

# 探討 DCI 教學模式對學生學習科學概念 及科學解釋的成效

王國華<sup>1</sup>、楊秀婷<sup>2\*</sup>、蓋允萍<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立彰化師範大學 科學教育研究所

<sup>2</sup> 臺中市月眉國小

<sup>3</sup> 臺中市惠來國小

\*[yangya61@yahoo.com.tw](mailto:yangya61@yahoo.com.tw)

(投稿日期：2013.11.29；修正日期：2013.2.15；接受日期：2013.5.23)

## 摘 要

發展學生科學解釋能力是科學教育的主要目標之一。然而，過去研究顯示，學習科學解釋的能力對國小學生是困難的，因此，探討有效的教學策略與模式協助學生學習科學解釋有其必要性。本研究的主要目的是檢測一個融入寫作活動及概念圖的教學模式，能否有效提昇國小四年級學生的科學解釋及科學概念的學習。此模式依描述性寫作(descriptive explanation)、概念圖(concept mapping)及詮釋性寫作(interpretive explanation)活動之順序進行，簡稱為 DCI 教學模式。本研究教學單元以「自然與生活科技」小學四年級光單元為主，以準實驗研究設計，25 位實驗組學生接受 DCI 教學模式，24 位對照組學生則接受一般講述式教學，以選擇題為主的單元成就評量單進行教學前後測，並以 t 檢定及共變數分析來檢測二組學生在光單元上科學概念學習的差異，同時發展科學解釋評量準則，以檢測學生科學解釋在主張、證據及推理各面向的質性資料。結果顯示，實驗組的學生在光單元中科學概念學習及科學解釋上成績均顯著高於對照組學生。本研究也針對如何利用這個 DCI 教學模式於科學課堂中提出建議。

關鍵詞：科學概念、科學解釋、DCI 教學模式

## 壹、研究背景與動機

科學的目的在於解釋現象(Stefani & Tsaparlis, 2009)，而科學教育的主要目標則在培養學生的高層次的科學素質(National Research Council [NRC], 1996)。基於此目的，幫助學生發展科學概念的理解，並以科學知識解釋生活中的現象是相當重要的(Nieswandt & Bellomo, 2009)。解釋是科學的中心表達方式，是科學本質的一環，同時也是學生學習科學上較困難的部分(Berland & Reiser, 2008)。由此可知，培養學生理解並應用科學解釋對學生的學習有所幫助，是科學教育工作中不可忽視的重要項目。

科學教育的首要課題之一就是培養學生的科學素養，在美國教育改革課程標準中，American Association for the Advancement of Science[AAAS] (1993)和 National Research Council [NRC] (1996)建議可以以科學課室中的閱讀及寫作活動提高學生的科學素養。過去許多關於科學寫作的研究，也說明了寫作足以提昇學生的概念知識、發展其科學素養、有助於學生達成所需的推理技巧，同時也會導致對於科學有正向態度(Hand & Prain, 2002; Patterson, 2000; Rivard & Straw, 2000)。過去有許多的研究著重於科學寫作，然卻較少有研究著重於年幼學生的科學解釋。而過去國內在科學解釋的研究上也多著重於國小高年級以上的學生(毛松霖, 1995; 吳佳蓮, 2006; 許素芬, 2008)，較少研究著重於國小中年級的學生，此也正是本研究想補足的部分。事實上寫作比閱讀更困難(Flower & Hayes, 1981)，尤其是年幼的學生，因為缺乏寫作技巧，需要更多的引導才能完成任務(McNeill, 2011)。Braaten 和 Windschitl(2011)認為教師需要知道如何將科學解釋融入現有教材中，才能引導學生進行科學解釋。

以台灣目前國小自然科教學現況及教材編排方面，並未特別強調科學解釋的能力。同樣在美國的教育政策中也開始強調國小階段的學生，應提供他們適當的鷹架，以協助學生發展科學解釋(Songer & Gotwals, 2012)。而學生需要整合概念才能理解其關係，概念圖被視為是概念整合的良好工具(Novak, Mintzes & Wandersee, 2000; Derbentseva, Safayeni & Canas, 2007)。因此，本研究希冀能補足目前國小教材中缺乏的部分，並鑑於缺乏完整的教學模式而困擾科學教師進行科學解釋，因而結合概念圖及寫作活動發展科學解釋引導模式進行教學。此教學模式稱為 DCI 教學模式(descriptive explanation, concept mapping and interpretive explanation)，主要由描述性寫作、概念圖及詮釋性寫作所組成的順

序性活動，以引導學生完成科學解釋，而此教學模式已被證實為有效促進學生學習科學解釋的方式(Yang & Wang, 2013)。但不同於 Yang 和 Wang(2013)的研究結果顯示了此教學模式有助於學生在月亮單元的科學概念理解及科學解釋的學習，而本研究目的即探討此教學模式在學生光單元概念的科學學習及科學解釋之成效。

## 貳、文獻探討

融入語言活動的科學學習在近幾年逐漸受到重視，最主要的原因是科學概念的學習無法獨立於語言之外，科學文字本身增加了概念的深度，它是理解特定高層次概念的來源(Brown & Ryoo, 2008)。尤其是科學的寫作語言有其獨特性，包含了訊息密度(informational density)、抽象(abstraction)、學術專門性(technicality)和權威性(authoritativeness)(Fang, 2006; Halliday & Martin, 1993)。因為科學語言有此高訊息密度及特定學術用語的複雜意涵，因此在學生學習科學的過程中，容易產生科學概念的混淆及不理解，而影響其學習結果。因此在科學的教學與學習上，幫助學生清楚地表達他們的想法與理解是很重要的(Patterson, 2000)，可以澄清學生的科學概念。因而語言活動不再只是語文教學的重要成分，在科學教學中，科學解釋及寫作也是科學課室中需融入語言的活動。

### 一、科學解釋

解釋(explanation)是指證據間關係及邏輯論證的建立，以及說明現象為何會發生及如何發生的(Berland et al. 2008; McNeill, & Krajcik, 2008)。而科學中的解釋之所以重要，仍因為解釋是科學的中心表達方式，是科學本質之一(Berland et al., 2008)，科學性的工作著重於理解，接著是解釋現象(Smolkin, McTigue, Donovan, & Coleman, 2009)。有些研究者認為有必要區分解釋與論證(argumentation)的不同，論證比解釋更為複雜，解釋是為現象提出說明，而論證則是評判解釋的合理性(McNeill, 2011; Osborne & Patterson, 2011)。

簡單來說，科學解釋扮演了重要的角色，學生在學習科學的同時，也需理解如何進行科學解釋。根據過去學者的分析，科學解釋的成分包含了三個成分：

主張(claim)、證據(evidence)、推理(reasoning)(Berland et al., 2008; McNeill, 2009)。主張是為問題提供答案。而證據是支持主張的資料和資訊，證據的來源可以是多數的資料、觀察到的現象以及可閱讀或討論到的事實等。最後，推理是指連結主張與證據的關係(Berland et al., 2008)。而學生參與科學解釋的主要目標為：理解意涵(sensemaking)、清楚表達(articulating)，並說服他人(persuading)(Berland et al., 2008)。

科學解釋雖重要，但對學生而言卻很困難。學生學習科學的普遍困難在於，無法透過解釋自然現象，形成科學主題的整合性概念知識(Hamza & Wickman, 2009)，以及無法轉移多元形式解釋及表徵，以對科學議題的概念有充分理解(Hand, Gunel & Ulu, 2009)。由此可知，科學解釋對學生而言，並不是如此輕而易舉的事，學生需要參與科學解釋的相關學習活動，並透過不斷地學習及引導，才能理解。

## 二、科學中的寫作活動

教授學生科學解釋是科學教育中的一環，而科學的讀寫活動則讓學生有更多機會表達自己的想法及對科學概念的理解。因此 Patterson(2000)建議科學中的寫作活動可以用來協助學生詮釋自己的想法，並檢視概念的理解。

在早期 1970 年代就有人提出透過寫作來學習(Wallace, Hand & Prain, 2007)。最早提倡寫作的學者是 Janet Emig，她在 1977 年，首先提出寫作為學習的良好工具，而寫作不是口語的紀錄，其功能是完全不同於口語，她認為寫作和概念知識間的認知關係非常密切(Hand, 2007)。也因此，開啟了寫作成為學習策略的各種研究，而這樣的觀點至今仍持續受到認同。Flower 和 Hayes(1981)認為寫作的過程是一系列的決定和選擇，同時更加清楚地說明寫作是認知的歷程。他們提出了寫作的概念是一種問題解決的歷程，藉此說明寫作得以用來幫助學習，乃因為寫作本身是目標導向的思考過程，而寫作過程便是作思緒整合的工作。

過去許多相關的研究指出，科學寫作活動能發展學生的科學素養、促進其概念理解、推理技巧，以及對科學的正向態度(Hand & Prain, 2002; Patterson, 2000; Rivard & Straw, 2000)。早期的寫作模式多以配合實驗室活動之寫作為主，如 Hand 和 Wallace(2004)的研究。而後幾年的研究中，多數的寫作模式則以科學知

識內容為主的寫作，並不一定配合實驗活動來進行，而以多元的寫作形式來融入，作為引導學生完成寫作的鷹架式寫作模式，例如：Patterson(2000)以脈絡圖為寫作鷹架，幫助學生學習，而 Warwick, Stephenson 和 Webster(2003)則以寫作架構來引導學生完成寫作，但比較缺乏著重於科學解釋的寫作模式。

科學寫作之類型多，本研究考量到不同的寫作任務有不同的功用(Prain & Hand, 1996)，且難易程度也不同，本研究採以科學解釋面向為主的寫作任務，包含了描述性解釋(descriptive explanation)和詮釋性解釋(interpretive explanation)之寫作任務。描述性解釋主要藉由描述過程或結構來解釋，而詮釋性解釋則以澄清意涵，定義名詞或主張，給予、發展或擴展意涵為主(Norris, Guilbert, & Smith, 2005)。因此本研究主要由簡單的描述性解釋寫作到困難的詮釋性解釋寫作任務安排，引導學生學會科學解釋。

### 三、概念圖

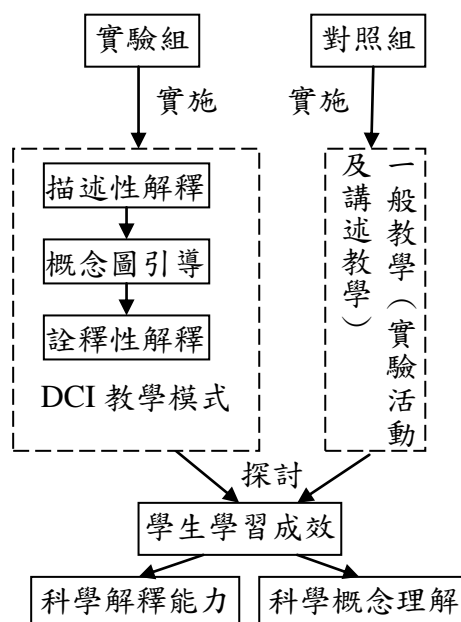
除了寫作活動外，為協助學生整合概念，本研究在二個寫作任務中融入概念圖活動。概念圖是一種包含二個概念及概念關係的命題，而這概念間（節點間）的關係是最獨特的(Derbentseva, Safayeni & Canas, 2007)。更進一步地說明，概念圖是一個包含節點（概念或詞語）、連接線和連接詞語的網絡。擁有連接詞的連接線稱為標記線(labeled lines)，而二個節點之間用標記線所連接起來，則稱為命題(proposition) (Yin & Shavelson, 2008)。最早提出概念圖的 Novak 等人說明了，因為學生的學習不是得到片斷的知識，將它儲存起來，他們會試著連結概念間的關係，形成命題(Novak, Mintzes & Wandersee, 2000)。因此，概念圖是符合學生學習的方式。學習者會將新的概念與命題，和之前的舊概念相連結，並整合到其認知系統中，而概念圖是將囫圇吞棗的學習轉化成有意義學習的橋樑(Novak et al., 2000)。

畫概念圖是一個學習的過程，在科學教學中是一個持續進行以獲得概念理解的歷程(Liu, 2004)。它可以是在教學過程中的任何時間，進行教學前，概念圖可以幫助老師理解學生的先備概念，以進行合適的概念改變活動設計；教學當中，概念圖可以幫助學生整合他們的科學概念；教學後，概念圖可以幫助學生反省並檢視概念的理解(Liu, 2004)。因此概念圖是教學及評量學生概念理解的良好工具。

## 參、研究方法

本研究採取準實驗研究中實驗組及對照組的設計進行研究，以國小四年級的學生為探討對象，從研究架構圖中(圖 1)可以看出，二組學生所接受的教學方式不同，實驗組學生實施本研究之 DCI 教學模式，而對照組學生則採一般教學進行，DCI 教學模式是指由描述性寫作(descriptive explanation)、概念圖(concept mapping)及詮釋性寫作(interpretive explanation)所組成的順序性活動，而此一般教學模式則包含實驗活動及講述教學，本研究主要分析比較實驗組及對照組學生，在科學解釋能力及科學學習上表現的學習成效差異。

圖 1 研究架構圖



### 一、研究對象與情境

實驗組及對照組為同校的國小四年級學生，這學校屬於鄉下學校，每年級約二到三班，家長的社經地位並不高，對於學校教學的關心程度也不特別熱心。這二班學生分別為二十五及二十四人，以常態編班方式形成，二班在三年級的

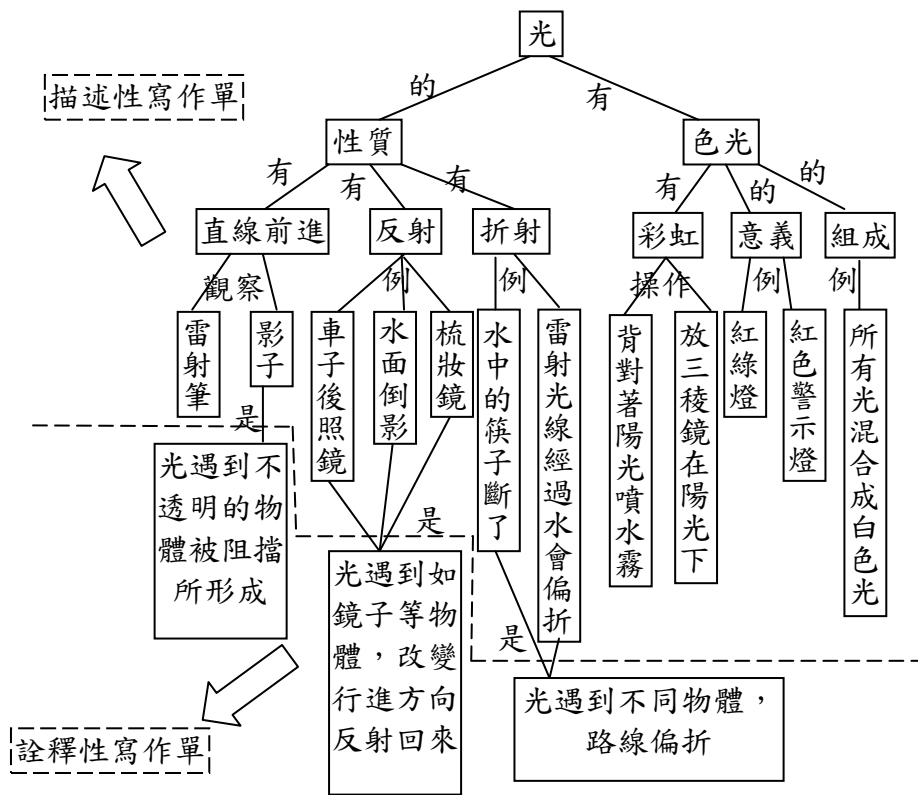
期中考及期末考各科平均是相當的，未達顯著差異。二班學生從三年級開始自然科科任教師為同一人，所接收到的教學方式皆是以講述教學及實驗為主的方式進行學習，而二班學生在整體課業表現上相近。其中最大的差異在於，實驗組的那班學生在三年級時曾經繪製過概念圖的經驗，在繪製的過程中教師以逐步引導的方式，先讓學生排概念區塊，再加以討論出小組的概念圖，最後形成個別學生的概念圖，接著，學生也在後續二個單元結束後，分別畫了概念圖。因此對概念圖有初步的了解，而對照組的學生則沒有繪製過概念圖的經驗。而在本研究中，二組學生所接受的教學模式最大的差異是，實驗組的學生除一般教學外，又融入科學寫作任務及概念圖的教學模式，本研究教學模式的實施程序為：描述性寫作單→概念圖→詮釋性寫作單，此三種寫作活動的順序性編排。首先，在單元教學中安排學生完成描述性寫作單的任務，單元教學結束後，教師引導學生完成該單元的概念圖，最後在概念圖結束後，教師引導學生完成詮釋性寫作單的任務，學生在詮釋性寫作單結束後，可以再修改其概念圖。至於對照組的學生則接受一般教法而已，並未融入概念圖或寫作單等寫作活動。

## 二、教學模式規劃與設計

本研究以奇妙的光單元為主進行教學設計，該單元的教學時間約是一個月左右，每週三節課，共約八個小時的課程。在該單元的設計流程，主要以(1)分析並繪製出概念圖為起始，在教學進行前之所以先分析單元概念，主要是理解在該單元所欲呈現的主要概念為何，以及學生所需要理解到的概念內容及層次為何，才得以進行寫作單的規劃。這單元內容當中，主要以光的性質及色光等二大概念為主（康軒，2012），也是教學的主要二個活動，在光的性質中，著重於光的直線進行、光的反射及光的折射等概念，每個概念有其相關活動以了解生活中的相關例子，而本研究並不指定學生之概念圖結果與研究者相同，只是鼓勵學生可以舉出多種例子來說明，並呈現於概念圖中。而過去研究中也顯示國小中高年級的多數學生能夠分辨日常現象中光的「反射」與「折射」，但是仍有少數的學生會將二者混淆的現情形（張靜儀、李采襄，2004）。接著進行(2)寫作單的區分與設計，在此先區分概念的層次，屬於大方向性，或是觀察狀態的描述，讓學生得到初步概念的層次，皆屬於描述性解釋的寫作單內容，此部分主要讓學生描述其所觀察到的現象，或是學生個人針對一般現象的想法

說明，或者描述其實驗操作的過程，偏向於回憶和紀錄的活動。而詮釋性解釋之寫作單的內容則為概念圖中再深入探討的層面，例如：歸納出整體現象的結論或規則、說明因果關係等，比較屬於分析及層面。這些初步的教學設計 (3) 經過討論修改及專家審核後定稿，因為初步的教學設計主要是研究者對研究進行的期望所構思的，其中有些許不妥之處，因此在教學設計初步完成之後，研究者與協同研究之二至三位諮詢者討論，並進行修正，再送專家審核。最後，定案後的教學設計才正式實施於課室當中。

圖 2 奇妙的光之概念圖及寫作單規劃



在本教學模式進行時，實驗組學生先接受描述性寫作單的任務，配合學生的觀察活動及實驗活動來完成，此階段約二個半星期的時間，共五個小時。在單元內容結束後，教師引導學生參照描述性寫作單及課本內容以完成該單元之



概念圖，約一個小時的課程，在此階段結束後，學生參照概念圖內容來完成詮釋性寫作單任務，此詮釋性寫作單任務以問題為導向，需要學生完成問題的回答，並提出證據，加以說明清楚，此活動進行一個星期的時間，約二個小時的課程，以完成整體教學模式。

### 三、資料收集與分析

為了比較融入科學寫作任務及概念圖活動的教學模式對學生學習成效之影響，本研究從科學概念理解及科學解釋的表現來探討學生的學習成效，並依此作資料收集。在單元之教學進行前及教學完後，則針對實驗組班級及對照組班級實施單元評量單之前後測，以及二組班級在教學完後皆實施科學解釋評量單測驗。

#### (一) 單元成效評量單

實驗組及對照組學生在單元教學前後各施測一次，成效單內容與課程配合，以選擇題為主，主要評量學生該單元概念之理解情形，為確認題目之可行性，以專家效度及內部一致性考量，十八題的成效評量單 Alpha 值為 0.85。二組學生的前後測資料主要進行成對樣本 t 檢定(paired t test)的分析，採雙尾檢定，主要理解實驗組及對照組學生在教學前後之評量單測驗中的平均數差異及差異之顯著性。此外，也探討前後測差異的效果量(effect size)，以理解前後測間，學生進步的效果為何。Effect size 主要為總平均差除以前測標準差，其結果 effect size 0.2 為影響力小，0.5 為影響力中等，0.8 為影響力大(Cohen, 1988)。除此之外，在實驗組及對照組學生前測成績無顯著差異下，進而分析二組學生的共變數分析(ANCOVA)，以理解接受此教學模式後之實驗組學生與對照組學生在學習結果上的差異程度為何，以突顯此教學模式之成效。

#### (二) 科學解釋評量單

為了理解學生在科學解釋方面的表現，本研究發展科學解釋評量單作為評量工具，此科學解釋評量單中的問題(如表 1)，主要詢問學生，其所認為的「當光源照到物體時，會有影子產生，請問這說明了光的什麼特性呢？」在問題中，又分為三大部分讓學生回答，每一部分給予適度的問題提示，在主張部分，詢問學生「你認為這是光的什麼特性？」；在證據部分，則要求學生舉出實際例

子來說明；在推理部分，則提示「我認為根據上面的例子可以證明（從你的舉例中說明光的行進是如何造成這樣現象的呢？）」以此方式引導學生完成科學解釋評量單。在學生原始資料呈現上編碼主要分為三部分，先呈現寫作單類型，再呈現學生班別，最後呈現學生編號，例如：（E2-B-S18），其中 E 代表詮釋性寫作單，B 代表對照組學生，而 S18 則是第十八位學生。而（D2-A-S8）則代表描述性寫作單(D)在實驗組(A)學生編號 8 的寫作內容。

表 1 科學解釋評量單－奇妙的光

問題：當光源照到物體時，會有影子產生，請問這說明了光的什麼特性呢？
主張：我覺得這是：
證據：除了這個例子，我還可以舉出實際觀察到的情形和實例來說明這樣的特性（例如：在你實驗時的什麼情形下，或是你觀察到的經過和結果等）：
推理：我認為根據上面的例子可以證明（從你的舉例中說明光的行進是如何造成這樣現象的呢？）：

為了評量學生的科學解釋表現，本研究參考 McNeill (2009)所提出的評量準則，再依本單元內容發展出合適於本研究中，針對學生科學解釋的寫作結果進行評分的評量準則（如表 2），為確定評量準則的客觀性，以評分者的一致認同信度為主，本研究由三位評分者依據此表格進行評分，分別針對主張、證據、及推理各部分給分，剛開始總體評分一致性為 84%，再加以討論修正，以取得三人的共識達成評分的一致性結果為 92%。研究者各個編碼及分析後，必須與其他研究者討論及重複編碼分析，直到評分者一致性(inter-rater agreement)達 95%為止(Nieswandt et al., 2009)。在評分一致性確認後，三位評分者所給予的分數之平均數，則為此該生之得分。此過程為質性資料分析，但其結果以量化數據呈現，再進行二組學生總分上的獨立樣本 t 檢定(independent t test)，以比較二組學生在接受不同教學模式後，科學解釋方面表現的差異。

表 2 科學解釋評量準則

問題：當光源照到物體時，會有影子產生，說明了光的什麼特性呢？	層次（分數）		
	0	1 或 2	3
主張	沒有提出光的特性或錯誤者	提及光的直線進行（給 1 分），提出光的直線進行，但說明不完整的，或未說明的（給 2 分）	提出光的直線進行特性，遇到物體時無法穿透行進才形成與物體形狀相似的影子
證據	不能舉出例子來說明，或是例子不是光直線進行的特性	能舉出一項正確且合適光直線行進的例子或二個例子但有錯誤者（給 2 分），只舉出一個符合光直線前進的例子，但說明不清楚者（給 1 分）。	能舉出二個以上合適的光直線行進的例子。例如：排桌椅時對齊時看到一條線、雷射光是一直線，或是燈光被擋到會形成影子等例子。
推理	無任何說明，或是說明與主張無關。	只重複光的直線進行，未說明舉例的關係（給 1 分），說明雷射光是一直線或其他例子，所以光是直線前進，但未連結到如果光不是一直線，則就可以繞過物體，不會產生影子。（給 2 分）	從實驗的例子中看到雷射光射出一條線，可以知道光是直線進行的，如果光不是直線進行，可以繞過物體的話，就不會有影子產生了。

除了量化分析外，本研究也針對學生所書寫的科學解釋評量單中的內容作質性資料分析。內容分析主要依據科學解釋三大面向，再進行每個面向的細部分析，這些細部分析從三方面進行，首先是特定概念分析方面，主要分析學生在科學解釋寫作中所提到的特定概念作分析，在主張、證據、及推理三部分中

分別有不同的編碼，在主張中分為四類：(1)提及並說明光的直徑特性、(2)只提及光的直徑特性、(3)只說明影子的產生、(4)無效的主張。在證據部分，則分為以下四類：(1)實驗操作舉例、(2)個人經驗舉例、(3)未舉例，只重複特性、(4)錯誤的舉例。在推理部分，則分為以下四類：(1)關連證據並強調主張、(2)反向假設，強化主張、(3)無關的推理、(4)錯誤概念或無推理。

在此主要先分析，學生在主張、證據、及推理三部分中分別提到某些特定概念的百分比，再比較評分者理想的回答範圍，以理解哪些概念是學生較能理解及運用的，而哪些是學生不易注意到的，也判斷以這些概念來回答的合適性等。此外，針對個別學生的寫作內容比較分析也是本研究所著重的，主要理解學生對於此問題的理解程度及回答的合適性。這些細部項仍屬於編碼步驟，接著進行類別化及概念化分析，再發展模式及主張，以理解學生的科學解釋表現。

## 肆、結果與討論

在學生的學習成效方面，本研究主要從二方面來呈現，一是學生科學概念的理解，二是學生的科學解釋表現。

### 一、科學概念的理解

針對學生科學概念理解的結果，主要分析來自於教學結束前後，二組學生所填寫之單元成效問卷，此問卷分析主要分為二部分，首先比較實驗組與對照組學生在教學前後的結果差異，因此採用成對樣本 t 檢定進行分析。結果發現了實驗組與對照組的後測成績均高於前測成績，而且提昇的程度均已達顯著性（表 3），可知經過教學後，學生對於該單元的概念有更進一步的理解，在此也看出不論是實驗組的科學解釋引導模式的教學或是對照組的教學，對於學生的概念理解都有所助益。為了更進一步了解教學前後學生在單元成效單的得分差距，本研究以效果量來評估，在效果量的部分，實驗組的 0.87 高於對照組的 0.51，且實驗組效果量高於 0.8，故為影響效果大，而對照組的效果量高於 0.5 但未達 0.8，因此顯示為影響效果中等。

表 3 二組學生在單元成效評量單之成對樣本 t 檢定結果

		平均數	個數	標準差	t 值 (顯著性)	效果量 (effect size)
奇妙的光	實驗組 前測	10.24	25	3.50	4.22***	0.87
	後測	13.28	25	3.48		
	對照組 前測	9.83	24	4.00	4.29***	0.51
	後測	11.87	24	3.80		

\*\*\* $p < .001$

結果發現實驗學生在前測及後測的成績，通常是高於對照組的學生，這樣的現象可能隱含著二組學生原先程度的落差，因此本研究接著比較了二組學生的共變數分析（表 4），以前測成績為共變項，進行分析。結果發現，實驗組學生的前後測成績均高於對照組，且這二組學生在共變數分析結果有達到顯著性差異，也因此說明，實驗組的教學方式有助於學生的科學概念學習，且效果顯著高於對照組的教學方式，也有助於學生的概念理解。

表 4 二組學生在單元成效評量之共變數分析結果

變異來源		SS	d.f.	MS	F
奇妙的光	組間(處理)	142.37	2	71.19	6.48**
	組內(誤差)	505.46	46	10.99	
	總數	647.83	48		

\*\* $p < .01$

## 二、科學解釋的表現

除了該單元的概念理解分析外，本研究之教學模式最主要的目的是引導學生進行科學解釋，因此更著重於學生在科學解釋結果上的分析。在單元結束後，二組學生除了完成單元成效評量單外，還需要完成科學解釋評量單，以一個主要的問題，要求學生寫下其科學解釋的主張、證據及推理等三部分，以回答此

問題。依據每單元的評量準則，每個項目均為零到三分的評分等級，因此總分最高為九分，由三位研究者進行分析，並取得評分一致性及共識後，呈現出每位學生在各項目的平均得分。為了理解實驗組學生與對照組學生在科學解釋評量單中的得分差異，本研究進行二組學生得分之獨立樣本 t 檢定，結果顯示實驗組學生的總得分均高於對照組學生的總得分，且其差異均達顯著性（表 5），此結果說明了融入科學解釋引導模式之實驗組學生，在科學解釋的結果顯著高於對照組的學生，而突顯此教學模式對於學生科學解釋的表現，確實有顯著提昇的效果。

表 5 二組學生在科學解釋評量單之獨立樣本 t 檢定結果

		個數	平均數	標準差	t 值(顯著性)
奇妙的光	實驗組	25	4.60	1.96	3.48***
	對照組	24	2.63	2.01	

\*\*\* $p < .001$

為了更一進步理解二組學生在科學解釋方面的表現，本研究將其得分結果區分為主張、證據及推理等三部分，並呈現各部分的平均數。從表 6 當中，可以看出實驗組學生在科學解釋的三部分分項得分，均高於對照組學生的得分，顯示實驗組經由本研究之教學模式後，在科學解釋的表現能有明顯的提昇，且效果較未融入此教學模式的對照組學生好。

表 6 學生在科學解釋評量單各面向之平均分數

		主張	證據	推理	總分
奇妙的光	實驗組	1.91	1.62	1.07	4.6
	對照組	0.97	0.99	0.67	2.63

從得分上的差異，可以看出實驗組學生在科學解釋的成績表現顯著高於對照組學生，然而這二組學生表現的差異內容為何，則無法由數據中得知，因此本研究再次進行深入的解釋內容分析，主要分每位學生在評量單中的寫作內容，以及內容所包含之概念，來說明二組學生在科學解釋表現上的差異。

### (一) 實驗組學生比較能在主張中解說光的直徑特性

在這單元中，本研究所詢問的科學解釋評量單問題為：當光源照到物體時，會有影子產生，說明了光的什麼特性呢？在主張中，研究者期望學生能回答出光的直線前進特性，並稍加說此特性的現象；在證據中，研究者期望學生能以實驗時或生活經驗中與光的直線前進相關的例子為主；在推理部分，研究者期望學生能說明到，從舉例中可以看出光是直線前進的，如果光不是走直線而是可以繞過物體，則就不會產生影子。由於主張、證據及推理三部分，學生需要回答的面向都不太相同，因此這三部分分別有不同的編碼依據。在主張的部分，研究者發現大多數學生都能夠提到影子的現象是光的直線前進特性造成的，這樣的回答符合問題所需之面向。然而在實驗組當中，學生除了指出光的直進特性外，也會稍加說明到光遇到不透明物體會產生影子，例如：實驗組學生 S1 及 S5，都能針對特性加以說明。而這樣的回答除了說出特性也能對此特性在某情境下產生之現象加以描述，能更清楚地說明並理解此概念，實驗組的學生超過一半以上的人數比例能作此回答。而相對於對照組中的學生，大多只回答到光的直進，並有再作後續的說明，例如：對照組 S18 及 S19 學生在回答中僅以短短的：「光的直線前進」回答，沒有進一步的說明。此外，對照組也有三位學生在主張中回答了反射或是空白等屬於無效的主張。

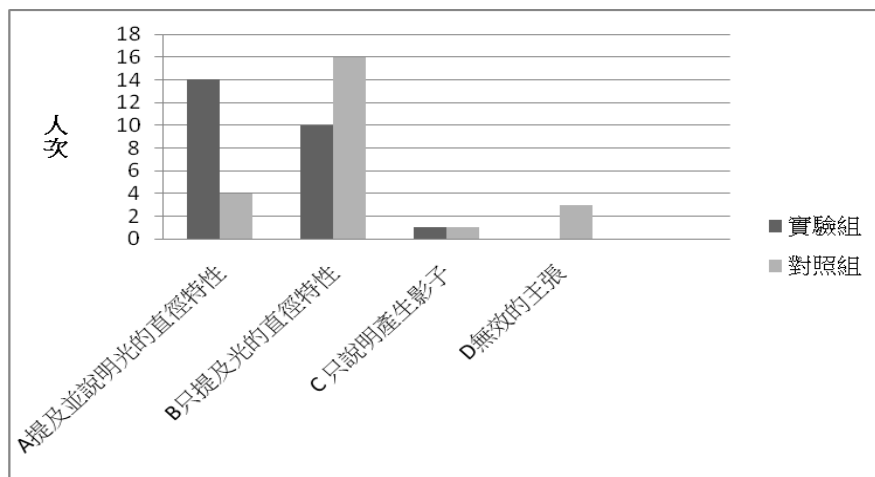
實驗組：光的直進，太陽光遇到不透明的東西就會產生影子 (E2-A-S1)

光的直進，當光照到物體就會產生影子 (E2-A-S5)

對照組：光的直線前進的特性 (E2-B-S18)

光的直線前進 (E2-B-S19)

圖 3 學生在奇妙的光單元科學解釋評量中主張部分所提到的面向



從整體回答的分析看來，在主張的部分，實驗組學生大多能完整回答，且所有學生回答的面向皆是吻合問題面向的光的直進特性，然而對照組的學生，雖然大多數也能回答到光的直進特性的面向，但是多僅此回答，並沒有更進一步的說明光的直進特性在何種情形下會產生什麼樣的現象，有進一步說明的學生對於概念的傳達較完整，也可見其理解程度是較高的，因為從學生的回答中，可以看出「光的直進特性」對學生來說不只是一個名詞，而是富含科學現象及原理的科學概念。因此，透過二個單元的分析結果，可以理解在主張部分，實驗組學生均比對照組學生更能檢視並理解問題，而提出合於問題所需的主張，同時他們的回答是較正確且說明完整的。

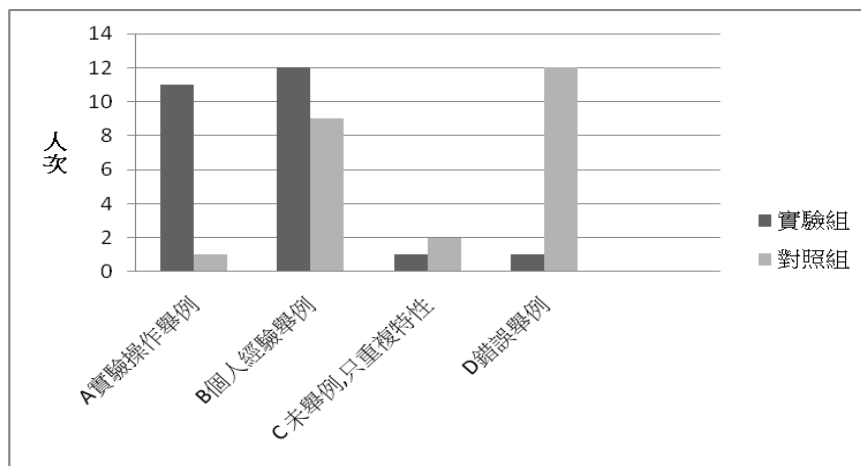
### (二) 實驗組學生較能舉出實驗及經驗相關例證

此單元的證據部分，依學生的回答內容，研究者區分為幾個面向加以探討，分別為：實驗操作舉例、個人經驗舉例、未舉例只重複特性，及錯誤舉例等四部分。實驗操作舉例是指學生能舉出在實驗時或實際操作的例子來說明光的直進特性；個人經驗舉例則是學生能舉出生活中關於光的直進特性的例子來加以說明；而未舉例只重複特性所指的是學生只說明了光是走直線的，或是說明光遇到不透明物體會產生影子，但未舉出相關例子加以解說；錯誤舉例則是學生所舉的例子與光的直進特性無關，而其他概念的例子，此顯示學生的概念連結錯誤，故為錯誤舉例。如同過去研究所顯示學生在光的反射及折射容易出現另



有概念（陳均伊、張惠博和郭重吉，2004）。從圖 4 的結果中可以看出，實驗組學生在實驗操作舉例及個人經驗舉例上的人數比例皆高於對照組學生，而這兩個面向也是研究者所期望學生能回答的面向，研究者希望學生的舉例是有依據及來源的。以實驗組的 S2 和對照組學生 S4 所舉的例子為例，這二位學生所舉的都是屬於實驗操作的例子，是他們曾經在上自然課時，實驗操作過的，而這樣的例子對照組學生僅有一人舉出此類型例證，而實驗組學生則有十一位舉出了這樣的例子。若以生活經驗舉例來看，實驗組學生 S18 及對照組學生 S17，二人所舉的皆是生活經驗中的例子，而實驗組學生有十二位能符合這樣的舉例，對照組學生則有九位，這樣以生活常見現象及相關經驗的舉例對學生而言似乎比較容易。若綜合這二類的舉例來看，實驗組學生僅有二人是不屬於此，其他二十三人皆能舉出符合主張的合理例證，反觀對照組學生有十人能作經驗及實驗方面的舉例，並不到一半的學生，而有高達十二位的學生，其所舉的例子不符合光的直線前進，而是其他光特性的例子，例如：學生 S22 舉出反射的例子，並不符合主張所提光直進的特性，也因此可以看出實驗組學生的舉例大多能符合主張，同時有合理依據的例證。

圖 4 學生在奇妙的光單元科學解釋評量中證據部分所提到的面向



實驗組：

老師用雷射筆，射在有煙的盒子，會看到雷射光的直線 (E2-A-S2)

在黑暗的房間裡，我一打開手電筒，都會發現光源是直直的照射  
(E2-A-S18)

對照組：

在自然教室我還發現紅外線和手電筒的光都是直線前進 (E2-B-S4)

我們去有太陽的地方，太陽照到我們身上，面向太陽影子在後面，背向  
太陽影子在前面，影子形狀和物體一樣 (E2-B-S17)

我們在玩陽光接力賽的時候，就會用到反射 (E2-B-S22)

### (三) 實驗組學生比較能藉由推理來強化主張

推理的部分，研究者希望學生能夠連結證據間的關係以強化他們的主張，因此學生能藉由所提的例子說明光的直進特性，同時也能夠運用反向推理，提出如果光不是直線前進，而是可以轉彎，那就不會在物體背後形成影子，如此利用反向假設來強化主張所提的光的直進。在分析學生的評量單結果發現，能夠提出合理性推理及說明的學生並不多，有少數學生提到：「這些例子能夠說明光的直進特性」還屬於能夠用例子強化主張的陳述，只是沒有詳細的說明，實驗組及對照組各約有一人呈現此類型的推理。此外，有些學生能夠用反向假設來說明及推理，例如：實驗組學生 S27 提到的：「如果光不是直線前進，而是從旁邊走，那就沒有影子了」，運用反向假設的思考，如果不是主張所提的直線前進，就不會產生這樣的結果，更加說明就是因為直線前進才造成影子，以此強化其主張。屬於這類型推理的學生人數，實驗組約九人，對照組約三人，明顯可見能夠表達出這二類屬於較合理性推理的學生人數不到一半，確實是不好掌握的部分，但實驗組能達到合理推理的人數仍是優於對照組的。

主張：光是直線前進的，因為光源照到物體，而形成了影子

證據：老師用雷射筆照射裝滿煙霧的盒子（透明），發現光是直線前進的

推理：因為光遇到不透明的物體會產生影子，如果光不是直線前進，而是  
從旁邊走，那就沒有影子了

(E2-A-S27)

推理的表達對學生而言是困難的，也因此產生了無關的推理或是錯誤的概念，有很多學生重複了光是直線前進的，沒有任何的推理，只是重複陳述主張，

或是有學生提到：「如果沒有陽光就不能產生影子」，這只說明了影子的現象，況且重點不是沒有陽光，而是陽光的直進特性造成的，這樣的回答如同對照組學生 S8 所提到的“光是照到物品，所以才看到影子”，同樣只描述了影子產生的現象，卻無法進一步說明這個現象何以是光直進特性造成的。有此可見，學生在回答時，常無法仔細分辨因果關係，也常忽略他們在主張中所提到的，導致前後的回答無法一致性，並相互呼應。此外，更有學生所提到的概念是與光直進不相關的，例如：光的前進慢慢的走、反射等說明，均無法說明到造成影子形成的現象，是光直徑特性的理由。

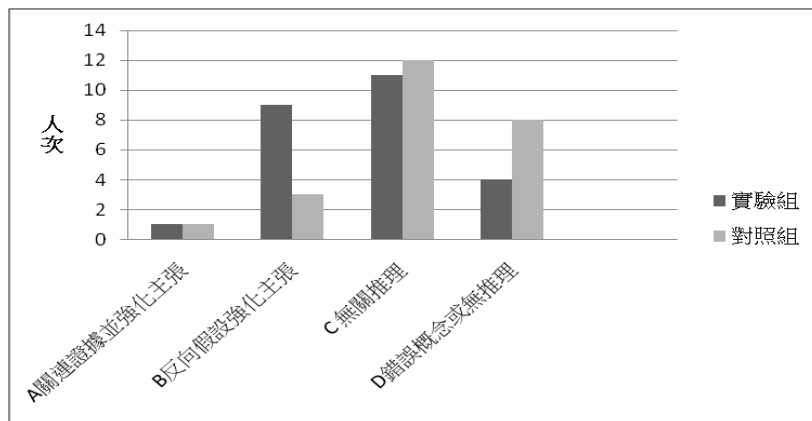
推理：因為光是直線前進的 (E2-A-S3)

推理：如果沒有陽光就不能產生影子 (E2-A-S5)

推理：光的前進慢慢的走 (E2-B-S6)

推理：光是照到物品，所以才看到影子 (E2-B-S8)

圖 5 學生在奇妙的光單元科學解釋評量中推理部分所提到的面向



總觀二組學生在推理部分的表現(如圖 5)，對照組學生在無關推理或是錯誤概念的比例仍是偏高的，在二十四人當中，就有二十人在推理上呈現無關及錯誤推理，僅有少數人能夠有合理的說明。雖然大多數學生無法呈現合理的推理，但是實驗組學生表現較理想的人數仍是高於對照組學生。

由本研究結果顯示，實驗組所採用的教學模式確實有利於學生學習科學解釋，如同 She 和 Liao(2010)提到的學生的科學推理有可能在短時間內提昇，只是

要有良好設計的教學模式。而這樣的觀點也與 McNeill(2011)的研究結果吻合，認為學生經由良好的引導可以學習科學解釋。而這良好的引導模式就是本研究所採用的 DCI 教學模式。

## 伍、結論與建議

本研究以質性及量的資料分析，來呈現學生在科學概念及科學解釋上的表現差異。由結果可看出，接受本 DCI 教學模式之實驗組學生在科學學習的成效上顯著高於對照組學生，尤其是科學解釋的表現，實驗組學生較能理解問題、能回答到符合問題所需的面向，也較能作合理的解釋，此與教學模式的安排有關，因為此 DCI 教學模式以引導學生進行科學解釋為目標，因此能確實提昇學生在科學解釋上的表現。也顯示了良好的教學模式確實可以引導年幼的學生進行較困難的科學解釋任務，不過在研究進行中，本研究透過晤談理解學生的感受，也發現太多的寫作單會影響學生書寫的情緒，在意願低落的情形下，容易影響其結果，因此研究過程中，本研究也精減寫作單的數量，以提高學生的寫作意願。而本教學模式主要希望能融入一般課程中各個單元來設計活動，不需額外的時間來進行科學解釋的教學。因此本研究建議，在國小中年級學生的科學教學中，融入適量的寫作活動及概念圖，有益於學生整合科學概念，並增強其科學解釋的表現。在不同的寫作活動中具有不同的功用，因此建議實施時能以融入不同單元的教學中，以此順序性進行，在不影響課室教學進度下，搭配課程教學進行設計及落實。而未來研究也建議值得再以質性個案研究方式，深入探討各活動如何影響學生科學解釋的表現，更能全面性地理解學生學習科學解釋的學習歷程。

## 參考文獻

- 毛松霖(1995)。國小五、六年級兒童傳達及解釋資料能力與天文概念架構之關係研究。行政院國家科學委員會專題研究成果報告（報告編號：NSC-82-0111-S003-069-N），未出版。
- 吳佳蓮(2006)。科學探究活動中國小五年級學童科學解釋能力及認識論之研究。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，臺北市。

- 張靜儀和李采襄(2004)。國小中、高年級學童光迷思概念與相關因素探究。屏東師範學報，20，315-354。
- 許素芬(2008)。POE 教學策略對五年級學童科學解釋與批判思考能力之影響。臺北市立教育大學科學教育所碩士論文，未出版，臺北市。
- 陳均伊、張惠博和郭重吉(2004)。光反射與折射的另有概念診斷工具之發展與研究。科學教育學刊，12，311-340。
- 康軒自然與生活科技教學指引第三冊(2012)。臺北市：康軒文教事業股份有限公司。
- American Association for the Advancement of Science (AAAS, 1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2008). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93, 1-30.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualisation of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95, 639-669.
- Brown, B. A., & Ryoo, K. (2008). Teaching science as language: A “content-first” approach to science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 529-553.
- Cohen, J (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Derbentseva, N., Safayeni, F., & Canas, A. J. (2007). Concept maps: Experiments on dynamic thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 448-465.
- Fang, Z. (2006). Scientific literacy: A systemic functional linguistics perspective. *Science Education*, 89, 335-347.
- Flower, L., & Hayes, J. R. (1981). A cognitive process theory of writing. *College Composition and Communication*, 32(4), 365-387.
- Halliday, M. A. K. & Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: The Falmer Press.
- Hamza, K. M., & Wickman, R. (2009). Beyond explanations: What else do students need to understand science? *Science Education*, 93, 1-24.
- Hand, B., & Wallace, C. W. (2004). Using a science writing heuristic to enhance learning outcomes from laboratory activities in seventh-grade science: Quantitative and qualitative aspects. *International Journal of Science Education*,

- 26, 131-149.
- Hand, B. (2007). Cognitive, constructivist mechanisms for learning science through writing. In C. S. Wallace, B. Hand & V. Prain (Eds). *Writing and Learning in the Science Classroom*. (pp. 21-31). Netherlands: Springer.
- Hand, B., & Prain, V. (2002). Teachers implementing writing-to-learning strategies in junior secondary science: A case study. *Science Education*, 86, 737-755.
- Hand, B., Gunel, M., & Ulu, C. (2009). Sequencing embedded multimodal representations in a writing to learn approach to the teaching of electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 225-247.
- Liu, X. (2004). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Journal of Research in Science Education*, 88, 373-396
- McNeill, K. L. (2009). Teachers' use of curriculum to support students in writing scientific arguments to explain phenomena. *Science Education*, 93, 233-268.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 53-78.
- McNeill, K. L. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation, and evidence, and their abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 793-823.
- National Research Council (NRC, 1996). *National Science Education Standards*. Washington, D. C.
- 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, 333-356.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., & Smith, M. L. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89, 535-563.
- Novak, J. D., Mintzes, J. J. & Wandersee, J. H. (2000). Learning, teaching, and assessment: A human constructivist view. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Ed.), *Assessing Science Understanding: A human constructivist view*. (pp.1-13). San Diego: Academic Press.

- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95, 627-638.
- Patterson, E. W. (2000). Structuring the composition process in scientific writing. *International Journal of Science Education*, 23, 1-16.
- Prain, V. & Hand, B. (1996). Writing for learning in secondary science: Rethinking practice. *Teaching and Teacher Education*, 12, 609-626.
- Rivard, L. P., & Straw, S. B. (2000). The effect of talk and writing on learning science: An exploratory study. *Science Education*, 84, 566-593.
- She, H. C., & Liao, Y. W. (2010). Bridging scientific reasoning and conceptual change through adaptive web-based learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 91-119.
- Smolkin, L. B., McTigue, E. M., Donovan, C. A., & Coleman, J. M. (2009). Explanation in science trade books recommended for use with elementary students. *Science Education*, 93, 587-610.
- Songer, N. B. & Gotwals, A. W. (2012). Guiding explanation construction by children at the entry points of learning progressions. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 141-165.
- Stefani, C., & Tsapralis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 520-536.
- Wallace, C. S., Hand, B., & Prain, V. (2007). Introduction: Does writing promote learning in science? In C. S. Wallace, B. Hand & V. Prain (Eds). *Writing and Learning in the Science Classroom*. (pp. 1-8). Netherlands: Springer.
- Warwick, P., Stephenson, P., & Webster, F. (2003). Writing for learning in secondary science: Rethinking practice. *International Journal of Science Education*, 25, 173-192.
- Yang, H. T., & Wang, K. H. (2013). A teaching model for scaffolding 4<sup>th</sup> grade students' scientific explanation writing. *Research in Science Education*. (SSCI) DOI 10.1007/s11165-013-9392-8.
- Yin, Y., & Shavelson, R. J. (2008). Application of generalizability theory to concept map assessment research. *Applied Measurement in Education*, 21, 273-291.

# Investigating the Effectiveness of the DCI Teaching Model on Students' Understanding of Scientific Concept and Scientific Explanation

Kuo-Hua Wang<sup>1</sup> Hsiu-Ting Yang<sup>2\*</sup>  
Yun-Ping Ge<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Changhua Normal University, National Institute of Science Education

<sup>2</sup>Yua-Ma Elementary School

<sup>3</sup>Hui-Lai Elementary School

\*[yangya61@yahoo.com.tw](mailto:yangya61@yahoo.com.tw)

## Abstract

Developing student's ability of scientific explanation is one of main goals of science education. However, previous studies indicated that it is difficult for elementary students to achieve this goal. Therefore, developing effective teaching strategies to help students learn scientific explanation becomes necessary. The purpose of this study was to examine the effectiveness of a model, named the DCI teaching model, on 4th grade students' learning of scientific explanation. The DCI model, which integrating descriptive explanation writing activity, concept mapping, and interpretive explanation writing activity, is anticipated to be introduced in formal science classes to assist students in learning scientific explanation. The teaching unit is "Light" in elementary science course of Taiwan. A quasi-experimental design was adopted for this study. An experimental group of 25 students accepted the DCI teaching model, while a comparison group of 24 students received a lecture teaching. Data collection instruments include pre- and post achievement tests on light concept, and a working sheet of scientific explanation. The paired t test analysis and the analysis of covariance were used to measure difference in conceptual understanding between the two groups. A rubric and content analysis was used to evaluate students' scientific explanation which including claim, evidence and reasoning. The results showed that students in the experimental group scored significantly higher than students in the comparison group, both in scientific concept understanding of light and scientific explanation. Suggestions for using the DCI teaching model in science classes were also reported in this study.

Keywords: Multi-group Analysis, Science Language, Structural Equation Modeling, Reading Comprehension