

科學寫作理論與教學之探討

洪月女* 靳知勤**

科學閱讀與寫作教學的研究在國外已有數十年的歷史。科學寫作是輔助科學學習與應用的工具，能培養學生透過寫作來紀錄、發問、思辨、探究與整合學習結果。科學寫作也能幫助科學實驗或研究成果的傳播與推廣。本文從三個面向探討寫作在科學教育所扮演的角色與重要性，分別是：寫作輔助科學的學習，寫作促進科學的推廣，以及寫作統整科學教育與語文教學。本文也探討國外科學寫作的研究，包括科學文本的特性，科學寫作的歷程，科學寫作的教學策略，以及科學寫作的評量等，以供國內科學教育以及語文教育學者與教師參考、借鏡。文章最後提出科學寫作有待回答的理論與實務問題，並提出五項建議，以供國內科學教育學者與教師作為未來研究與教學的參考。

關鍵字：科學文本、科學寫作、科學寫作教學、科學讀寫

* 作者現職：國立台中教育大學英語學系助理教授

**作者現職：國立台中教育大學科學應用與推廣學系教授兼數理暨資訊學院院長

壹、緒論

閱讀與寫作是我們賴以學習的重要能力，也是我們跟他人溝通與分享經驗的重要途徑。閱讀是攝取訊息最方便有效的途徑，知識的累積、交流與傳播均有賴閱讀，在二十一世紀知識經濟時代，掌握最新訊息的人就有競爭的優勢。因此，世界各國莫不把提升國民閱讀能力設定為國家發展重大目標。對於位在大洋之隅的島國台灣而言，閱讀更是提升國民競爭力之鑰。對學生而言，閱讀亦是最重要的學習工具與途徑。學生不僅在語文課裡學習閱讀，也從閱讀不同學科領域文本的過程中，增加閱讀的精熟度。相對的，適當的閱讀指導與理解訓練，可提升非語文學科領域的學習成效。

寫作是一個人語文能力的最高表現，也是現代社會所強調的溝通表達管道之一。在練習寫作的過程，學生也學習到組織訊息、邏輯陳述與思考整合的能力。國外已提倡多年的「跨課程的寫作」(writing across the curriculum)以及「透過寫作來學習」(writing to learn)都是強調學生經由寫作的過程，學習發問、思考、紀錄與知識呈現等重要學習與認知策略。在科學教育領域，從早期以學生的寫作來研究科學學習的概念改變，到現今則有不少學者提倡培養學生透過寫作來發問、紀錄過程、思辨、探究與整合學習結果 (Osborne, 2002)。Yore、Hand、Goldman、Hildebrand、Osborne、Tregust 和 Wallace (2004) 更揭發論證、批判性思考與寫作是科學素養研究與教學的三大新方向。

從語文教育與讀寫教學的角度觀之，學科領域的讀寫 (content area literacy) 一直是語文教學裡一個很重要的議題。透過閱讀與寫作的活動來討論、探索與進行主題教學，既能達到非語文領域學習之目的，又能指導學生讀寫不同主題內容與學科領域的文本，擴展學生的讀寫經驗，幫助他們體驗不同的讀寫情境、目的、文類、修辭習慣以及篇章結構。

從科學教育的角度觀之，科學讀寫教學的研究在國外已有數十年的歷史。Harold Herber 在劃時代的巨著 *Teaching Reading in the Content Areas* (1970) 一書中介紹一系列不同學科領域的閱讀教學實驗成果。近年的代表性專書則有 Daives 和 Greene (1984) 的 *Reading for Learning of the Sciences* 與 Wellington 和 Osborne (2001) 的 *Language and Literacy in Science Education*。科學教育從早期強調科學概念的認識，到重視親自操作的學習，進入到現今追求探究的學習模式，閱讀、寫作與討論的教學在科學教育益形重要。本文旨在介紹寫作在科學教育所扮演的角色與重要性，並且簡述國外科學寫作的研究，以供國內科學教育以及語文教育學者與教師參考、借鏡。以下從不同面向剖析寫作在科學教育之重要性，再就國外有關科學寫作的研究作一整合評析。

貳、寫作在科學教育之重要性

透過親眼觀察、動手操作來學習科學固然能帶給學生真實、有意義的學習經驗，而且科學教育也一向注重親手實作的教學設計。然而，自然世界裡有許多現象與概念，以及許多學童對自然與科學的疑惑與好奇是無法經由親手實際操作來實驗或回答的。Palincsar 和 Magnusson (2001) 甚至認為在科學探究的學習，二手學習經驗比第一手實作的學習經驗還重要：

...the notion that inquiry must be exclusively activity based is problematic because, in fact, much of what we know about scientific reasoning has been acquired through the thinking and experiences of others; that is, through learning in a second-hand way. (p. 152)

...探究必須完全仰賴活動才能實施這種觀念是有問題的，因為事實上，我們相當多關於科學推理的認識是透過思考與他人的經驗而得來的，也就是透過二手經驗得來的。(頁 152)

文本能提供學生大量二手科學學習的媒介與經驗。國際閱讀協會 (International Reading Association) 與美國國家英語教師協會 (National Council of Teachers of English) 在 1996 年共同發表的英語語文課程標準聲明 (IRA/NCTE, 1996) 中強調透過聽、說、讀、寫的語文活動進行各學科領域裡有意義的溝通。文本提供大量科學學習與探究技巧的示範，例如怎樣仔細觀察、比較、分類、依據線索來假設、尋找證據來支持假設等。文本也提供示範，讓學童看到科學素養所強調的提問、探索、檢驗等過程 (Yager, 1993)。透過讀寫活動，學童強化他們來自第一手科學操作活動的理解。閱讀能輔助第一手科學活動的進行與學習；寫作則幫他們在第一手科學操作活動之後，釐清問題、整理並調整觀念、呈現結果。Yore 和 Treagust (2006) 強調語言能形塑並影響思考與知識建構，多樣化的科學寫作設計可以幫助學生把口語表達不完整的觀念用文字釐清，並強化學生科學寫作與閱讀能力的萌發。以下從三方面來申論寫作在科學教育之重要性：寫作輔助科學的學習，寫作促進科學的推廣，以及寫作統整科學教育與語文教學。

一、寫作輔助科學的學習

在講求探究的科學教育課程裡，閱讀與寫作扮演著相當重要的角色。透過整合閱讀與寫作的科學教學，學生建構重要的科學知識、應用這些知識於生活、解讀詮釋科學報導，並且能對科學與科技相關的社會議題下判斷。Hand、Prain、

Lawrence 和 Yore (1999) 強調寫作能連結個人的理解與科學的解釋，能強化學生深層的科學概念理解。正如 National Research Council (1996) 的科學教育標準所言：口語言談以及閱讀與寫作是探究以及學生科學學習裡重要的階段，學生透過這些口語與閱讀寫作活動，聚焦思考他們怎麼會懂得他們所懂得的，以及他們如何把所學得的科學知識跟其他較大的觀念、其他領域範疇的知識、或甚至跟教室以外的大世界互相連結。Rowell (1997) 認為寫作不僅是建構科學知識的一個學習工具，學生透過寫作了解科學家團體的文化，學會說明理由、澄清疑慮、發問、提出替代觀點、指出重要發現等能力。

「透過寫作來學習」的觀念在 1960 與 1970 年代開始受到教育學者的歡迎，接下來的期間學者們對它的定義與在各個學科領域的應用有許多的討論 (Gallagher, 2007)。在科學教育，「透過寫作來學習」的運用大致有兩種情形，其一是將寫作視為輔助科學學習與應用的工具，另一是教導學生進行科學寫作以幫助科學實驗或研究成果的發表與傳達 (Gallagher, 2007)。有關前者的研究在國外為數頗多，但是有關後者的研究相對的比較新，也比較少。Hand、Prain、Lawrence 和 Yore (1999) 以及 Yore、Hand 和 Prain (2002) 都提到所謂的「跨越邊界」(border crossing) 的觀念，意思是科學教育除了運用寫作來幫助學生科學的學習、紀錄實驗過程或撰寫科學報告、建構科學觀念、了解科學研究與實驗歷程，或認識科學本質之外，科學教育學者也應該教導學生運用寫作來跟不同群眾溝通科學的觀念與知識，討論與科學、科技、環境等相關之社會議題，以達成科學教育目標之一。這個觀念 Hand、Prain、Lawrence 和 Yore (1999) 說明如下：

Writing in science recognizes that scientifically literate people need to cross boundaries of learning communities between the scientific community and broader society. This transition requires literate people to understand the traditional language and patterns of argumentation of scientists and to be able to use effective communication and persuasion with non-expert readerships. (p. 1026)

科學寫作認為具科學素養的人必須跨越科學社群以及廣大社會這兩種學習社群的邊界。此種跨越要求具科學素養的人必須能通曉科學家使用的傳統語言與論證模式，並且跟非科學專家讀者能使用有效的溝通與說服方式。(頁 1026)

也就是說，科學寫作有雙重目標：透過寫作來學習科學，以及寫給不同群

眾與讀者閱讀的科學與科技寫作。有鑑於此，國外已經開始有大學系所把科學寫作訂為科學和工程的課程目標之一和教學策略，因為這些大學知道他們的學生畢業後作為專業的科學家，勢必需要跟不同的人、以不同的文本類型溝通或說明科學知識（Yore, Hand, & Prain, 2002）。

從這個科學教育的發展歷史脈絡觀之，我們清楚地看到寫作在科學教育課程裡的角色。學生除了透過寫作來記錄、思考與表達，以達成科學學習之效，科學的傳播與推廣也是科學寫作另一重要目的，而這正是下一節所要討論的主題。

二、寫作促進科學的推廣

科學家的工作必須進行相當多的閱讀與寫作：讀寫實驗紀錄、研究日誌、閱讀相關領域研究文獻、撰寫發表研究報告...等。科學家也需要透過寫作，把科學的發現與知識轉換成一般民眾可以理解的語言，將研究成果發表或推廣，以促成全民科學素養的提升，並幫助國家重要科學、科技與社會議題的決議。誠如 National Research Council（1996）的科學教育標準所言：科學家透過觀察（證據）和他們對這個世界已有的知識（科學知識）發展出解釋，好的解釋是依據實驗研究所得的證據而來。科學家公布實驗研究的結果，他們詳實描述實驗研究以利別人能複製。科學家也會評閱與質問別的科學家的實驗研究結果。

Yore、Hand 和 Prain（2002）曾經對美國中西部一所州立大學科學與應用科學系所的 17 名教授施行問卷與訪談調查，了解他們所撰寫的科學文章類別，使用甚麼標準來評斷他們所閱讀的科學文章，以及他們使用甚麼科學文章寫作策略。研究發現這些接受調查的科學家所撰寫的科學文章類別非常有限，表示科學家們通常重視學術發表，以撰寫需要同儕評審的學術期刊論文為主，較少為一般群眾撰寫科學性文章。此外，這些科學家對不同科學文本類型的形式與功能也較不熟悉。最後 Yore、Hand 和 Prain（2002）呼籲未來應該要有探討科學家科學寫作信念的研究。這個研究令我們思考：我們如何幫助從事科學與科技相關領域的人員以讀寫的途徑推廣科學知識與研究成果呢？

無論是哥白尼革命或是 DNA 結構，科學的發現均須先被詮釋、解讀意義，說服科學界本身，然後轉變成為大眾接受與運用的公開、分享知識（Gallagher, 2007）。除了少數因政治或軍事考量的情形，科學知識原本就是公開的，因此科學教育的目標之一是在幫助學生學習與詮釋科學知識，進而將科學知識轉換成有意義的書面語言，以利科學成果的傳播與推廣，而這有賴於科學寫作的訓練。

三、寫作統整科學教育與語文教學

語文的學習除了學習語言本身之外，另一重要的目的在幫助學生透過語言來學習其他學科的內容。不同的學科與內容領域會有不同的語言形式與傳統，因此語文教學目的之一就是在教導學生熟悉不同學科領域文本的語言形式與傳統，學生才能在各個學科領域有長足與持續的進步。此外，非故事類的訊息文本佔成人閱讀與書寫量的多數，也是大多數語文成就標準化測驗裡學生最常遇到的文類（Hoyt, Mooney, & Parkes, 2003），因此將學科領域內容的文本，例如科學文本，與語文的教學相結合，則其文本是真實的（符合科學領域的語言形式與傳統），其內容是有趣的（含括不同科學主題），其閱讀與寫作行為是有意義的（除了練習讀寫，而且增進科學的學習）。

簡言之，科學教育中的寫作活動不僅輔助學生紀錄、理解、思辨與表達，以促進科學的學習，也訓練學生詮釋與溝通科學的知識與成果，以促科學的傳播與推廣。融入寫作的科學教學除了幫助學生學習科學，同時也認識特定的科學語言形式與傳統，習得科學的語言，對日後科學與語文兩方面的學習皆有莫大的助益。

叁、相關文獻評述

在英語系國家，有關寫作的研究相當多，但是有關科學與科技寫作、科學文章的撰寫、生手如何轉變成專家，以及寫作在科學教室裡的應用等議題的研究卻相對的較少受到注意（Yore, Hand, & Prain, 2002）。國內已經開始有研究和論文探討寫作融入科學教育的可行性、效果與教學策略（李意如、劉聖忠，2006；陳慧娟，1998；劉國權、黃萬居，2000；蕭仿玲、盧秀琴，2006；羅廷瑛，2004；羅廷瑛、張景媛，2004；Kuo, 2003）。在這些國內的研究，接受科學寫作教學的對象侷限在國小學生，探討中學生或大學生科學寫作能力或教學的研究則尚付之闕如。此外，國內有關科學寫作的研究多數探討寫作如何改變學生的科學概念或增進科學學習的成效（陳慧娟，1998；羅廷瑛，2004；羅廷瑛、張景媛，2004；Kuo, 2003）或探討在自然科教室裡實施科學寫作的教學策略（李意如、劉聖忠，2006；蕭仿玲、盧秀琴，2006）。以下就國外有關科學文本的特性、科學寫作的歷程、科學寫作的教學策略，以及科學寫作的評量等研究作一簡述與探討。

一、科學文本的特性

科學文本是書寫文本的一個次類別，跟其他所有的閱讀文本一樣，有共通

的辭彙、語法與語意系統。然而由於科學領域（所有其他領域亦同）有其特定的知識觀、研究方法以及教學觀，因此科學文章也自成一種文類（genre），有其偏好的語法和修辭習慣（Schleppegrell, 2004）。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。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，偏好使用被動語氣、排除個人情感、煽動或太過文雅的論述。此外，Baake（2003）也提醒我們，許多科學家對所謂比較有修飾的語言持懷疑的態度，他們認為公式化以及數學的語言比文字敘述更正確、更經濟。

科學類文本和敘述文的文章結構是不同的，科學類文本的結構通常的分類包括有：描述、問題/解決、時間/空間順序、比較異同、因果關係、流程/步驟等。以 Rosenblatt（1978）的讀者反應理論（reader response）來看，前者屬於「輸出」型的閱讀（effluent reading），閱讀目的通常在訊息的取得；後者屬於「美感」型的閱讀（aesthetic reading），閱讀目的通常在體驗文本所描述的經驗。

由於科學文本的種種特性，它加諸於讀者的認知與語言要求自然不同於敘述性文本，依據 Peacock（1995）的分析，這些要求共可區分為五大類：內在（intrinsic）的要求指的是觀念或內容的難度；語言（linguistic）的要求指的是科學的詞彙、句子與修辭；視覺（visual）的要求指的是圖、表、相片、符號等圖示；格式（formatic）的要求指的是圖文的相關配置；社會（sociological）的要求指的科學文本語氣與內隱含意。不過多元文本（multi-model text）的研究提醒我們，科學文本的分析或評量必須看整體，而且科學文本裡的視覺圖示成分不僅用來支援文字，它們自身也有表達意義與傳達訊息的功能（Peacock, 2001）。

討論科學知識與觀念的文本當然會出現許多科學專門詞彙，然而 Halliday（2004）認為要找到通順清楚而且沒有太多科學專門詞彙的科學課本或甚至雜誌文章並不難。他認為專門詞彙僅是科學語言特質的一小部份，科學語言最大的特點在於它的「用詞語法」（lexicogrammar）。

專業兒童科學圖書作家 Anthony D. Fredericks（2002）認為，好的兒童科學文本不僅要能正確、清楚地說明科學知識，還能啟發讀者發問與自動學習的意願。他把這個能成功地吸引學童閱讀科學文本的要素稱為 the wow factor，也就是學童閱讀時心中會驚嘆道：「哇！我以前都不知道。」Fredericks（2002）也認為吸引兒童的科學文本應該有技巧地將科學事實、敘述或甚至故事摻揉在一起，才能引發兒童的閱讀與科學學習的興趣。

Parkes（2003）和 Mooney（2003）兩位學者在討論訊息類以及科學類文本

時，認為優良的科學文本能整合多元訊息來源，例如文字、圖表、地圖、插畫、圖片等，而且能供讀者科學文本寫作的模式與想法。

綜合上面有關科學文本特性的論述，我們可以看到科學文本從早期被認為是紀錄科學實驗與發現的工具，轉化到自成一種文類，有其特殊的用詞語法與圖文表現。給兒童閱讀的科學文本更是被期待能融合說明與敘述的文體，以啟發讀者的閱讀與科學學習興趣。

二、科學寫作的歷程

早在十七世紀，人們把文學的寫作和科學的寫作區分開來，前者強調美學、文化與人文思想，而後者重視語言本身以及如何用語言來表達、探索、分析與創造，因此科學寫作在早期被認為是被動的、客觀事實的描述 (Witkin, 2000)。Bazerman (1988) 就曾經指出科學的寫作經常不被認為是寫作，而只不過是自然現象或事實的紀錄。Witkin (2000) 認為後現代主義的思潮使得專業以及科學寫作開始被認為是一個意義建構的歷程，一種探究的歷程。不同的文字選擇、語法結構、修辭技巧或表現都會產生、輔助或改變文本的意義。寫作不再是紀錄真實世界的工具，而是創造與組織意義的方法。

Galbraith 和 Rijlaarsdam (1999) 把寫作的歷程分為三個階段：策劃認知 (intentional cognition)，管理過程 (managing the process)，以及寫作的社會性本質 (social nature of writing)。第一個「策劃認知」階段指的是作者所預設的寫作目的與立場，通常新手的寫作目的在告知知識 (knowledge telling)，而專家的寫作的目的在改變知識 (knowledge transformation)；寫作生手通常在字詞等修辭層面多所著墨，而寫作專家則兼顧修辭與內容 (Keys, 1999)。第二個「管理過程」階段指的是規劃、轉譯與修改等實際的寫作後設認知歷程。第三個「寫作的社會性本質」階段則脫離作者個人，指的是作者與讀者雙方的互動。作者必須對讀者是誰、讀者的預期與閱讀目的、語文經驗、知識背景與先備經驗，或甚至意識形態等有所覺知，才能撰寫出有效、成功的科學文本。

從上面有關科學寫作歷程的論述，我們可以看到科學寫作絕對不僅是觀察或事實的紀錄或報告。科學寫作是個高度後設認知的行為，作者必須有強烈的讀者意識，採取不同的修辭與寫作技巧以達成寫作的目的。

三、科學寫作的教學策略

最早開始論述學科領域寫作 (content area writing) 的學者之一 Tchudi (1986) 建議，當寫作融入學科領域教學時，老師們須遵守以下兩項原則：第一，寫作的教學必須經由教師示範、批判性的建議，以及善意的督促；第二，寫作的過

程必須以學科內容為主軸。其中第二點建議，也就是學科寫作的中心是學科內容，在後來的科學寫作研究與文獻中一直不斷的被強調，甚至科學寫作評量的研究也呼應這個觀點，亦即科學寫作的教學主軸是科學內容，評量的重點也是內容。

在科學寫作教學策略方面，國外的研究涵蓋從國小到大學生的年齡層。以下介紹幾個科學寫作教學的活動與策略，僅供國內讀者一窺科學寫作在教室現場之可行作法。

Kokkala 和 Gessell (2002/2003) 結合生物課大學生和英文課大學生，雙方以作者－編輯的關係，以合作學習的原則分小組進行寫作學習。其作法分為四個步驟：生物課學生以小組為單位撰寫一篇科學文章投稿給英文課學生，英文課學生也是以小組為單位讀完這篇文章後給予編輯意見並評分，生物課學生依據編輯意見修改他們的文章後再次交給英文課學生，最後英文課學生撰寫一份報告說明他們的編輯意見並自評擔任編輯的經驗。研究發現雙方學生對影響寫作的要素如讀者 (audience)、目的 (purpose) 與場合 (occasion) 等覺知大為提升，他們也了解到跟不同學科領域的人溝通特定學科內容知識的困難何在。

澳洲學者 Len Unsworth 依據 M.A.K. Halliday 的系統功能語法 (Systemic Functional Grammar)、科學文本的文類 (genre) 分析，並參考其它澳洲學者的跨學科讀寫教學研究，發展出可運用在不同學科的多元讀寫素養教學策略。在科學領域，寫作的教學共分成三個步驟進行：依循示範的練習 (modeled practice)，指導式的練習 (guided practice)，獨立練習 (independent practice) (Unsworth, 2001)。教師首先說明科學文章的結構與用辭語法，並且提供不同示範，協助學生規劃寫作的步驟。接下來學生開始進行寫作，教師同時持續提醒科學寫作的社會功能性，學生完成初稿之後開始進行修改，最後學生發表他們的作品。

Campbell 和 Fulton (2003) 發展出「科學筆記簿」(Science Notebook) 的科學寫作教學策略，學生在各自的科學筆記簿裡除了有筆記、紀錄、條列、圖示、觀察、表格等，很重要的一項延伸是教導學生在實驗完成之後，就像真實世界的科學家會把研究成果在學術會議發表一樣，Campbell 和 Fulton 鼓勵學生撰寫他們的實驗結果，在班級或學校舉辦的「科學會議」中發表。透過這個真實的發表經驗，學生有真實的聽眾與讀者，他們不僅練習口語發表，也學習必要的科學寫作技巧。

Reardon (2002) 依據多年的科學讀寫教學經驗，整理出十數個提示問句，以幫助學生撰寫更清楚、有條理的科學文章，例如：甚麼令你驚訝？你最好奇的是甚麼？你的疑問從何而來？甚麼樣的問題是好問題？你如何確定你的解釋

是好的解釋？有沒有更好的解釋？如果卡住寫不下去時你怎麼辦？哪些證據你覺得最有說服力？

以動物科學為例，Haug（1996）將科學寫作分成六個步驟：準備，組織，寫作，修改，校正，以及報告，茲簡述如下。第一是「準備」，包含了學生個人或小組進行腦力激盪，或是教師提供成功優質的科學寫作作品給學生參考等。第二是「組織」，學生依據所撰寫的內容與主題選擇適當的段落組織與安排，老師可以用提問的方式引導學生組織文章，例如：文章的主要目的是甚麼？重點為何？你想要給讀者甚麼影響？第三是「寫作」，允許學生以自己最習慣的方式完成初稿，不必在意文法與修辭的錯誤。第四是「修改」，學生學習像編輯一樣修改自己的作品，或者與同學互相修改。第五是「校正」，鼓勵學生至少校正三次，也可以大聲唸出來以檢查措辭與流暢性等。第六是「報告」，安排學生以書面或口頭的方式報告他們的作品，讓學生意識到寫作的本意是知識分享與討論。

在 Hand、Prain、Lawrence 和 Yore（1999）所發展的科學寫作教學模式裡，他們認為寫作是否真的能提升學生的科學素養，有賴於教師是否具有對讀寫教學與教室策略的知識，教師的信心，以及學生是否了解科學寫作的內涵與目的。

Hand、Prain 和 Vance（1999）發展了「科學寫作輪」（Writing in Science Wheel），以視覺的方式提示學生科學寫作的重要過程，其中包含五個要素：目的（purpose），讀者（audience），寫作的方法（method of production），格式（format），以及主題（topic）。

Hohenshell、Hand 和 Staker（2004）的科學寫作教學策略則是安排十年級的學生撰寫科學文章給七年級的學生閱讀，十年級的學生透過這個真實的寫作活動，學習使用讀者的語言、把文章區分成段落、寫主題句、引言介紹、強調重點、下標題等寫作技巧。經由這個寫作過程，學生學得科學知識與內容，同時加強學生學習之自主意識。

Keys 與 Hand 等人（Hand & Keys, 1999; Keys, Hand, Prain, & Collins, 1999; Keys, 2000）發展了啟發式的科學寫作（science writing heuristic）用以輔助學生撰寫實驗報告。有感於學生的科學實驗經常流於食譜式的按表操作，而未能掌握實驗背後的主要科學概念，Keys 與 Hand 等人依據知識建構理論與知識改變的科寫作模式（knowledge-transforming model of writing），設計了一套啟發式的科學寫作教學策略，引導學生從啟動先備知識與經驗、觀察與收集資料、討論、假設、驗證、參考比照其他資料、反思學習經驗等，一步一步透過小組討論與寫作而達成科學概念的建構。

上述的研究有不少強調學生的合作學習，Huerta 和 McMillan（2004）則提

供了教師協同教授科學寫作的模式。這兩位大學教授一人提供生物與科學寫作的教學，另一人提供圖書館資源利用與研究撰寫的協助，代表科學寫作合作教學的模式。依據十年的合作教學經驗，她們指出大學生科學寫作經常遇到的困難，包括尋找寫作主題困難、不易區別一手與二手資料（primary vs. secondary sources）、文法與措辭的困難、不熟悉資料文獻引用格式，以及難以掌握科學言談（scientific discourse）的語氣與風格。這些困難都是未來學者們從事科學寫作教學研究時可以努力的方向。

綜觀上述的科學寫作教學策略，不同的學者運用了示範、直接教學、分組合作學習、寫作的後設認知策略、強化寫作的真實與社會性等特性。合作學習的策略尤其廣為運用，Nesbit 和 Rogers（1997）認為運用合作學習的科學讀寫課程反應真實的科學世界，學生學習像科學家一樣使用讀書的工具來解決問題。然而上述的科學寫作教學策略大多仍是以輔助科學學習為教學目標，較少直接培養學生進行一般或科普文章寫作，可見以科學傳播與推廣為目的的科學寫作教學亟待深入研究。

四、科學寫作的評量

若是說寫作融入科學課程已經讓許多科學老師覺得耗時費力，那麼科學寫作的評量可能更令人卻步。Gallagher（2007）在討論促進理解的科學教學時提到，對多數科學教師而言，寫作的評量是一件他們相當不熟悉的事。他繼而建議建立分項等級評分（scoring rubrics）的評量方式是可行的方式，並且強調不同層面的理解（例如說明、詮釋、應用、不同觀點、自我認識等）應涵蓋在分項等級之內，此外評量不應因小失大，也就是不該為了求細節以至使得寫作變成瑣碎的工作。

Miller 和 Calfee（2004）所發展的科學寫作評量也是使用分項等級的形式，其中包含的評量項目有：長度、連貫一致性（coherence）、文法（grammar/mechanics）、拼字、詞彙、科學內容與概念。Eisen（1996）建議科學寫作的評量百分之六十依據作品內容而定，百分之四十則考量作品的結構、論述清晰程度、引用參考資料與文獻等。這樣的建議呼應 Gallagher（2007）的觀點，也就是科學寫作的評量不可本末倒置，科學的內容應該是評量的重點。Tchudi（1986）也建議科學寫作評量的重點在於內容，而且當學生努力嘗試清楚表達他們想說明的科學內容時，許多的文字與修辭問題自然會消失。

Haug（1996）對科學寫作的評量提出許多相當實際的建議，例如老師不必要幫學生訂正所有的錯誤；善用同儕互評；每一次評量只挑選特定的錯誤修改；確認所教授的學科領域所重視的寫作品質要件與標準，並事先讓學生知曉等。

誠如 Gallagher (2007) 所言，寫作的評量，尤其是科學寫作的評量，是一件科學教師相當不熟悉的事，在這個主題的研究與文獻也較少。在有限的文獻中，學者們異口同聲指出作品的內容，而且是多向度與層次的內容，才是評量的重點，而非寫作行為或語言本身。學者們也強調透過評量，讓學生們了解到科學寫作是一個理解與溝通表達的社會性行為。

肆、結語

本文旨在論述寫作在科學教育所扮演的角色與重要性。經由文獻回顧與理論分析，本文探討寫作在科學教育的重要性有三：寫作輔助科學的學習，寫作促進科學的推廣，以及寫作統整科學教育與語文教學。本文也評析國外有關科學寫作的研究，包括科學文本的特性、科學寫作的歷程、科學寫作的教學策略以及科學寫作的評量。本文強調寫作不應該僅只是個工具，單純用來記錄科學知識或發現、條列或陳述事實；科學課程裡的寫作活動應該是幫助學生建構科學概念、促進科學學習、培養科學思維與習慣的管道。科學課程裡的寫作活動除了幫助學生科學的學習之外，也需教導學生分享、溝通科學的知識與成果，以利科學的傳播與推廣。

國外學者們呼籲未來應該要有更多的研究，探討科學家使用甚麼寫作過程來跟不同的群眾說明他們的研究？科學的本質對科學文本的特性與內容有何影響？科學寫作如何在教室運用與呈現？Gallagher (2007) 認為寫作的評量，尤其是科學寫作的評量，是一件科學教師相當不熟悉的事，在這個主題的研究與文獻也較少，因此我們亟需科學文本評量的研究，以提供國內與國際科學教育研究與教學實務者使用、參考。Nightingale (1988) 認為學生不擅科學寫作原因不是他們缺乏基本寫作技巧，而是他們不諳科學內容的組織與結構之複雜度，就這一點科學教育學者們可研究如何因應。Hand、Prain、Lawrence 和 Yore (1999) 認為我們需要更多的教室教學研究，以了解何種科學寫作教學比較有成效？教學活動順序為何？學生的文化背景、認知能力、知識觀等如何影響他們的科學寫作表現？這些都是國內外科學教育學者們可以努力的研究方向。

綜觀國外有關科學寫作的理論與研究，本文對國內的科學寫作研究與教學提出以下五項建議：

- 一、雖然國外的科學寫作教室教學研究為數眾多，也發展了相當多的科學寫作教學策略，我們仍然需要有自己的教室教學研究，以瞭解在國內在地社會文化與教育課程制度下，老師們如何因應學生特有的文化、學習與語言背景，參考國外的教學策略，以提出適合國內科學寫作教學的作法與建議。

- 二、國外的科學寫作教學從國小到大學都有；反觀國內，目前科學寫作教學的對象侷限在國小學生，探討中學生或大學生科學寫作能力或教學的研究則尚付之闕如。中學生與大學生擁有比小學生更成熟的認知與思考能力，透過寫作來輔助他們的科學學習與概念建構應該是極可行與必要的教學嘗試。
- 三、呼應 Hand、Prain、Lawrence 和 Yore(1999)以及 Yore、Hand 和 Prain(2002)所提到的「跨越邊界」的觀念，科學寫作的實施應該從科學學習再延伸到科學的推廣。科普文章的寫作訓練，科學新聞的閱讀與寫作，科學書刊、兒童讀物或教材的編寫等都屬於寫作用以推廣科學的範疇。這些教學與訓練不僅可以提升學生的科學素養與博雅教育，更可以促成科學的傳播與推廣。
- 四、國外的科學寫作研究常有非科學領域的學者加入，例如有語言學者研究科學文本的修辭與特性，語言教育學者研究科學寫作的歷程，課程與教學學者研究科學寫作的教學策略，以及認知心理學者研究科學寫作的知識建構歷程。國內若能至少整合科學教育與語文教育，進行跨學科的科學寫作研究與教學實驗，則能幫助語文教育學者瞭解學生撰寫科學性說明文的表現與困難，更能幫助科學教育學者瞭解學生科學學習的效果與概念建構歷程，實為雙贏的研究合作。
- 五、當寫作融入科學教育，成為一個真的能輔助學生科學學習的教學策略，那麼科學教師必須熟悉閱讀與寫作在科學學習所扮演的功能，並具有設計與實施科學寫作的專業與教學知能。因此提供給科學教師的職前與在職科學寫作教學訓練就不可或缺。

以上五項建議乃參考國外的研究與文獻，並根據國內科學寫作教學與研究現況所提出，提供給國內科學教育學者與教師參考。

致謝

本文研究經費係由國科會補助（NSC 96-2511-S-142-003-MY3, NSC 96-2511-S-142-004-MY3），謹此敬致謝忱。

參考文獻

- 李意如、劉聖忠 (2006)。國小四年級融入美國 IDEAS 科學讀寫模式之研究。發表於 2006 年中華民國第二十二屆科學教育學術研討會，中華民國九十五年十二月十五-十六日。國立台灣師範大學。
- 陳慧娟 (1998)。科學寫作有效促進概念改變的教學策略。《中等教育》，49(6)，123-131。
- 劉國權、黃萬居 (2000)。科學寫作應用在國小自然科教學之探討。《科學教育研究與發展季刊》，89 年 12 月專刊，4-17。
- 蕭仿玲、盧秀琴 (2006)。科學寫作融入自然與生活科技領域之研究。發表於 2006 年中華民國第二十二屆科學教育學術研討會，中華民國九十五年十二月十五-十六日。國立台灣師範大學。
- 羅廷瑛 (2004)。自然與生活科技領域實施「科學寫作融入學習環教學模式」效果之研究。《慈濟大學教育研究學刊》，1，103-144。
- 羅廷瑛、張景媛 (2004)。科學寫作活動的知識建構對國小學生自然科學習效果之影響。《教育心理學報》，35(4)，337-354。
- Baake, K. (2003). *Metaphor and knowledge: The challenges of writing science*. Albany: State University of New York Press.
- Bazerman, C. (1988). *Shaping written knowledge*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Campbell, B., & Fulton, L. (2003). *Science notebooks: Writing about inquiry*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Daives, F., & Greene, T. (1984). *Reading for learning in the sciences*. Edinburgh, UK: Oliver & Boyd.
- Eisen, A. (1996). "Disease of the week" reports: Catalysts for writing and participation in large classes. An easy, effective introduction to scientific writing and research. *Journal of College Science Teaching*, 25(5), 331-333.
- Fredericks, A. D. (2002). "Wow! What a story!" Two critical elements in science books. *Book Links*, 12(2), p. 22-23.

- Galbraith, D., & Rijlaarsdam, G. (1999). Effective strategies for the teaching and learning of writing. *Learning and Instruction, 9*, 93-108.
- Gallagher, J. (2007). *Teaching science for understanding: A practical guide for middle and high school teachers*. Upper Saddle River, NH: Pearson.
- Halliday, M. A. K. (2004). *The language of science*. London & New York: Continuum.
- Hand, B., & Keys, C. S. (1999). Inquiry investigation: A new approach to laboratory reports. *The Science Teacher, 66*(4), 27-29.
- Hand, B., Prain, V., Lawrence, C., & Yore, L.D. (1999). A writing in science framework designed to enhance science literacy. *International Journal of Science Education, 21*(10), 1021-1035.
- Hand, B., Prain, V., & Vance, K. (1999). Writing to learn. *Science Scope, 23*(2), 21-23.
- Haug, M. (1996). How to incorporate and evaluate writing skills in animal science and dairy science courses. *Journal of Animal Science, 74*(11), 2835-2842.
- Herber, H. L. (1970). *Teaching reading in content areas*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hohenshell, L., Hand, B., & Staker, J. (2004). Promoting conceptual understanding of biotechnology: Writing to younger audience. *The American Biology Teacher, 66*(5), 333-338.
- Hoyt, L., Mooney, M., & Parkes, B. (Eds.). (2003). *Exploring informational texts: From theory to practice*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Huerta, D., & McMillan, V. (2004). Reflections on collaborative teaching of science information literacy and science writing: Plans, processes and pratfalls. *Resource Sharing & Information Networks, 17*(1/2), 19-28.
- International Reading Association and National Council of Teachers of English (1996). *Standards for the English language arts*. Newark, DE.
- Keys, C. W. (1999). Revitalizing instruction in scientific genres: Connecting knowledge production in the writing to learn in science. *Science Education, 83*,

115-130.

Keys, C. W. (2000). Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 676-690.

Keys, C. W., Hand, B., Prain, V., & Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084.

Kinneavy, J. L. (1971). *A theory of discourse*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Kokkala, R., & Gessell, D. A. (2002/2003). Writing science effectively. *Journal of College Science Teaching*, 32(4), 252-257.

Kuo, J.-M. (2003). *Students' conceptual learning through teaching strategy with scientific writing*. Paper presented at the ESERA Conference, August 19-23, 2003, Noordwijkerhout, the Netherlands.

Lemke, J. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.

Miller, R. G., & Calfee, R. C. (2004). Building a better reading-writing assessment: Bridging cognitive theory, instruction, and assessment. *English Leadership Quarterly*, 26(3), 6-11.

Mooney, M. (2003). Keeping the pen sharp. In L. Hoyt, M. Mooney, & B. Parkes (Eds.), *Exploring informational texts: From theory to practice* (pp. 148-152). Portsmouth, NH: Heinemann.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Nesbit, C. R., & Rogers, C. A. (1997). Using cooperative learning to improve reading and writing in science. *Reading & Writing Quarterly*, 13(1), 53-70.

Nightingale, P. (1988). Understanding processes and problems in student writing. *Studies in Higher Education*, 13(3), 263-283.

Osborne, J. (2002). Science without literacy: A ship without a sail? *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 203-218.

- Palincsar, A. S., & Magnusson, S. J. (2001). The interplay of firsthand and text-based investigations to model and support the development of scientific knowledge and reasoning. In S. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty five years of progress* (pp. 151-194). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Parkes, B. (2003). Thinking behind the pen. In L. Hoyt, M. Mooney, & B. Parkes (Eds.), *Exploring informational texts: From theory to practice* (pp. 143-147). Portsmouth, NH: Heinemann.
- Peacock, A. (1995). An agenda for research on text material in primary science for second language learners of English in developing countries. *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, 16(5), 389-401.
- Peacock, A. (2001). The potential impact of the 'Literacy Hour' on the teaching of science from text material. *Journal of Curriculum Studies*, 33(1), 25-42.
- Reardon, J. (2002). Writing: A way into thinking science. In W. Saul (Ed.), *Science workshop: Reading, writing, and thinking like a scientist* (2nd ed.) (pp. 86-100). Portsmouth, NH: Heinemann.
- Rosenblatt, L. M. (1978). *The reader, the text, the poem: The transactional theory of the literary work*. Carbondale, IL: Southern Illinois University Press.
- Rowell, P. A. (1997). Learning in school science: The promises and practices of writing. *Studies in Science Education*, 30, 19-56.
- Schleppegrell, M. J. (2004). *The language of schooling: A functional linguistics perspective*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tchudi, S. (1986). *Teaching writing in the content areas: College level*. Washington, DC: National Educational Association Publication.
- Unsworth, L. (2001). *Teaching multiple literacies across the curriculum: Changing contexts of texts and image in classroom practice*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Wellington, J. J., & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Philadelphia, PA: Open University.
- Witkin, S. L. (2000). Writing social work. *Social Work*, 45(5), 389-394.

Yager, R. E. (1993). Make a difference with STS: Should we toss out the textbooks? *The Science Teacher*, 60(2), 45-48.

Yore, L. D., Hand, B. M., Goldman, S. R., Hildebrand, G. M., Osborne, J. F., Treagust, D. F., & Wallace, D. S. (2004). New directions in language and science education research. *Reading Research Quarterly*, 39(3), 347-352.

Yore, L. D., Hand, B. M., & Prain, V. (2002). Scientists as writers. *Science Education*, 86(5), 672-692.

Yore, L. D., & Treagust, D. F. (2006). Current realities and future possibilities: Language and science literacy—empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 291-314.

An Exploration of Science Writing Theories and Instruction

Yueh-Nu Hung* Chi-Chin Chin**

Research on science reading and writing has been pursued in foreign countries for decades. Writing facilitates science learning and application, and students learn to record, ask questions, think critically, do inquiry, and integrate their learning of science through writing. Writing also helps with science dissemination and promotion. The article, first of all, explores the role and importance of writing in science education from the following three aspects: writing facilitates science learning, writing promotes science, and writing integrates science education and language learning. Then the paper goes on to review and synthesize the related literature and research on the nature of science text, science writing processes, science writing instructional strategies, and science writing evaluation. Finally, theoretical and practical questions about science writing are posed and five suggestions are made for our science education researchers and teachers in Taiwan.

Keywords: science text, science writing, science writing instruction, science reading and writing

* Assistant Professor, Department of English, National Taichung University

** Professor & Dean, College of Science, Department of Science Application and Dissemination, National Taichung University

