

國中一年級學生酸鹼中和概念發展 與科學語言的關係

蔡智文

高雄市立寶來國民中學校長

林玉雯

樹人醫護管理專科學校助理教授

周進洋

國立高雄師範大學科學教育研究所教授

摘要

本研究旨在探討國一學生酸鹼中和概念發展過程中科學語言的使用情形，進而瞭解概念發展與科學語言的關係。研究者使用科學語言與概念發展微小發生分析法分析酸鹼中和實驗室情境八位國一學生半結構晤談語言資料中的科學名詞、語義成分與語法功能，進而發現：概念發展過程中，學生用以描述實驗與認知狀態的科學語言呈現由少至多的科學名詞、由單獨概念至多重概念的概念範疇、由簡單具體至複雜抽象的語義成分、由線性至跳躍語法功能的傾向。此外，科學語言亦具有表徵概念發展脈絡、協助概念發展的特質。

關鍵字：科學語言、概念發展

壹、前言

學生科學學習成效主要取決於科學概念發展，因此瞭解與促進科學概念發展實為科教學者與自然教師所須面對的要務之一。雖然許多教學媒材、教具的進展日新月異，但就目前教學現場而言，語言仍是師生之間最重要的溝通媒介。由於科學的教學是一種經由社會互動、發生於社群之中的符號事件，在其中涉及反覆解釋、舉例與說明（Lemke, 1990），因此無論是經過縝密安排的課程內容、用以解釋科學概念的科學文本，抑或是教學期間師生互動討論與講解的教室言談，其中均蘊含影響科學概念發展的科學語言。綜言之，科教界可對科學語言與概念發展加以探究，進而促進學生科學學習成效。為達此目的，本研究希望藉由分析概念發展過程中學生所呈現的科學語言，進而瞭解科學語言與概念發展的關係。對應的研究問題如下：

- 一、概念發展過程中，學生使用科學語言的情形為何？
- 二、科學語言與概念發展的關係為何？

貳、文獻探討

科學語言是由科學社群觀點所定義，其內容與文法異於日常生活用語（Halliday, 2004），具有呈現科學知識、論述科學事實、解釋科學意義與建構科學概念的功能。研究者針對國內科學語言與概念發展相關研究進行探討，概述如下：

一、科學語言研究分析

目前國內科學語言與概念發展相關研究成果頗為優質，例如：（一）科學主題或概念必需透過科學語言呈現，學生能否有效瞭解科學知識或概念實與科學語言如何描述密切相關（陳世文和楊文金，2006）。（二）科學概念的建構是一種藉由科學話語不斷進行社會磋商的動態過程，被使用的科學語言具有從字面意義解釋至完整陳述的差異（李暉，2000）。但以研究數量而言，國內相關研究卻是稍嫌不足！近 20 年台灣學位論文僅有四篇（一篇博士、三篇碩士論文）是以「科學語言」或「科學話語」為主題，而論文題目涉及「科學語言」與「概念」者僅有一篇碩士論文。放寬條件搜尋論文題目、摘要、關鍵詞與

「科學語言」或「科學話語」相關論文僅有 14 篇，可分為三類：（一）科學文本分析、改寫或寫作（六篇）。（二）科學語言相關教材教法（五篇）。（三）師生對話的科學語言分析（三篇）。相較於前二項「文本語言」的研究，本研究是以學生概念發展過程中所呈現的「口語語言」相關科學語言為研究重點。

二、科學語言與概念研究取向分析

科教社群對於概念與語言的研究可分為「概念瞭解」與「對話瞭解」二種研究取向，前者以 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog（1982）概念改變模式（Conceptual Change Model, CCM）為代表，後者以 Lemke（1990）的「Talking Science」為代表。對於本研究而言，Lemke 的對話瞭解研究取向似乎具有更大優勢。此外，由於科學學習過程等同描述不同思考狀態名詞與術語的詮釋過程，師生在對話所使用的話語具有促進概念發展動態改變效果（Tsai & Chou, 2006），因而本研究從酸鹼中和實驗情境八位國一學生半結構晤談語言資料切入，並依據 Halliday 和 Martin（1993）分析科學文本的創見，針對語言資料所涉及的科學名詞、語義成分與語法功能加以分析，進而探究科學語言與概念發展的關係。

三、酸鹼中和概念研究分析

酸鹼中和為科學重要概念之一，然此概念的發展過程涉及指示劑、酸與鹼、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量守恆、天平...等多種概念範疇發展與交互影響，造成許多國中生學習此概念時感到抽象複雜，亦有因而產生學習退卻的現象（洪振方和蔡智文，2007；蔡智文，2008）。若以此概念為主題進行探究以瞭解科學語言與酸鹼中和概念發展關係，則應能對台灣自然科學教育有所貢獻。此外，有鑒於教育現場中，本研究所聚焦的國一學生大多屬於常態分班模式。若要促進班級學生的酸鹼中和概念發展，首要任務即是確認不同學習風格學生此概念之發展有何不同與共同之處，如此方能將各式學生納入考量並增加研究結果的適用性。

參、研究方法

一、研究設計

研究者使用蔡智文（2008）發展的學習風格問卷選取八位四種常見學習風格組合個案學生進行酸鹼中和實驗，希望藉此增加研究樣本代表性與結果外推性。為避免相互影響，每次僅有一位學生進行實驗操作，研究者同時使用半結構晤談收集學生語言資料。研究者再使用科學語言與概念發展微小發生分析法分析學生酸鹼中和概念發展內容與其語言資料所涉及的科學名詞、語義成分與語法功能。最後，研究者運用前述分析結果進而探討酸鹼中和概念發展過程中，學生使用科學語言的情形與概念發展的關係。

二、研究對象

本研究為方便取樣，以研究者任教的國一學生為抽樣母群。學校位處郊區，學生超前進度補習酸鹼中和概念情形並不常見。若以尚未正式學習此概念的國一學生為研究對象，應能減少酸鹼中和概念相關知識對於概念發展完整程度的干擾，並清楚瞭解學生從無到有的概念發展過程與科學語言的關係。個案學生代號與學習風格組合如表 1 所示：

表 1：個案學生代號與其學習風格組合

代號	學習風格		代號	學習風格	
	認知偏好	互動型態		認知偏好	互動型態
MS1、MS2	影像的	社會的	VS1、VS2	語文的	社會的
MI1、MI2	影像的	個人的	VI1、VI2	語文的	個人的

說明：代號 M 表示該生具有影像的（image）認知偏好、代號 V 表示該生具有語文的（verbal）認知偏好、代號 S 表示該生具有社會的（social）互動型態、代號 I 表示該生具有個人的（individual）互動型態。

三、研究工具

本研究的研究工具包括學習風格問卷、半結構晤談、科學語言與概念發展微小發生分析法，分述如下：

（一）學習風格問卷

學習風格問卷係由蔡智文（2008）發展而得，包含兩大部分，分別為：40 題互動型態測驗題，用以診斷學習風格為個人的（individual）或社會的（social），信度 $\alpha = .88$ 。11 題認知偏好測驗題，用以診斷學習風格為語文的（verbal）或影像的（image），信度 $\alpha = .65$ 。

（二）半結構晤談

研究者分析抽樣學校所用 2010 年出版之康軒版自然與生活科技領域一至六冊課本與酸鹼中和相關的內容與實驗，進而發展 10 題酸鹼中和概念相關半結構晤談題幹（如附錄一所示）。每道題幹均經一位科教專家與二位自然教師檢視、討論與修正。半結構晤談每次約 45 分鐘，先提問第一層次與酸鹼基本性質有關的題幹（題幹 1~2，例如：氫氧化鈉屬於酸還是鹼？...等），進而為第二層次與酸鹼中和實驗操作與反應現象有關題幹（題幹 3~6，例如：鹽酸與氫氧化鈉反應之後發生何種反應？該加入何種指示劑？...等），第三層次則為比較抽象複雜的題幹（題幹 7~10，例如：酸鹼中和反應屬於物理或化學反應？酸鹼中和前後質量是否守恆？...等）。學生可動手操作實驗以輔助回答，假若學生出現概念發展停滯、無法理解情形，研究者方給予提示或想法串聯。研究者不對實驗操作與概念內容評分、不主導實驗進行、不設定實驗目標，避免干擾學生概念發展過程。

（三）科學語言與概念發展微小發生分析法

為瞭解概念發展過程與科學語言關係，研究者擇定並修改具有分析概念發展效能的微小發生分析法（Tsai & Chou, 2006）作為本研究主要的分析工具。首先，研究者修改此法中與本研究關係不大的「表徵代理」部分。其次，研究者加入 Halliday 和 Martin（1993）分析科學文本項目（科學名詞、語義成分、語法功能）、Halliday（2004）對於語言位階的說明（語義功能：關係元、環境成分、過程、質性元、實體成分；語法功能：聯結、次過程、事件、修辭、物件），融合三者成為「科學語言與概念發展微小發生分析法」以分析半結構晤談語言資料（分析範例如表 2）。最後，研究者依據上述學者主張的分析判準進行個案學生半結構晤談資料分析，期望藉此瞭解概念發展過程中概念內容、概念範疇、科學名詞、語法成份、語法功能之間的作用，進而進而瞭解科

學語言與概念發展關係。

表 2：科學語言與概念發展微小發生分析法範例

對象	半結構 晤談內容	概念內容	概念範疇	科學語言		
				科學名詞	語義成份	語法功能
研究者	酸鹼中和實驗時，指示劑要加到酸或鹼？還是都可以？					
VII	我相信指示劑應該加到酸裡面，因為是酸~鹼~中~和。	1.誤解不正確指示劑使用方式。 2.根據「酸鹼中和」名稱，進行指示劑使用方式的推理。	指示劑 酸鹼中和	指示劑 酸鹼中和	過程 實體成份	事件 物件

為提高研究信、效度，此階段由科教專家、科教博士班研究生與 15 年教學經驗自然教師各一人共同進行概念內容識別、概念範疇歸類、科學名詞、語義成份與語法分析。假若三者對於某資料看法不一時，則相互討論以求一致結果。

肆、研究發現與結論

一、概念發展過程中，學生用以描述實驗與認知狀態的科學語言當中的科學名詞呈現由少至多的趨勢。

（一）科學語言出現次數與概念發展正確比例並未呈現正比關係

依照學生酸鹼中和概念發展過程科學概念正確比例，可將其分成：概念高度正確組（VS2）、中高度正確組（MI1、MI2、MS2、VS1）、中度正確組（MS1、VI1）與概念低度正確組（VI2）。雖然概念正確比例從 90.3~11.5% 差距懸殊，但科學名詞使用次數則為 33~15 次，兩者並未呈現正比關係（如表 3 所示）。由此可知科學名詞出現次數並非是決定概念發展正確比例的關鍵因素，此可能與學生「模仿」或「誤用」科學名詞而非真正掌握意義有關。此發現與陳世文（2007）指出「由於表徵科學知識的科學詞彙常常具有許多訊息，

造成學生無法詮釋其內涵定義與外延定義，進而不明瞭科學詞彙的真實意義」現象頗為相似。

表 3：科學名詞出現次數與酸鹼中和概念發展正確比例統計表

正確情形	高度正確		中高度正確			中度正確		低度正確
代號	VS2	MI1	MI2	MS2	VS1	MS1	VI1	VI2
正確比例	90.3	73.3	76.5	70.6	77.1	51.4	51.4	11.5
次數	18	15	21	15	31	33	16	15

說明：代號 M 表示該生具有影像的（image）認知偏好、代號 V 表示該生具有語文的（verbal）認知偏好、代號 S 表示該生具有社會的（social）互動型態、代號 I 表示該生具有個人的（individual）互動型態。

（二）學生使用科學名詞的頻率會隨著概念發展進行而呈現由少至多的趨勢

雖從表 3 可知個案學生使用科學名詞次數與概念發展正確比例並未存在著正比關係，但隨著概念發展進行，個案學生科學名詞使用頻率呈現由少至多的趨勢。以 MS1 為例：

研究者：今天所進行的酸鹼中和反應，你覺得加入什麼酸比較好？

MS1：可以用鹽酸。

研究者：為什麼要用鹽酸？

MS1：因為我在家裡面曾經看到鹽酸可以用來洗廁所。

-----（略）

研究者：酸鹼中和要加入指示劑，這是因為什麼原因？

MS1：那是應該爲了要測量酸與鹼的性質。至於該怎麼加入指示劑，應該是把它滴入酸或鹼中，然後看看它的反應才對。

研究者：請問依你對於酸鹼中和反應的觀察與感覺，你認為酸鹼中和是物理還是化學反應？

MS1：應該是化學反應。感覺上化學反應就是一種比較複雜的變化，而酸鹼中和操作過程讓我覺得有夠複雜的，所以是化學變化。

概念發展之初，MS1 僅能使用鹽酸回答研究者提問，隨著概念發展進行，MS1 能使用酸、鹼、指示劑、酸鹼中和、化學反應五個科學名詞。概念發展後期，由於研究者提到指示劑、酸鹼中和、物理反應、化學反應四個科學名詞，MS1 的語言資料亦呈現類似的科學名詞並藉助研究者所提科學名詞進行推論，此現象呼應 Costa 與 Marzano（1987）指出教師應多使用專門術語、提出批判問題、鼓勵學生在細心思考之後使用創造性詞語表達內在想法的策略。

二、概念發展過程中，學生用使用的科學語言呈現由單獨漸至多重概念、由簡單漸至複雜語義成分、由線性漸至跳躍語法功能的傾向。

個案學生酸鹼中和概念發展具備從單獨具體概念出發，漸至瞭解、操作、辨識與酸鹼中和概念相關概念，最終達到聯結酸鹼中和概念相關概念範疇的趨勢。以 VS2 為例：

研究者：你覺得鹽酸加入水中應該是吸熱還是放熱反應？

VS2：（用手觸摸燒杯）這個燒杯摸起來熱熱的，所以是放熱反應！

研究者：那鹼（加入水中）呢？

VS2：我不知道！不過這個問題只要把鹼加入水中，然後再摸摸看就知道了！

-----（略）

研究者：你將鹽酸滴入氫氧化鈉之中以進行酸鹼中和反應，你覺得應該滴到什麼時候才要停止？

VS2：既然氫氧化鈉有加指示劑，那麼（鹽酸）應該是要一直加到它（燒杯的溶液）變色為止，不然加入指示劑就沒有意義了！

實驗之初，VS2 所言「這個燒杯摸起來熱熱的」屬於溫度的感官知覺描述，其概念內容涉及熱量的狀態描述、概念範疇屬於熱量、語義成分為相對明確穩定的質性元、語法功能為修辭。「所以是放熱反應！」此句顯示 VS2 藉由

溫度的感官知覺進行推論，其概念內容涉及放熱反應、概念範疇屬於熱量、語義成分為相對明確穩定的實體成分、語法功能為物件。但在下半段的晤談資料 VS2 所言「既然氫氧化鈉有加指示劑，那麼（鹽酸）應該是要一直加到它（燒杯的溶液）變色為止」屬於實驗操作的觀察與推論，其概念內容涉及對鹼的描述與酸鹼中和認知推論，概念範疇屬於鹼、指示劑、酸鹼中和，語義成分則為相對隱晦的關係元與過程，語法功能涉及聯結、事件。隨後「不然加入指示劑就沒有意義了！」句中，VS2 清楚指出指示劑在酸鹼中和反應中所扮演的角色，並使用屬於實體成分的語義成分、對應語法功能為物件的科學語言來描述本身的認知，故可知 VS2 此時已能藉由指示劑來推論實驗操作，亦即 VS2 的科學語言已從單純的科學名詞使用進展到聯結與酸鹼中和概念相關概念範疇。

對應於 Halliday（2004）的語言位階而言，上述發現所對應的語義成分則是從形容溫度的質性元與科學名詞的實體成分出發，逐漸遷移至描述酸鹼中和反應進行過程的語義成分，最終達到具有聯結語法功能的關係元，顯示其語義成分發展亦具有從具體明確朝向抽象隱晦的傾向。

若就概念發展語法功能而言，實驗之初 VS2 的語法功能為從修辭遷移至物件，屬於線性且不大的文法位階跨越。隨著概念發展進行，VS2 的科學語言呈現從事件遷移至修辭再遷移至物件的語法功能。綜言之，概念發展過程中學生使用科學語言具有由線性至跳躍語法功能的傾向。

三、科學語言可以表徵概念發展脈絡、協助概念發展，而概念發展亦能協助學生更為熟練的使用科學語言。

概念發展過程中，由於科學語言可以解釋科學事件，因而協助學生表徵自身概念發展脈絡並協助概念發展。以概念中高度正確學生 VS1 為例：

研究者：很好！請問你知道什麼叫做酸鹼中和嗎？

VS1：（立刻回答）我知道！酸鹼中和就是指酸加鹼。

研究者：你認為酸鹼中和後會發生什麼改變？

VS1：因為酸鹼中和了嘛，所謂的中和就是沒有酸或鹼，所以不會有什麼改變的。

----- (略)

VS1：（實驗操作：將氫氧化鈉滴入鹽酸中，當整杯鹽酸變成紅色後立即停止。）

研究者：酸鹼中和後會發生什麼改變？

VS1：酸與鹼會在酸鹼中和之後消失而且顏色變化，屬於化學變化。

實驗之初，VS1 所言「酸鹼中和就是指酸加鹼」、「因為酸鹼中和了嘛，所謂的中和就是沒有酸或鹼，所以不會有什麼改變的。」，其語義成份從第一句的實體成分遷移至過程，變成第二句的實體成分遷移至過程。就科學語言的文法隱喻位階與級列遷移的觀點而言，第一、二句的遷移方向恰巧相反，此種現象並不利學生理解、建構科學概念。對應實驗後期，VS1 所言「酸與鹼會在酸鹼中和之後消失而且顏色變化，屬於化學變化。」，其語義成份從聯結酸與鹼的關係元出發，隨後為指出酸鹼中和反應現象的過程的語義成份，最終的語義成份為指出酸鹼中和屬於化學反應的實體成分，其遷移涉及從抽象的關係元至具體的實體成分。此情形表徵 VS1 已經順利跨越較大的理解位階，亦暗示 VS1 已經進展到更為完整的發展階段。

上述過程中，VS1 並未受到研究者影響或暗示，其概念發展脈絡從酸、鹼、酸鹼中和概念範疇順利跨越到顏色變化的指示劑概念範疇，最後進展到化學變化概念範疇，此種現象呼應林雅慧、張文華和林陳涌（2003）「師生對談中，學生的論點有時會因為論題的跳躍或重新提及進而跨越多個對談片段並衍生許多概念」的看法，亦符合 Ganea, Shutts, Spelke 和 DeLoache（2007）所指出的「縱然是未滿二歲的孩童亦可藉由語言建立未曾見過物體的性質，並能運用語言更新本身對物體的表徵」。

伍、研究啓示與建議

根據研究結論得知：學生概念發展過程中，用以描述實驗與認知狀態的科學語言當中的科學名詞呈現由少至多的趨勢。此結論啓發自然教師應於教學過程中使用不同對話策略、創造師生對談機會、促進學生說明與批判陳述、引導學生熟悉並慣用科學語言，進而創造概念發展條件、提升自然科學的學習成效

。此與 Keith, Carolyn, Pauline 和 Michele (2004) 主張「當自然教師發現某個科學概念難以教導時，可藉由師生之間連續互動與回饋以增強學生對於科學術語或概念的詮釋與賦義」的見解一致無二。對於科學語言與概念發展之間的關係而言，雖然 Christiansen 和 Chater (2008) 曾主張「大腦主動形塑、使用、演化不同性質的語言，而非語言影響大腦的運作」，然而本研究從學生於概念發展過程中瞭解到學生所使用的科學語言呈現單獨漸至多重概念、簡單漸至複雜語義成分、線性漸至跳躍語法功能的傾向，尚難斷言科學語言與概念發展二者之間的因果關係。雖然如此，但對目前國中教學現場而言，打破教室沉悶學習氛圍、鼓勵學生使用科學語言表達看法，應具有促進概念發展的正面效果。

對於未來研究而言，研究者建議除了擴充研究樣本數量的橫斷性研究（量化研究）之外，亦可針對不同科學概念、不同學習風格樣本、不同學習情境、不同對話模式...等進行追蹤觀察的縱貫性研究（質性研究），以瞭解科學語言如何產生？為何產生？是否具有發展機制？...等。最後，由於本研究採用方便取樣與個案學生人數不多，因此取樣代表性與結論外推性均有可加強之處，建議後續研究可以增加個案學生人數，並可針對概念發展過程之中，科學語言的作用機制做更深入的探討。

參考文獻

- 李暉（2000）。科學話語與科學概念之學習：以國中生理化課學習為例。國立彰化師範大學博士論文（未出版）。
- 林雅慧、張文華和林陳涌（2003）。國小低年級學生參與科學對談的類型之研究。科學教育學刊，11（1），51-74。
- 洪振方和蔡智文（2007）。概念發展等同於概念範疇發展：以國中一年級學生酸鹼中和概念發展為例。高雄師大學報，22，39-62。
- 陳世文（2007）。科學文本之級位分體論述與師生對其語意理解之研究。國立台灣師範大學博士論文（未出版）。
- 陳世文和楊文金（2006）。以系統功能語言學探討學生對不同科學文本的閱讀理解。師大學報，51（1，2），107-124。

- 蔡智文（2008）：國中一年級學生概念發展與概念範疇之研究：以酸鹼中和概念為例。國立高雄師範大學博士論文（未出版）。
- Christiansen, M. H. & Chater, N. (2008). Brains, genes, and language evolution: A new synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(5), 537-558.
- Costa, A. L. & Marzano, R. (1987). Teaching the language of thinking. *Educational Leadership*, 45(2), 29-33.
- Ganea, P. A., Shutts, K., Spelke, E., & DeLoache, J. S. (2007). Thinking of things unseen: Infants' use of language to update object representations. *Psychological Science*, 18(8), 734-739.
- Halliday, M. A. K. & Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: University of Pittsburgh Press.
- Halliday, M. A. K. (2004). *The language of science*. New York: Continuum.
- Keith J. T., Carolyn P., Pauline S., & Michele, W. (2004). Cross-age peer tutoring of science in the primary school: Influence on scientific language and thinking. *Educational Psychology*, 24(1), 57-75.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Tsai, C. W. & Chou, C. Y. (2006). *Conceptual change based on the development of conceptual categories: The change in Taiwanese eighth graders' concept of mass*. Paper presented at 5th European Symposium Conceptual Change. European Association for Research on Learning and Instruction. Stockholm, Sweden.