程度及能力，以及教師評量學生是否達到教育目標。

王美芬(2006)認為科學探究活動如同學生模擬科學家解決問題的過程，其教學方法由於教學過程重點、教學目的、強調點、切入點等的不同，教師可以依實際教學需求再次重複進行探索、解釋、精緻化過程等步驟，而不論何種導向的探究教學方法其基本步驟為：接觸問題；確定問題；提出解決策略；付諸行動；傳達結果等。此外 Prairie (2005)針對兒童建構式的學習方法引介 Feeney (2001)等人所提出適合兒童所用的探究歷程，一般而言成人專注於科學經驗，以致很容易忽視兒童本身，教師不應該將自己的行為方式

加諸於兒童探究思考的發展。其分別是：探索，利用感官去觀察、檢視及操弄；確認，命名及描述所經驗的事物；分類，以物體的一般特質來分組；比較與對比，觀察物品或經驗的相似性及相反性；假設，由經驗中的資料去猜測可能發生的事；推論，利用舊經驗解釋新的事物。

另外，也有學者跨越科學領域，將探究學習視為一種廣泛的學習方式，當代學者 Treadwell (2010)在論述新課程典範改革時，即具體指出為了能達到漸增式理解(increasingly understand) 的教學目標，由知識到理解過程，必須透過探究學習和靈敏提問，以建立理解性的概念架構，強調探究學習是課程典範的核心元素，而探究的終極目標不僅在知識的逐步理解，重要的是能引入想像教學或思考，將最終目標導向創意與創新。

綜合上述可知科學探究可能包含多種不同的探究類型，配合不同的教學策略、教學重點、教學目的，而有不同的科學探究教學或學習導向。不可否認的科學探究是科學的基石，Rutherford & Ahlgren (1990)認為從事科學探究需要用到許多的科學方法，科學不只是一種知識的本體，也是一種發展知識的過程。換言之，科學家以探究方式來理解科學並且建構知識，則學生經由科學探究教學其本身即經歷科學知識建構的歷程，甚至當代學者認為探究學習是一種廣泛的學習，探究是新課程典範的核心，學習者藉由探究式學習將知識內化為理解，再由理解與想像力而所有創意與創新。

三、科學探究教學的實施

教育部與國科會於 2002 年召開『第一次全國科學教育會議』之討論與研議，形成我國的科學教育目標為：使每位國民能夠樂於學習科學並了解科學之用，喜歡科學之奇，欣賞科學之美。而這項目標至少表現在三個方面：一、使科學紮根於生活與文化之中。二、應用科學方法與科學知識解決日常生活問題，理性批判社會現象，並為各項與科學相關的公共事物做出明智的抉擇。三、藉不斷提升科學素養，貢獻於人類世界的經濟成長及永續發展(科學教育白皮書，2003)。而在「國民中小學九年一貫課程綱要」中對自然與生活科技學習領域的基本理念強調學習科學，讓我們學會如何去進行探究活動，亦即學會觀察、詢問、規劃、實驗、歸納、研判，也培養出批判、創造等各種能力，因此科學探究之教學實踐教學其重要性就不言而喻了。

在國內的研究方面，郭文禎、張文華(2000)以質性方法探討 15 個六年級學生對實驗之看法以及其在學校課室中投入實驗活動的方式，研究結果發現，大多數的個案學生對實驗的看法脫離不了學校實驗活動的情境，認為實驗探究的是自然現象與生活無關，並認為實驗只有動手做的部分，不包含想的部分。另外，大多數的個案學生採用程序的模式投入實驗活動，按照既定的步驟做，希望做出結果即可。此外還有另一個模式是玩耍，純粹祇是為了好玩而已；鄭如琳(2000)以「探究-建構教學模式」探討學童在「磁」的相關概念上改變的情形，同時發現實施探究教學策略能提昇學生科學概念學習成效；鄭麗華(2002)以行動研究的方式，以運用不同的教學策略來改變實驗活動的進行方式，讓學生自行進行探究，研究結果發現學生的科學過程技能有較大提升；蘇麗涼(2002)在國中理化課中，以「力」的單元中實施探究導向教學，研究發現探究教學對學生概念理解有幫助，並且其探究能力有提升；劉銀姬(2002)探討實驗室之探究教學對於學生學習科學過程技能的影響，結果發現確有顯著的成效；溫存儒、段曉林(2007)探討參與科學探究活動之國中個案學生，其在科學探究過程中的參與內涵，與學生動機的變化，研究發現科學探究過程中參與的內涵與學生個人特質傾向有密切關係，而學習動機會隨情境活動階段不同而變化。

而國外研究方面，Tamir, Stavy & Ratner (1998)針對 12 年級學生進行探究教學實驗研究，結果顯示：接受探究取向教學的兩組學生都比接受傳統教學的學生，獲得較佳的探究技巧，而接受探究取向教學，外加科學探究基本概念教導的學生，在探究的各項分技巧之學習都優於只有接受探究教學的學生；Colburn & Bianchini (2000)以 15 個未來國小科學教師為研究對象，以學習環(探索、概念引介及概念應用)進行探究式教學，並進行封閉式探究實驗，研究者透過教師觀察和個別晤談的方式了解學生對於科學探究活動的目的和想法，研究結果發現學生在進行「封閉式」實驗時，最重要的目的是完成任務，其次是獲得正確的答案，學生只想按照「食譜」完成實驗，並不想主動去獲得知識，在進行探究活動時僅有少數學生會主動進行思考。

Cheung (2008)綜合科學探究相關的文獻，發現在學校實施探究為基礎的實驗，其主要障礙集中在 11 個部分，某些部分為相互依賴的並互相強化。其分別是 1.缺乏時間，教師感到探究太過耗時因此他們無法涵蓋整個課程；2.教師的信念，教師相信探究為基礎的實驗室工作室完全學生導向是無系統

的及花時間的活動；3.缺少有效的探究材料，如食譜指導般的實驗室活動在商業的化學課程中是目前為止最常見的，因此教師難以找到探究材料；4.教師的難題，即使教師擁有豐富的主題相關知識，他們也不一定有能力教導科學探究；5.管理的問題，科學教師通常將探究教學是難以管理的，因為他們不能掌控實驗室裡發生的事；6.大班級，探究為基礎的實驗室工作變成大學教育的重要教學方式，眾多的學生數量變成大學科學課程中邏輯上的夢魘；7.安全議題，探究為基礎的實驗室工作中有一關鍵特徵為，學生必須設計他們自己的程序，有些教師害怕學生會設計出不安全的程序，甚至某些科學教師認為探究是危險的，尤其是紀律上有問題的班級；8.支持學生錯誤概念的可能性，在執行完探究為基礎的實驗過後，學生可能擁有錯誤的概念，並無學到原本實驗應該要發展的化學概念或過程技能；9.學生的抱怨，多數的學生對於已完成實驗室工作中詳細的程序後被要求規畫他們的實驗感到不適；10.評量的議題，在探究為基礎的實驗室工作中很難去定義、觀察及測量學生的成就及進步；11.材料的需求，執行探究為基礎的實驗室工作需要充足的設備及化學材料，有時化學材料的使用量遠比傳統實驗室來的多。

綜合上述，有關科學探究式教學研究大多採取「開放式」的探究活動，研究的對象多為國中生及高中生，研究探究式教學對學生的科學概念、科學過程技能、及科學學習成效的影響；或以行動研究探討探究式教學活動中學生科學學習的成效、學習的感受及困難；較少有研究文獻探討國小階段進行科學探究式教學活動的成效。近年來國內外有關科學探究教學活動的相關研究相當越來越受到重視，尤其國小教育階段為科學啟蒙階段，培養兒童對科學的喜好並種下科學知識種子，以引導兒童邁入科學殿堂之門，實極為重要。

參、學習進程

一、學習進程的意涵

建構主義學習觀強調學習者具有先備經驗，在開始學習之前頭腦中就已存有許多先前概念(prior-concept)，新知識的學習正是以這些先前概念為基礎的，根據建構主義的觀點學習者是會主動建構他們自己的知識的，他們會運用既有的知識，有意義地去解釋新的資訊，學習進程(Learning Progression)，

或稱學習路徑(Black, Wilson & Yao, 2011), 或學習進展(張郁雯, 2012), 乃基於建構主義的學習觀, 表述學生關於某一核心概念、能力、或實踐活動在一段時間內進步與發展的歷程, 劉晟、劉恩山(2012)認為發展心理學家布魯納和維高斯基的理論也有類似的看法。布魯納提出螺旋式的課程設計(spiral curriculum), 並指出若先前的學習能使日後學習變得更容易那麼就需要提供一個一般的學習圖景, 盡可能清晰地呈現出先前與日後所學事物之間的關係, 通過循環往復的學習到達的較高水準; 維高斯基提出最近發展區(ZPD), 將其界定為兒童在獨立活動中已經達到的解決問題的水準與借助成人的幫助所能夠達到的解決問題水準之間的差異, 並闡明教學必須要符合兒童的認知水平, 教學的重要任務是創造最近發展區。

學習進程是科學教育改革中出現的新理念, 也是最近幾年來西方科學教育界廣泛研究的一個熱點。學習進程研究的興起乃導因近年來美國學生在全國性和國際性 K-12 科學與數學教育評量中的表現不佳, 而更令人不安的是在不同家庭收入、種族的學生其表現更有明顯的差距, 這引起了美國各界極大的關注, 許多人大聲疾呼要重新反思美國的科學教育, 提升大眾在科學素養的水平, 以因應下一個世紀的挑戰(Gonzales, Williams, Jocelyn, Roey, Kastberg, & Brenwald, 2008)。而 Schmidt, Houang, & Cogan, (2002)更進一步指出目前許多的關於科學教學的批評集中在現行的科學教育標準的品質, 並抱怨使用中的課程「廣而不深」(a mile wide and an inch deep)。學習進程描述學生在恰當的教學條件下, 對科學概念以及相關科學實踐的理解和應用能力, 以及隨著時間的推移逐漸生長, 趨於複雜、深入的過程。它被視為是溝通學習研究與課堂教學實踐的橋樑, 聯結課程、教學與評量, 促進其相互一致性的有效工具(韋斯林、賈遠娥, 2010)。此等強調掌握學習者發展水準與搭建橋樑提升進階發展的論點, 獲得美國國家研究協會(NRC)2005年級 2007年報告的支持, 呼籲科學教育者應對科學課程重新組織, 考慮學生的理解是如何發展, 於早期階段先著眼在少數的核心概念, 隨著學習時間的推移, 逐漸加深加廣這些核心概念, 呈現學生科學發展的連貫性, 並首次提出了學習進程的概念(劉晟、劉恩山, 2012)。Wilson(2009)認為當前學習進程的觀念正在迅速發展, 然而, 它真的只是一個舊想法的最新體現, 這個想法是有關於當學生學習某些知識或專業實踐時, 學生發展的規律性, 而 Nichols (2010)則認為學習進程描繪學生在學習時, 對某個想法相繼地一步接一步逐漸趨於

複雜化的途徑。

學習歷程表明課程、教學、評量三者間需緊密的結合如圖 1b 所示，Black, Wilson, & Yao (2011)指出目前科學教學雖然參照學習理論設計，然而由課程引導評量，再由評量引導教學，在課程與教學連結呈現中斷，無法提升教學成效如圖 1a；學習歷程的設計，加強連結課程、評量、教學的學習三角(圖 1b)，著重形成性評量並且在每一階段隨時檢視參照學習理論進行修正。

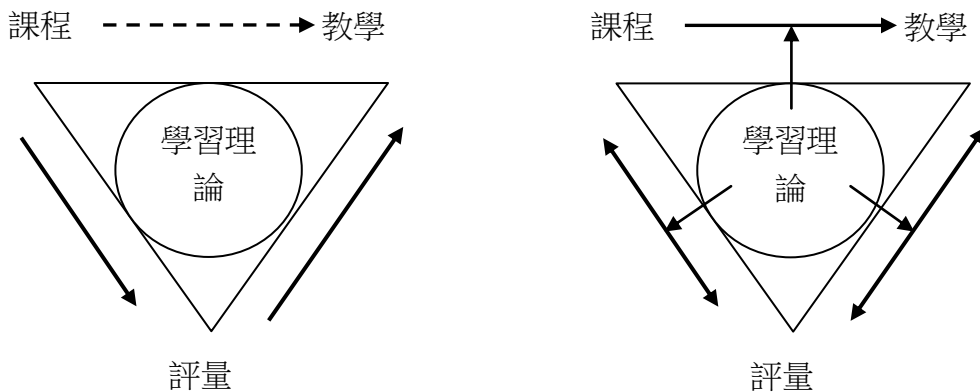


圖 1a 課程、教學、評量不連貫的學習三角；1b 符合學習歷程設計之課程、教學、評量連貫的形成性學習三角(改寫自 Black, Wilson, & Yao, 2011)

劉晟、劉恩山(2012)進一步指出學習進階實際上延續了課程與教學論對應「為學生設定怎樣的學習路徑」這一核心問題的探索。研究學習歷程的學者認為學習歷程能促進課程標準、教學與評量的整合，不但有助於教學策略的選擇與實施，並可促進學生的學習成效，作為課程、教與學、以及評量之間的橋梁(張郁雯，2012；高芳，2012)，而 Krajcik (2011) 認為學習歷程應指出學習者隨著時間而增長知識外，更重要的是描述甚麼樣的教學經驗能協助學生從當前的層次跨越到下一個層次的發展。

綜合上述可知，學習歷程的發展乃基於建構主義學習觀，以及發展心理學的諸多研究，其目的乃在解決科學教育課程標準、教學與評量的整合不足的現實狀況，其本質在關注學生的學習發展階段並給予協助以為達到下一階段學習做準備，本研究認為學習歷程的提出為目前國內科學教育廣而不深，課程、評量、學習脫節等問題提供了新的思考方向，而且在學習路徑上有多个不同的中間階段，借助適宜的教學，學生才能經歷這些中間階段逐漸進展

其概念，而學生乃是主動建構知識的主體，科學探究教學可以提升兒童科學學習成效，以及對於科學知識的理解。

二、學習進程的實踐

目前學習進程的研究均認為學習進程能促進課程、教學與評量的整合，改善科學教育廣而不深，評量與教學不一致的問題，然而學習進程的實踐方式似乎還在探索階段，Duncan & Hmelo-silver (2009)指出目前美國和其他國家的科學課程標準其問題為，涵蓋太多的主題以及概念深度太淺的問題，對此 NCR (2007)提出希望透過更好的科學教育轉化課程、教學、和評量的一致性。Duncan & Hmelo-silver 進一步提出學習進程(LPs)的四項特點：

首先學習進程需聚焦於幾個基礎和衍生的學科觀念和實做，類似 Wilson 於 2009 所提出的 Bear Assessment System (BAS)評量系統中的進程變項；

其次，這些進程的界定包含上位定錨(upper anchor)，也就是學生在課程結束時希望可以學習知識和技能，而下位定錨(lower anchor)同樣需被界定，因為這些是學生進入學習進程的假設先備知識和技能；

第三，學習進程描述兩個定錨間不同程度的成就，這些成就階段來自綜合現有對學生學習的領域實證研究，成就階段是以學習具體表現描述，其來自學生的理解和能力的證據；

第四，學習進程引入有目標性的教學和課程，因此不發展沒有框架的自發學習課程與教學，而且學習進程看起來像是線性的(linear)，但不認為學生的學習進度是單一的發展軌跡，而是有幾個可行的路徑，學習進展也非步調一致，而是類似生態演繹。

此外 Hess (2010)在其跨躍 K-4 年級的科學探究學習進程研究中發展 The Science Inquiry Learning Profile for PreK-4 學習進程觀察工具，其包含引導調查研究、形成問題和假設、調查的計畫和評估、解釋的發展和評價等面向，另外 Hess 並提出發展學習進程的四項原則，希望能做為學習進程相關研究或設計的參考：

1. 從參閱有效研究中發展和精鍊學習進程
2. 學習進程需包含明確的核心概念和過程
3. 學習進程需清晰描述理解的過程
4. 學習進程的實施需緊密結合評量

在實踐學習進程方面，劉晟、劉恩山(2012)指出構建和呈現學習進階的方法大致可以分為兩類。第一類方法一般從認知科學與教學論視角出發，對某主題的教學內容進行認知心理學分析，聚焦於理解核心概念意味著什麼？新手與專家的理解有何差異？通過怎樣的路徑可以由幼稚水準逐漸發展為良好科學素養應有的理解水準？這類方法通常會專門開發出跨學段的大型評測工具，第二類方法通常由課程論與教學論視角出發，基於已有研究以及課程，使用概念陳述呈現出核心概念逐步發展的進程，有研究者將此種方法稱為全景圖法(landscape approach)。此類方法注重呈現各學段多學科領域概念間的相互聯繫，例如圖 2 它通常呈現為網狀結構，由概念陳述作為節點，配以箭頭表徵出概念間相互支撐的關係，最後的箭頭指向就是學習進階的終點。縱向展示的是從幼稚園直至高中各個學段，即學習進階的多個成就水準。

Duschl, Maeng, & Sezen (2011)針對學習進行和教學程序進行文獻的分析，本文根據學習進程的四個架構進行文獻分析，分別是概念領域、實施方式、評量/測量方式、理論/引導的觀念等，其中對於學習進程的設計實踐方針區分為確認性學習進程(Validation LPs)和發展性學習進程(evolutionary LPs)，其主要差異如表 1 所示

表 1 確認性學習進程和發展性學習進程主要差異

確認性學習進程	發展性學習進程
1. 學習進程是基於一個標準的實施程序：教學方式是介入的	1. 學習進程是基於跨年級教學經驗的安程序順：教學方式精練的程序
2. 理論導向(theory-driven)，由上而下的取向	2. 證據導向(evidence-driven)，由底而上的取向
3. 以學校學習內容為上位定錨	3. 以目標精熟為上位定錨
4. 使用評量來驗證學習模式	4. 使用評量來探索學習模式
5. 進程變項步驟和目標是固定的	5. 進程變項步驟和目標是靈活的
6. 採取以迷失概念取向(misconception-based) -修正(Fix It)觀點的概念改變教學	6. 採取以直覺取向(intuition-based)-包容(Work with It)觀點的概念改變教學
7. 理論的建立如同概念改變	7. 模式的建立如同概念改變
8. 主題的選擇為領域廣泛(domain general)	8. 主題的選擇為領域特定(domain specific)

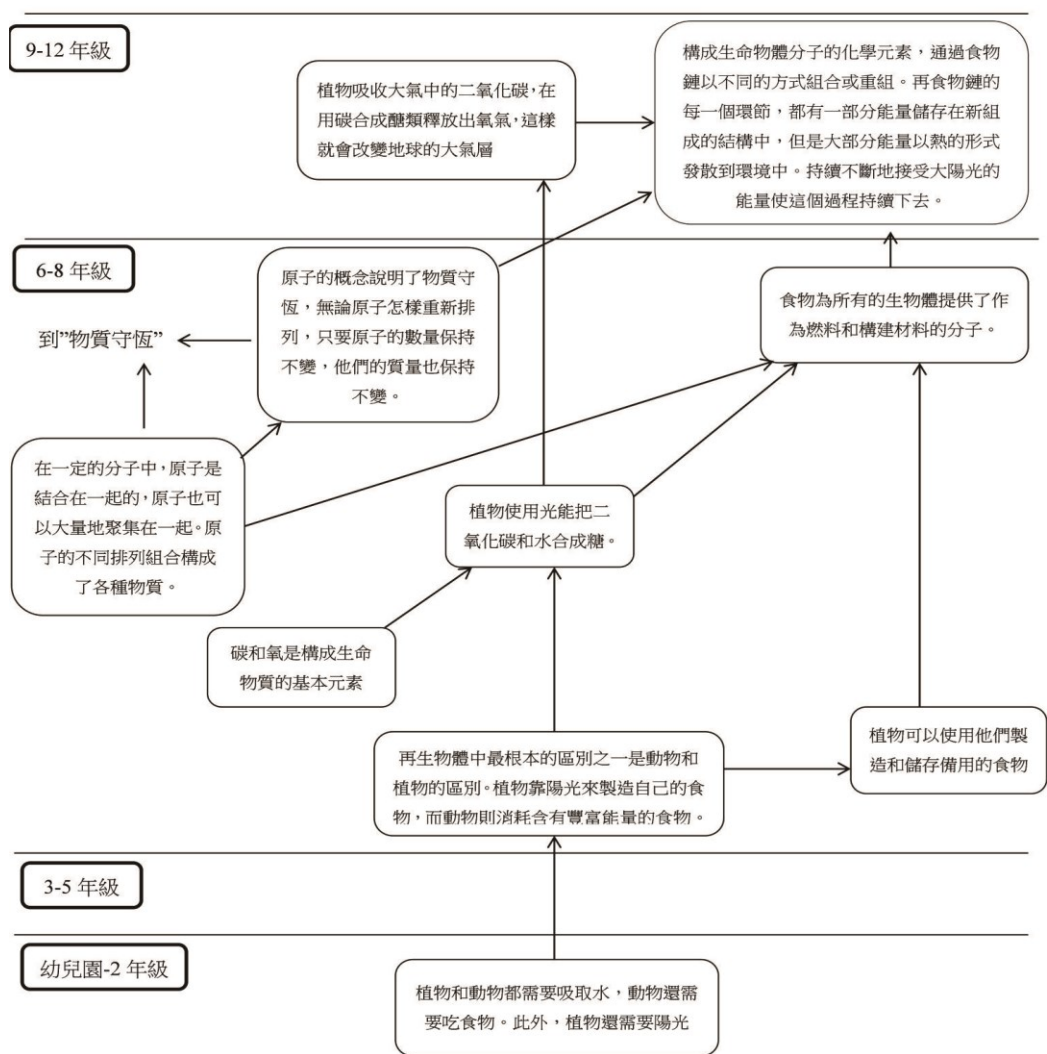


圖 2 生態系統中的物質流(轉引自劉晟、劉恩山,2012)

至於如何在學習進程中考慮教和學, 對此 Black & William (2009) 提出了三個教與學的關鍵歷程, 此三個關鍵歷程從學習者的角度出發: 1. 學習方向?(Where the learner is going?); 2. 學習者的位置?(Where the learner is right now?); 3. 學習者要如何達到目標?(How to get there?)。此三個關鍵歷程指闡明教師應掌握第 1 歷程到的 2 歷程的差距, 以及該項學習是如何發展的, 對此 Black, Wilson, & Yao (2011) 進一步指出學習進程最重要的前提就是建立有效度的學習進程, 以便教師能很具體掌握學生目前的位置以及下一個進步的門檻, 了解學生目前的能力概念狀況至下一個目標的差距, 以便提供有效的引導方法。

另外較為具體的學習進程評量方式為 BEAR(Berkeley Evaluation and Assessment Research)的評量架構，如圖 3 所示此評量架構有四大原則(principle)與基石(building block)，首先，原則 1 為發展的觀點(developmental perspective)，其基石為建立結構圖；原則 2 為結合教學和評量，其基石為設計評量題目，評量類型可以是選擇題、或是開放性問題；原則 3 為教師管理，其基石為結果空間，幫助教師詮釋學生的表現，以瞭解其學習的進程，這個結果空間是學生在評量的所有項目表現，被分類為與特定的進程變項相關聯的一組分類結果；最後，原則 4 為高品質證據的，其基石為懷特圖(Wright Map)，解釋學生的表現，懷特圖的一個關鍵特點是學生表現和評量任務可以放在同一量尺上，能讓老師了解學生知道什麼、會做什麼和那裡有困難，懷特圖可以用於解釋一個特定學生的進程或群體學生的成就類型(Black, Wilson, & Yao, 2011; Wilson, 2009)。

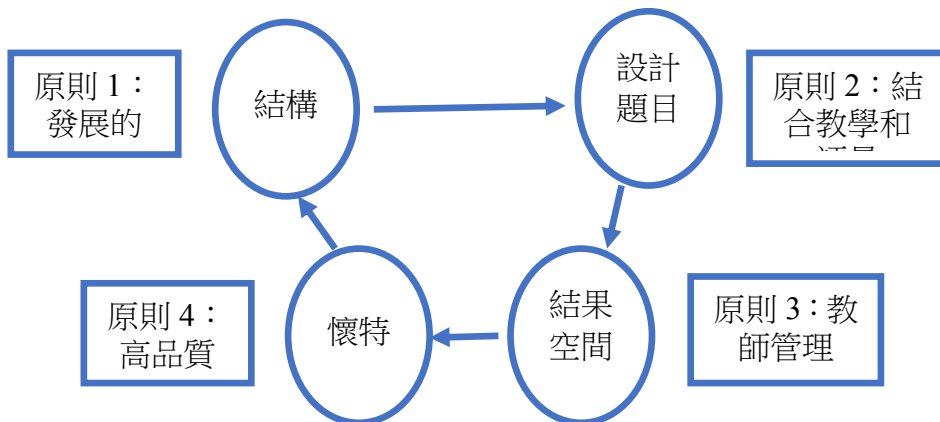


圖 3 BEAR 評量系統的原則與基石(Wilson, 2009)

肆、科學探究學習進程

一、建構國小科學探究能力結構圖

國小科學探究能力區分為五個向度分別是界定問題、設計規畫、實作驗證、解釋分析、溝通辨證等，本研究進一步轉換為國小科學探究之能力之結構圖，此結構圖將透過研究團隊討論和專家調查進行修正，並依結構圖設計多層次評量問題和多階段科學探究課程。

表 2 國小科學探究之能力表徵結構圖(草案)

核心能力	內容描述
界定問題	
q3	從日常生活環境中能察覺問題，並透過同儕之間的討論得到不同的觀點，發現事件具有多樣的特徵，當新舊經驗產生衝突時會發現許多新的問題。
q2	對自然現象產生疑惑，發現問題之所在，再經由詳細的觀察、組織與分類而提出可探討性的問題，並進一步形成預測式之假設，確定問題之性質。
q1	能運用五官觀察物體的特徵，說出自己所觀察的現象，認為只要仔細觀察，就能有新奇的發現，並能感受發現的樂趣。
設計規畫	
d3	發現、察覺問題後，能多方面思考解決的辦法，同時在進行設計實驗的過程中能考量一些關鍵的因素，或掌控相關的變因，進而預測可能的結果。
d2	確定問題後，能針對問題蒐集相關資料，並根據資料形成實驗假設，再利用本身科學知識規劃出實驗流程並能運用相關器材來設計得以驗證假設之實驗。
d1	能運用自己的想法，學習安排工作步驟，有條理的做事，並與他人分工合作。
實作驗證	
p3	在科學探究的過程中，了解科學知識會遇到許多難題與考驗，需透過多元的思考、細心的探究後，將小組所討論、驗證的資料整理成每個組員都能接受的想法。
p2	能控制實驗變因，運用感官及工具進行觀察與操作，且能運用文字、圖表等記錄實驗結果。
p1	能察覺狀態的變化常是由一些原因所促成的，並能進行探討活動，將自己的構想，動手實作出來，以成品來表現，而且能學習操作各種簡單儀器。
解釋分析	
e3	從所蒐集、彙整的資料中發現許多的通則性與因果關係，並由實驗的結果做解釋或推論，整理出重要的科學觀點；並發現若因人為的操作不當或未考慮周延，常會出現不同實驗結果。
e2	能利用各種方式將實驗結果彙整出規則，並解釋或預測所發生的現象。
e1	能觀察物體屬性的變化，察覺原因會促成狀態的變化，也能依照物體的屬性作比較和分類，並練習去操作和進行探討活動，相信仔細觀察，可有新奇的發現。
溝通辨證	
c3	能將自己在科學探究的過程與結果清楚的和同學溝通與分享，並在聆聽同學的報告時能察覺過程中所產生的問題，提出合理的質疑。
c2	能將自己的發現向人做詳細的描述，並能分析自己的優缺點，進一步批判他人的優缺點，或對他人的批判做出合適的回應。
c1	能運用現成的表格、圖表和適當的語彙來表達五官所觀察的資料，並能由別人的表達來知曉事物，也能對週邊的訊息做適切的反應。

二、多層次概念評量問卷(紙筆測驗)

我們可以依據課程單元內容設計多層次概念評量問卷，採用行動研究的精神，在每次工具開發的歷程中，透過小組針對理論與實務層面進行詳細的討論與修正，並且用評量工具當成學習單方式實施，融入在多階段科學探究的主題教學中。

例如蒸發相關概念 I3 之層次(層次參考陳景期、李素惠，2009)為：

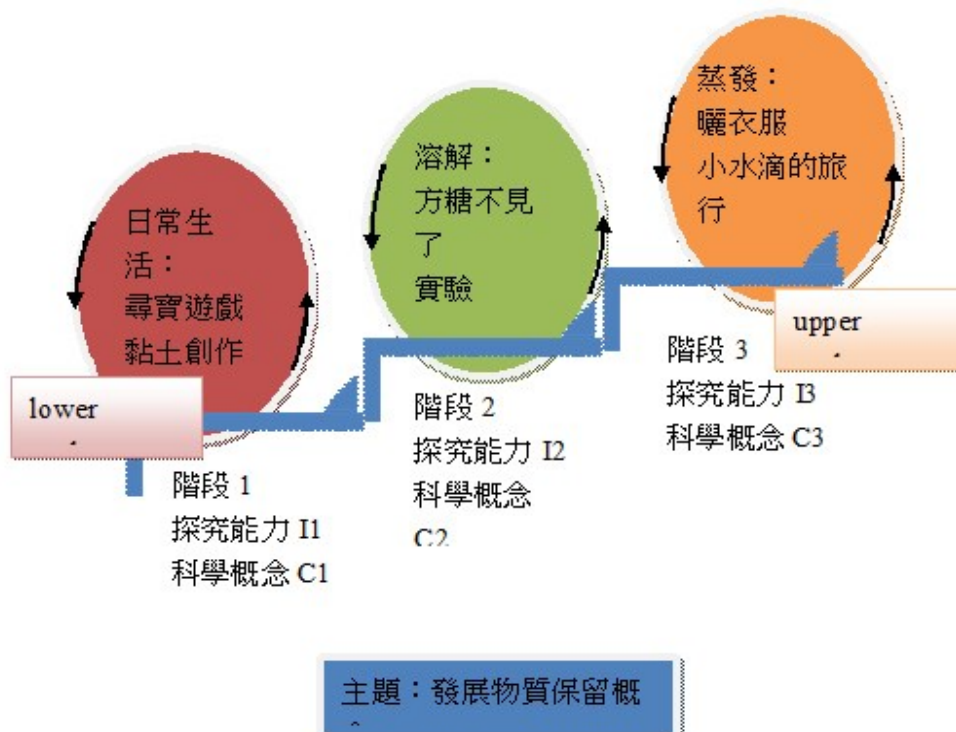
I3-1 水在一般的狀態下，會變成水蒸氣是蒸發現象。

- I3-2 水蒸氣存在空氣中
- I3-3 水蒸氣是看不見的氣體
- I3-4 影響蒸發的因素有風、太陽、熱等
- I3-6 溫度越高，蒸發速度越快
- I3-7 水蒸氣遇冷會變成水是凝結現象
- I3-8 水遇熱，會變成水蒸氣；水蒸氣遇冷會凝結成水

三、多階段科學探究課程的發展

根據科學探究學習進程的核心能力，擬定教學目標、設計評量融入多階段科學探究課程，此科學探究課程的設計為對同一科學概念主題，配合科學探究學習進程以漸進、多階段的方式進行科學探究教學，各階段以國小科學探究能力作為學習環的步驟設計兒童科學探究課程，其中探究能力 $I(q,d,p,e,c)$ 為國小科學探究之能力表徵為五個面向的組合，其評量工具為「多層次科學探究評量問卷」，本研究擬參考原子軌域的概念建構科學探究的階層結構圖，例如 $I(1,0,0,0,0)$ 為能運用五官觀察物體的特徵，說出自己所觀察的現象，認為只要仔細觀察，就能有新奇的發現，並能感受發現的樂趣；科學概念 C 則為概念發展學習進程，其評量工具為「多層次科學探究評量問卷」，例如 $C1$ 為從日常生活發展保留概念，知道同一物質質量不會因為形狀改變而改變。

例如



伍、結論

在面對未來知識爆炸性增加時代的來臨，邁入知識經濟的新時代，因此我們應培養學生具備探究能力與素養，使之能有效參與快速變遷的全球化社會，目前國內科學教育研究確認科學探究為科學教育重要改革之一，然而科學探究過程的明晰性、科學探究能力的界定等等均在實務的教學實踐中漸漸模糊。朱建育、王祖浩、米廣春(2012)建議，在實踐領域中，既要探索如何進行科學探究，更要思考其對於人(師和生)的要求和影響、對於“科學”的適應和促進。如何從理論和實踐兩個方面挖掘科學探究的課程內涵，探索切實可行的科學探究的教學範式，指導教師和學生進行科學探究，從而發揮科學探究的全部功用尤為重要。學習進程則是科學教育改革中出現的新理念，也是最近幾年來西方科學教育界廣泛研究的一個熱點，被視為是溝通學習研究與課堂教學實踐的橋樑，聯結課程、教學與評量，促進其相互一致性的有效工具，解決目前科學教育研究與實務無法連結的問題。

目前國內科學教學方式多半是學生普遍接受科學是知識的累積與背誦，而科學教師的教學仍偏重講述式，即使有兒童操作性的活動，也多由教師示範，兒童一步一步照著做。另外有些教師對於教學活動課程的實施並沒有考慮科學主題概念、課程活動目標的邏輯性，只是在「盲目」的玩科學遊戲。再者科學探究教學未能於教室中實踐其最有可能的因素可能是考試引導教學，Keiler & Woolnough (2002)的研究指出科學探究的教學實踐仍未落實於科學教室之中，究其原因乃是被傳統的評量方式所控制與限制住，而教育部(2002)也在全國第一次科學教育會議的第一議題「科學教育目標、現況與前瞻」中，指出因升學考試壓力使然，中小學的科學教育忽略了創造力、科學態度的培養及探究能力等多元化的評量。目前這種課程、教學與評量三者間缺乏整合的現象普遍存在的課室中。日後研究若能釐清科學探究進程變項，並據以發展融入科學探究學習進程評量系統之多階段科學探究教學課程，達到科學探究學習進程評量系統與教學的實踐，進而對於科學主題概念、課程目標、活動目標之間的連慣性加以思考，進一步達成建構國小科學探究學習進程的目標

參考文獻

- 王美芬、熊召弟(1995)。國民小學自然科教材教法。台北：心理出版社。
- 王靜如、周金燕、蔡瑞芬(2006)。科學本質與科學探究。屏東教大科學教育，23, 3-17
- 朱建育、王祖浩、米廣春(2012)。科學教育研究的轉型:以學習進程為核心的證據驅動範式。海教育科研，7,48-50。
- 洪振方(2003)。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，15(3)，頁 641-662。
- 高芳 (2012)。關於五至九年級學生生態系統學習進程的研究。為出版之碩士論文，杭州師範大學生命與環境科學學院，中國大陸浙江省。
- 高慧蓮(2007)。九年一貫課程「自然與生活科技」領域科學探究能力之培養研究-子計畫二：科學探究能力之評量(III)。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。NSC 95-2511-S-153-006。
- Cox-Petersen, A. M. (2001). Empowering science teachers as researchers and inquirers. *Journal of Science Teacher Education*, 12(2), pp107-122.
- Crawford, B. A. (2000). Embracing the essence of inquiry : New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), pp916-937.
- Douglas Huffman, Evaluating Science Inquiry A Mixed-Method Approach, *Evaluation of Science and Technology Education CH9*, pp219-242.
- Duncan, R.G, Hmelo-silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609.
- Duschl,R., Maeng, S., Sezen, A. (2011). Learning Progressions and Teaching Sequences: A Review and Analysis.. *Studies in science Education*, 47(2), 123-182.
- University of Cambridge Faculty of Education (2003). Secondary Partnership PGCE Science Handbook 2003-2004. pp4-9.
- Wenger, E.,De Sousa Briggs,X& Snyder,W. (2003). Communities of Practice inGovernment: Leveraging Knowledge for Performance. *The Public Manager*, 32(4), pp17-21.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: assessment structures underlying a learning Progression. *Journal of Science Teacher*

- Education. 46(6), 716–730.
- Wilson, S. M., & Berne, J. (1999). Chapter 6 : Teacher learning and the acquisition of professional knowledge: An examination of research on contemporary professional development. *Review of Research in Education*, 24(1), 173-209.