科學教育學刊 Chinese Journal of Science Education
2004, 第十二卷第三期, 265-287 2004, 12(3), 265-287

中小學生之溶解概念的形成與發展

許良榮[1] **劉政華**[2]
國立台中師範學院自然科學教育系

（投稿日期：民國 92 年 11 月 3 日，修訂日期：93 年 1 月 5 日，接受日期：93 年 3 月 4 日）

摘要：本研究之研究目的爲探討學生的「溶解」概念之形成與發展，研究對象包括小六、國二以及高二學生。研究方法包括 POE（Predict-Observe-Explain）（小六至高二各三班學生）以及事例晤談（interview about instance）（小六至高二各十位學生，共 30 位），並交互比對先前研究（許良榮、彭煜堯, 2002）的研究資料。研究結果發現，對於日常生活較不熟悉的甘油，學生傾向以「油」判斷物質是否溶於水，而且年級越高「學校經驗」之影響趨向越明顯。而日常生活較常接觸之太白粉，學生傾向以「生活經驗」進行判斷，「學校經驗」則退居其次。在迷思概念形成方面，學生有過度推論「油、密度與溶解的關係」以及「所有的酸溶於水」的傾向。在概念發展方面，本研究參考 Piaget & Garcia（1989）科學理論之發展機制的模型，歸納學生之溶解概念發展的特徵爲：低年級的學生傾向於以「外觀特徵」判斷物質的溶解性，隨著學校經驗與生活經驗的增長，學生獲得「密度」的概念，並以此做爲推論物質之溶解性的傾向增加，而且在學生獲取「酸」的概念以及高中的「化學式」概念後，仍有並存於學生認知結構中的現象。

關鍵詞：迷思概念、溶解、概念形成、概念發展。

壹、緒論

一、研究背景與動機

「溶解」是日常生活常見的現象，也是科學教學上重要的科學概念之一，在九年一貫課程綱要中就有不少與溶解相關的概念，例如能力指標「2-4-4-3 知道溶液是由溶質與溶劑所組成的，並了解濃度的意義」;「2-2-3-1 認識物質除了外表特徵之外，亦有性質的不同，例如溶解性質、磁性、導電性等」。以及各主題中之細目包括「察覺很多物質能溶於水及空氣具助燃性（次主題 110）」;「察覺物質各具性質（例如不同物質雖然大小相同，輕重卻不同，如導熱性不同,如有的易溶於水有的不易，如有的硬脆有的可延展）（次主題 131）」;「察覺不同物質在水中的溶解程度也不同

（次主題 224）」。但是由文獻研究顯示學生對於溶解有不少的迷思概念，例如 Driver（1985）研究發現 15 歲青少年會將「溶解（dissolving）」與「熔解（melt）」當爲同義字，而且將“糖”這個詞當爲巨觀的性質，亦即當“糖”於水中溶解後，就不再是“糖”。簡美容（2001）對臺北縣、市地區國小四、六年級的研究也發現大多數的學童認爲可溶解的東西，仍多僅止於固體物質，該研究也發現學童常會用到比較溶質與溶劑何者爲輕、何者爲重之觀點來描述溶解過程。Longden, Black & Solomon（1991）的研究發現 11-12 歲年齡層僅有百分之 20 以及 13-14 歲年齡層有百分之 30 的學生同時用巨觀（macro）、微觀（micro）觀點來理解溶解，而也有少數學生傾向以日常生活經驗之觀點（巨觀）而不是粒子之觀點（微觀）來理解溶解。許良榮、彭煜堯（2002）發展雙層（two-tier）試題研究小四、小六、國二與高二學生對於「物質是否與水互溶」之分類的迷思概念，結果發現學生對於溶解有不少迷思概念，而且分類依據具有多樣性與變動性，學生可能同時持有以密度大小、是否爲油性或其他理由做爲分類判斷的依據，而沒有特定的判準。

近數十年來，科教學者投入不少的心力探索學生各種的迷思概念，但是相對而言，對於迷思概念之形成或概念之發展則較少觸及。由文獻研究顯示學生的迷思概念之形成原因相當繁雜，其來源大致包括了教科書內容不恰當、日常生活的直接經驗、兒童自發性的素樸觀念與日常用語或隱喻的誤解等等（Head, 1986; Sutton and West, 1982; Andersson, 1990）。郭重吉（1988）指出學生在學校教學之前，對一些常見自然現象的形成原因，即有他們自己一套的想法，而且學生原有的想法可能成爲學習的阻礙，因爲學生學習時是以先入爲主的觀點解釋所見所聞。準此而言，我們如果欲圖改變學生的迷思概念，除了深入了解迷思概念的類型之外，迷思概念之形成以及概念之發展，是一個值得我們重視的研究方向之一。

二、研究目的與問題

本研究目的在探討不同年級學生「溶解」之迷思概念以及概念之形成與發展，以期研究結果可供教材設計、課程發展以及科學教學之參考。研究問題包括：

(一)小六、國二與高二學生對於「溶解」有何迷思概念？

(二)小六、國二與高二學生「溶解」的迷思概念之形成有何特徵？

(三)中小學生的「溶解」之概念發展爲何？

貳、文獻探討

一、「溶解」迷思概念之相關研究

由文獻研究顯示學生在「溶解」之化學性質有不少的迷思概念。例如 Driver & Russell（1982）研究 8～14 歲兒童，近三分之二的兒童，認爲溶液的重量會少於糖加水的重量。Andersson（1984）以相同的問題研究 15 歲青少年的概念，結果超過半數有相同的迷思概念，他們所根據的理由有：(1)糖溶解後消失了；(2)混淆了體積和質量的觀念；(3)糖仍然存在，但是變輕了。Erickson（1980）的研究指出 12 歲的兒童傾向於認爲熱是一種實質的流體，而且認爲大冰塊溶得慢，是因爲大冰塊的溫度比小冰塊低。盛承堯（1992）的研究指出學童所學的與他們的學習經驗有

關，也與他們五官所覺察到的有關係。Nakhleh & Samarapungavan (1999) 對 7-10 歲學童關於物質的信念之研究中，曾將兒童的「解釋框架」(explanatory frameworks) 分爲：巨觀連續 (macrocontinuous)、巨觀粒子 (macroparticulate)、微觀粒子 (microparticulate) 三類。在研究的對象中，持「巨觀連續」解釋框架之學生，均視溶解爲巨觀現象；持「巨觀粒子」解釋框架之學生，則能以粒子觀點來說明溶解，但也有以巨觀的觀點來說明溶解；持「微觀粒子」解釋框架之學生，在說明物質相變化時，均能以微觀的觀點來說明，但在解釋溶解時，則仍有學生持巨觀觀點。

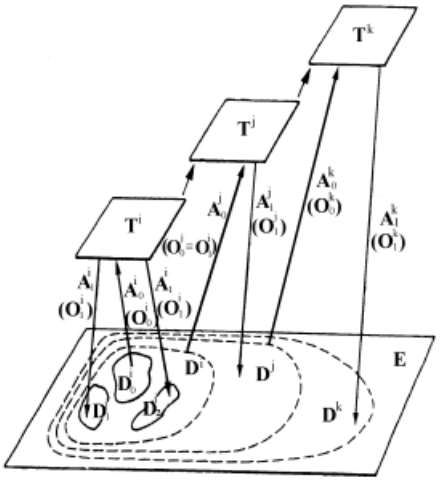
即使學生能夠使用粒子觀點來理解溶液，他們所熟悉的語言和教師所用的化學語言有所落差。在日常用語裡粒子 (particle) 是小但可視的固體物質，但在化學裡它是廣泛使用於原子、分子、離子等微觀範圍 (Garnett, Garnett & Hackling, 1995)。例如對一些學生而言，糖的粒子 (particles) 是表示糖的顆粒 (granules)，而對教師言，糖的粒子 (particles) 則代表是糖的分子 (molecules) (Ebenezer & Gaskell, 1995)。雖然原子和分子模型是化學概念的核心，但學生並不傾向於以這些模型來解釋化學現象，其接受程度上，也是隨著年齡而有所不同 (Abraham, Williamson & Westbrook, 1994)，Brosnan & Reynolds (2001) 一項對 11-17 歲學生的研究也發現在對冰熔 (融) 化 (melting)、糖溶解於水 (dissolving) 等物質變化做解釋時，學生在物質、分子、原子的接受程度上，是隨著年齡而有所不同。

在 Ebenezer & Erickson (1996) 的研究中，一位 11 年級學生認爲糖的溶解是糖與水的化學組合而產生了與原成份不同的、嚐起來也不同的「糖—水」(sugar-water)。而對物質性質變化的理解，學生常認爲溶解產生了新物質 (Nieswandt, 2001)。但是相反的，也有一項對 11-14 歲兒童的研究發現：兒童比較傾向視化學變化後的產物爲原物質的混合 (Johnson, 2000)。而 Andersson (1990) 從檢視科學教科書 (7-9 年級學生用) 的角度指出：當化學教師說水是由氫跟氧組成時，意思是水分子是由兩個氫原子和一個氧原子組成，但就學生言，可能把這說法想成水是氫與氧的混合物。Boo & Watson (2001) 之研究則提出學生不大能區分鈉 (sodium) 和氯 (chlorine) 的混合與化合。而由 Ebenezer & Fraser (2001) 的研究說明，可以發覺即使是到了主修化學工程第一年的學生，要區分溶解是一般化學反應還是化學現象，並不是件容易的事。另外，黃寶鈿 (1989) 之研究則說明，學生的先備概念與日常生活中的經驗有關，這些先備概念會影響學生對於濃度概念的學習。同時對於過飽和的現象，僅有少數學生能夠瞭解，而大多數學生對飽和的概念不甚清楚，甚而錯誤，學生會有固體溶解後固體本身一定變成液體，例如糖溶解後「糖」變成「糖水」的思考方式。而就溶液的類型來說，在 Prieto, Blanco, & Rodriguez (1989) 之研究發現學生除了對溶液的例子常只想到固體溶解於液體中，而且即使研究者使用更多科學性單元來教學，學生還是常用他們所熟悉的術語而不是科學性的術語，來描述溶解過程。

由上述文獻探討顯示學生對於溶解存有不少的迷思概念，值得我們注意與深入探究其迷思概念之形成。

二、概念形成與概念發展

概念之形成與發展牽涉到知識之發生文



E：經驗世界

D：經驗領域 (Domain)

T：理論

A_0^i：與理論 i 相關的經驗之抽象化

A_1^i：與理論 i 相關的反思之抽象化

O_0^i：與理論 T^i 相關的觀察

$O_1^i \equiv O_0^j$：與理論 T^i 相關之建構，但與理論 T^j 相關的觀察

圖 1：科學理論發展機制（Piaget & Garcia, 1989; p.207）

獻中針對概念形成與發展的研究並不多，而比較被廣爲注目與討論的是皮亞傑（J. Piaget, 1896～1980）的認知發展理論。Kitchener（1986）在討論 Piaget 對於知識的理論時，引用多項資料說明 Piaget 專注於知識的發生（Genetic Epistemology），而非只是兒童心理學家，甚至 Piaget 在接受訪問時曾表達：「我不是心理學家，我是知識論學家」（Kitchener, 1986; p.2）。Piaget 除了由臨床晤談探討兒童知識發生，也企圖從科學史探索科學家的理論發展與兒童知識發展的關聯性。Piaget & Garcia（1989）在《心理發生與科學史（*Psychogenesis and the history of science*）》一書以幾何、代數、力學爲例，闡述科學史上的理論發展與學生的知識發生的關係之模型如圖 1 所示。Piaget & Garcia 認爲科學理論的發展是我們從不同的經驗領域中抽取（abstraction）成爲一個暫時性理論，抽取的過程是透過觀察（observable），而這個暫時性理論可以再與其他經驗領域結合，反思（refecting）到其他更大的經驗領域中，經過這樣的同化、調整，再往上形成解釋範圍更大、層次更高的理論，進而擴張到更大的經驗世界中。Piaget & Garcia 認爲認識主體的工具（instrument）包含了抽象化（abstraction）以及通則化（generalization），包括「經驗的抽象化（empirical abstraction）」，爲主體對客體經驗特徵的抽取過程；「外延的通則化（extensional generalization）」，將獲得之知識應用至更廣的經驗，爲一種演繹的過程；「反思的抽象化（reflective abstraction）」，主體經過對客體的操作之結果，此包含了由下階（inferior）到高階（superior）的反思，以及對於經驗抽象化的再組織的「心智的反思（mental reflection）」。Piaget & Garcia 指出此種理性重建是建基於科學事實更甚於建基於發展心理學，從認識機制而言，由較低的階層過渡到較高的階層，在科學史以及個人的發展是相似的。

Kitchener（1986）在評論 Piaget 的發生認識論時指出，由科學史可以看出科學理論的發展是一個有順序的認識階段（epistemic stage），科學理論的發展相互之間有關係，

前一個科學理論在結構上與後續的科學理論是有關連性的，而且是一種順序性（subsequent）的發展，但是前後科學理論有質的變化（qualitatively change），而理論的發展是反思抽象化的過程，Kitchener 指出 Piaget 的觀點並非代表科學理論爲線性的發展，因爲理論的發展不單純是量的差別。由這個觀點而言，Piaget 對於科學理論的觀點是一種連續性的認識階段，也就是理論間具有可共量性，差別就在於先前的理論比較缺乏「平衡性」。

雖然 Paget & Garcia（1989）認爲學生的知識發展與科學史的理論發展有類似機制，但是也有學者持反對的意見。Levien（2000）在論述兒童與科學家之類比時即指出，Kuhn（1977）企圖以 Piaget 的兒童知識發生說明「範例」在科學家學習到「典範」的功能，而 Piage 以科學史的例子企圖說明兒童的知識發生，這些類比都是屬於爲了「驗證（justify）」而做類比，不是「發現（discovery）」後的類比，不僅不能彼此支持，也冒著造成惡性循環的危險，因此 Levine 提醒，除了使用 Kuhn 的「不可共量（incommensurability）」、「典範（paradigm）」的語詞指稱兒童之概念改變的問題以外，對於歷史的（科學史）與心理學的（兒童的）之平行關係的假定也應該要非常小心謹愼。

三、學生的科學概念之研究方法

文獻中學者用以探討學生之迷思概念或另有概念的方法相當多樣性，包括概念構圖（如 Okebukola, 1992; Edmondson, 1995; Novak, 1996）；晤談（如 Osborne & Freyberg, 1985; Nakhleh & Samarapungavan, 1999）；預測－觀察－解釋（Prediction-Observation-Explanation; POE）（如 Liew & Treagust, 1995; White & Gunstone, 1992）；二階段試題（如 Treagust, 1988; Tan, Goh, Chia & Treagust, 2002）等等。Driver & Erickson（1983）在評述有關探查學生認知結構的研究方法時指出，現有的方法可以劃分爲語文表達、實際操作以及兩者混合使用等三大類。他們認爲用語文表達的方式可以偵測出學生對於概念的理解以及兩個以上的概念彼此之間的關係等，但卻難以推知學生在解決問題時到底是否能夠運用這些知識。反之，觀察學生在某特定情境下的行爲反應，也難以推測學生眞正使用的法則或理論。因此，他們認爲利用臨床晤談以結合語文表達和實際操作雙方面的技術，應該是探討學生認知結構的一個很有用的方法。因此本研究結合實際操作的 POE 以及讓學生語文表達的事例晤談爲探究學生之概念形成與發展的研究方法。

(一)POE

POE 基本的程序是先設計某一情境讓學生預測將會有何結果或現象發生，在學生寫下自己的預測以及理由之後，再實際操作讓學生觀察有何現象發生？觀察之後寫下觀察結果，如果與自己的預測不一樣，請學生說明（explanation）原因或理由。此歷程具有認知衝突（cognitive conflict）的特色，即設計的情境是學生常具有的迷思概念，發生的現象與學生的預測不一樣，進而探索學生如何解釋自己的觀點與現象之間的差異。White & Gunstone（1992）舉出數個在力學概念、熱學概念以及 Piaget 的體積保留概念都屬於 POE 型式的研究工具，能夠有效而深入探索學生的迷思概念。例如 Palmer（1995）研究以 POE 技術釐清小學生的科學知識以及探究對於科學概念的理解，研究結果顯示，學生熱衷於（enthusiastically）此種技術，POE 是一種

適合於使教師了解學生概念的技術。Liew & Treagust（1995）綜合採用 POE、個別晤談以及班級討論，以診斷 11 年級學生包括水的膨脹、鹽的溶解度以及燈泡的功率與電阻等概念，該研究顯示 POE 除了能有效掌握學生的概念理解，也適合做爲教學活動之設計。

除了診斷學生的迷思概念，POE 也是設計概念改變教學策略值得參考的策略，Searle & Gunstone（1990）在爲期十二週的教學研究，探討以 POE 爲教學策略對於學生在力學的概念改變。研究結果顯示，雖然要達成長期性（long-lasting）的概念改變是困難的，不過 POE 的教學策略達成了某些成效。而李家銘（民 90）探討 6 位國三個案學生在 POE 教學活動中的電學概念發展情形，由研究結果發現個案學生經過 POE 教學後，在十二個認知概念和七個技能概念中，有明顯的進步。顯示 POE 是一具有潛在價值的教學策略之一。

(二)事例晤談

在科學教育之研究文獻中，有不少學者採用事例晤談（interview about instance）做爲研究兒童的迷思概念之工具，例如 Piaget 的臨床晤談就具有事例晤談的特色（如三座山的自我中心、重量保留概念、花的分類概念等等）。其他如 Erickson（1979）、Osborne & Gilbert（1980）、Osborne & Freyberg（1985）、Stead & Osborne（1980）等，也發表了不少以事例晤談探索學生迷思概念的研究。White & Gunstone（1992）指出晤談是探討學生對概念、原理（principle）、情境（situation）之理解品質（quality）相當有力的工具，可以深入探索學生對於某一概念的理解，而此種理解不僅包括學生在特定情境的概念，也包括學生是否能夠合理解釋其理由。

叁、研究方法與設計

一、研究方法與工具

本研究以質性研究方法爲導向，研究工具包括 POE 以及事例晤談。

(一)POE

先前研究（許良榮、彭煜堯, 2002）已發現有不少學生對於物質是否溶於水的判斷，傾向以密度、油性做爲分類的依據，因此本研究選取可溶於水的「甘油」以及日常生活常見的「太白粉」做爲 POE 的物質。

(二)事例晤談

本研究依據文獻探究爲基礎，自行設計事例晤談之研究工具。本研究的事例晤談設計是在紙卡上畫著一瓶標籤被撕掉部分的化學藥瓶（具顏色液體，如圖 2），但是可看到藥品名稱最後一個字是“xx 油”、“xx 酸”或“xx 汁”（共計三張圖卡）。如表 1 所示，標籤提供的其他訊息包括：化學式（如-OOH）、密度、酸鹼性與沸點等數據。本工具的設計理念爲提供學生不充足的訊息，藉以引發學生主動性的思考，進行判斷。晤談過程最重要的資訊

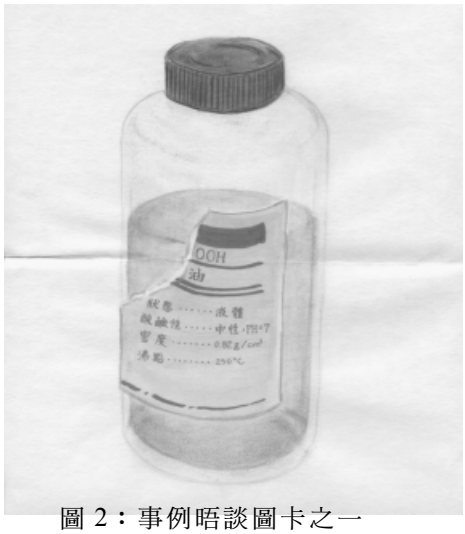


圖 2：事例晤談圖卡之一

表 1：事例晤談圖卡之物質特徵

標示特徵	圖 1	圖 2	圖 3
分子式	××OOH	××SO_4	××（H_2O）$_2$
品　名	××油	××酸	××汁
狀　態	液態	液態	液態
酸鹼性	中性、pH = 7	鹼性、pH = 8	酸性、pH = 4
密　度	0.82 g/cm^3	0.53 g/cm^3	0.72 g/cm^3
沸　點	25 ℃	180 ℃	80 ℃
顏　色	淡紅色	淡黃色	淡棕色

是學生進行判斷之依據的來源爲何？以及不同分類判準之概念競爭（conceptual competition）的情形爲何？以做爲概念形成之推論基礎。

二、研究樣本

質性的研究方法中，並沒有關於樣本規模的明確規定，Patton（2002）曾指出，研究樣本的大小應權衡研究的深度及廣度。本研究考慮以獲致深度之資料爲目標，以方便取樣（convenience sampling）抽取台中市的中小學生，由於研究資料以質性詮釋爲主，對於研究結果之通則化方面應採取保留態度。POE 研究樣本爲小六、國二與高二各三班(合計小六 98 人，國二 105 人，高二 115 人)，抽取的班級皆爲市區之公立學校，並在施測前確定各校爲常態分班，而高中學校約屬於第二、三志願之學校。事例晤談的研究樣本包括小六、國二與高二各 10 位學生，共 30 位學生，與 POE 樣本爲相同學校來源，但是事例晤談樣本沒有經過 POE 施測。

三、實施程序

(一)POE

實施 POE 時，首先向學生說明本項施測不是考試，主要是了解同學們對於溶解現象的想法，回答的結果並沒有一定的對錯之分。在觀察與作答過程，提醒學生不可以跟同學討論，只須寫下自己的看法。發下作業單之後，每組（約 5 位）再發給內裝有甘油的夾鏈袋，並告知夾鏈袋內裝的是「甘油」，讓學生觀察（包括摸一摸、聞一聞、搖一搖等等），但是請學生不要彼此討論，然後請學生預測袋子內的物質可不可以溶於水，連同預測的理由填寫在作業單上。

待所有學生都寫完預測與理由後，將甘油倒入透明的水族箱充分攪拌，讓學生分組依序到講桌前，逐一觀察水族箱內物質，並允許學生拿竹筷子攪一攪，摸一摸等方式觀察，請學生於觀察後將觀察結果寫於作業單上，並提醒學生如果觀察結果和自己預測的不一樣，想一想並寫出可能的原因或理由是什麼。

太白粉之實施過程與上述過程相同，花費時間總計爲一節課（五十分鐘）。

(二)事例晤談

晤談過程首先將三張圖卡同時呈現給受訪者，主要晤談問題爲：（1）你覺得在這三張圖卡所繪製的物品中，有哪些可以溶在水中？有哪些不可以溶在水中？（2）爲什麼你覺得這個物品它可以（或不可以）溶在水中？你是如何判斷或知道的？（3）

你這樣的想法是從哪裡獲得（得來）的？（4）你第一個會想到的是哪一種方法或依據？爲什麼？主要理由爲何？有沒有第二種、第三種，甚至第四種方法或依據？

在晤談過程面臨的挑戰之一是，晤談對象與研究者在晤談之前均未曾謀面，研究者如何在最短的時間內取得學生的信任，願意將內心的想法表達出來。爲了達到此一目的，研究者除了在正式晤談之前進行非正式訪談之外，並且於每一次晤談結束，隨即將當天的晤談錄音資料重複聆聽，藉以發現研究者本身在晤談技巧上是否有所缺失，以及研究問題是否在晤談的過程中被掌握。經由練習，促使研究者對於晤談程序更加熟稔，並且針對晤談過程中所產生的問題提出改進，藉以修正晤談大綱，並加深研究的信度及效度。晤談的原則包括：晤談之前先說明晤談目的，盡量以輕鬆的態度來面對學生，以降低學生的緊張情緒，並徵求受訪者的同意後才錄音。

四、資料處理與分析

(一)POE 活動單

在 POE 活動結束將作業單回收後，首先逐張檢視活動單，剔除全部空白或部分空白的無效卷，將有效作業單依照班級、年級整理歸類。再進行編碼；將資料依照學生的年級、班級和座號進行編碼，並逐一登錄電腦。最後進行歸類分析；依照活動單的活動步驟，逐步分析學生回答的內容，並將學生的想法加以歸納分類、統計次數，將結果製成人次比及百分比的書面資料，以進行分析。此外，在分析的過程中，研究者將具有代表性概念型態、答題內容前後不一致、語意不清楚或是特別概念類型的部分做註記，以作爲事例晤談的參考。

(二)事例晤談資料

事例晤談的資料分析主要分成下列三個部分：1.轉錄：爲了完整呈現晤談過程，將晤談時的情形以錄音、錄影的方式記錄晤談的過程，再將晤談的內容逐一轉錄成文字稿。2.編碼：將每位晤談樣本的晤談資料進行編碼，每份晤談資料編成 6 碼，第一、二碼爲年級，第三、四碼爲學生流水號，第五、六碼爲回答的句子編號。例如 080411 代表國二（8 年級）第四位學生第 11 句。3.歸類：將晤談資料依照學生對溶解的不同概念及原因進行歸類整理後，將晤談結果加以分析及詮釋。

五、信度與效度

由於質性研究沒有特定的方法或客觀數據，用以提供效度與信度之判斷，主要是以反覆精煉以及多重資料比對方式，提高研究之效度與信度。本研究對於研究資料之蒐集、整理與分析，在方法學的設計上，首先著重於資料來源之多重性，包括先前研究、POE 與事例晤談三種來源，以做爲資料與結果推論之交互比對的參照。其次爲研究過程的反覆精煉；在研究策略初步設計後，研究者先進行嘗試性的探索，例如在 POE 方面先自行試驗操作過程，以確定呈現的現象之可觀察性。在事例晤談方面先進行非正式的訪談（共三位受訪者），再經由研究小組（成員包括本文二位作者以及二位國小教師共 4 位）共同檢視訪談過程中發問者與受訪者的互動是否恰當？發問的問題是否可以抽取出學生的特定概念？由於能否挖掘到具有效度之「學生的眞實概念」，是本研究達成預期目標的關鍵問題，而且學生有些概念可能已經成爲隱含的知識（implicit knowledge），而無

法明確地表達或明白的描述。因此在進行晤談時，研究者發問的問題不只是受訪者如何想？（what 的問題），也發問爲什麼如此認爲？（how & why 的問題），並追隨（follow up）學生的回答或意見繼續發問，尤其是有前後矛盾或有待釐清的問題，以期能由回饋的結果抽取出更豐富的資訊，確定學生的概念之眞實性與代表性。

肆、研究結果與討論

一、是否與水互溶之 POE 分析

由表 2 顯示，預測甘油不溶於水的學生比率相當高，而且隨年級增加，小六至高二分別爲 65.6 %、75.5 %、78.9 %。值得注意的是，預測甘油不溶於水的學生經過觀察後，小六至高二分別有 15.6 %、26.5 %、34.8 %仍然認爲甘油不可溶於水。此結果如同 White & Gunstone（1992）所言，在 POE 的預測與觀察不符合時，學生仍會傾向忽略觀察結果而堅持自己的預測之現象。而預測太白粉可溶於水，觀察後仍然認爲太白粉溶於水的，小六至高二分別有 69.2 %、71.3 %、31.0 %。值得注意的是，堅持甘油不溶於水的比率有隨年級升高的傾向，而堅持太白粉溶於水的比率是隨年級降低。這種差異由表 3 及表 4 的學生之預測理由分析可以略窺一二；認爲甘油不溶與水的學生，主要的理由是甘油爲「油性」的，小六至高二分別爲 40.0 %、44.9 %、49.6 %；而由於是「學校經驗（包括課本寫的、老師教的）」也是隨年級增加，小六至高二分別爲 6.7 %、14.3 %、31.0 %。而認爲太白粉溶於水的學生中，主要以「生活經驗」爲最多，但是不同年級的差異不大，小六至高二分別爲 34.1 %、27.7 %、37.2 %；而由於「學校經驗」的，小六至高二分別爲 12.1 %、10.9 %、3.5 %。由以上的分析顯示日常生活較不熟悉的（如甘油），學生傾向以「油」判斷物質是否溶於水，而且年級越高，「學校經驗」之影響趨向越明顯。而日常生活較常接觸之太白粉，學生傾向以「生活經驗」進行判斷，「學校經驗」則退居其次。

由表 2 顯示，預測甘油不溶於水的學生經過觀察後仍然認爲甘油不可溶於水的有隨著年級增加的現象，顯示年級越高，忽略觀察現象而呈現「理論負載」的學生越多。而造成學生對於觀察結果之錯誤判斷的可能原因之一是缺乏「充分的攪拌再靜置」的實驗操作知識，也可說缺乏「程序性知識（procedural knowledge）」，在甘油與水的混合過程中，觀察到液體的分層與流動，沒有等待靜置，過早下結論爲不互溶現象。例如以下的觀察紀錄：

1128：甘油加入水中攪拌，雖然甘油本身為透明狀，但部分（留）於水底，因攪拌時透過光的折射可見其流動。

1130：雖然他沒有明顯的與水有交界面，但當攪拌時，仍能看見不是水的東西。

0812：一開始看起來很像溶於水，但甘油沉澱於水底面，但一去摸它，卻又浮起來了。

0872：一開始它看起來非常的清澈，但油就是油，並且實驗過後，它卻沉澱在水裡面，而且油裡面有油的成份，所以不溶於水。

相對於國二與高二學生，低年級有較多比率的學生會依據觀察結果認爲甘油可溶於水。觀察後認爲甘油溶於水的學生，小六至高二分別爲 83.3 %、65.3 %、57.4 %。這個現象反應了先備概念（preconception）的影響，能由觀察做出正確判斷的隨年級而降低，此現象相當值得關切。小六學生的觀察記錄例如：

0623：水還是透明無色的，也沒發現有東西

表 2：是否與水互溶之 POE 施測結果分析表

	預測	可溶			不可溶		
	觀察	可 溶	不可溶	合 計	可 溶	不可溶	合 計
甘油	小六（N＝90）	30（33.3％）	0	33.3％	45（50.0％）	14（15.6％）	65.6％
	國二（N＝98）	16（16.3％）	5（5.1％）	21.4％	48（49.0％）	26（26.5％）	75.5％
	高二（N＝113）	15（13.3％）	4（3.4％）	16.7％	52（44.1％）	41（34.8％）	78.9％
	合計（N＝301）	61（20.3％）	9（3.0％）	12.3％	145（48.2％）	81（26.9％）	75.1％
太白粉	小六（N＝91）	63（69.2％）	8（8.8％）	78.0％	6（6.6％）	10（11.0％）	17.6％
	國二（N＝101）	72（71.3％）	8（7.9％）	79.2％	9（8.9％）	7（6.9％）	15.8％
	高二（N＝113）	35（31.0％）	21（18.6％）	49.6％	11（9.7％）	45（39.8％）	49.5％
	合計（N＝305）	170（55.7％）	37（12.1％）	67.8％	26（8.5％）	62（20.3％）	28.8％

註：1. 細格內數字爲人數（百分比）；2. 填寫「其他」者未列入。

表 3：POE：學生預測「甘油」是否可溶於水之理由分析表

年級	小六（N＝90）		國二（N＝98）		高二（N＝113）	
理由	可 溶	不可溶	可 溶	不可溶	可 溶	不可溶
名稱（油性）	1（1.1％）	36（40.0％）	6（6.1％）	44（44.9％）	2（1.8％）	56（49.6％）
會浮在水面	0	18（20.0％）	0	8（8.2％）	0	3（2.7％）
外觀特徵	19（21.1％）	3（3.3％）	5（6.1％）	1（1.0％）	1（0.9％）	0
生活經驗	7（7.8％）	8（8.9％）	4（4.1％）	23（23.5％）	4（3.5％）	22（19.5％）
學校經驗	4（4.4％）	6（6.7％）	0	14（14.3％）	7（6.2％）	35（31.0％）
其他	1（1.1％）	6（6.7％）	8（8.2％）	20（20.4％）	7（6.2％）	33（29.2％）

表 4：POE：學生預測「太白粉」是否可溶於水之理由分析表

年級	小六（N＝91）		國二（N＝101）		高二（N＝113）	
理由	可 溶	不可溶	可 溶	不可溶	可 溶	不可溶
外觀特徵	27（29.7％）	1（1.1％）	18（17.8％）	2（2.0％）	9（8.0％）	3（2.7％）
直覺	8（8.8％）	0	2（2.0％）	1（1.0％）	4（3.5％）	8（7.1％）
生活經驗	31（34.1％）	6（6.6％）	28（27.7％）	8（7.9％）	42（37.2％）	26（23.0％）
學校經驗	11（12.1％）	4（4.4％）	11（10.9％）	1（1.0％）	4（3.5％）	7（6.2％）
其他	3（3.3％）	5（5.5％）	4（4.0％）	6（5.9％）	9（8.0％）	15（13.3％）

在裡面，所以甘油可以溶解。

0661：水裡面沒有看到油，和原來的水一樣，很像沒有放甘油。

高二雖然有四成多學生無法由觀察正確的判斷甘油可以溶於水，但是也有部分學生能由觀察結果修正甘油不溶於水的預測。

1131：認知中油不可溶於水，而其密度不

同又會有明顯界線，但甘油和水卻完全無界線如同一體。

1150：一開始就認定甘油的特性和其他油脂分子一樣，但發現不盡然。很明顯地，甘油溶進水中後喪失了原有的物理特性。因此，甘油的分子具有親水性。

二、事例晤談分析：迷思概念之形成

(一)不同年級學生之溶解概念特徵

高二學生對於物質是否與水互溶的分類判斷，似乎存有不同的「典範」－不同的思考模式具有不同的優先順序，亦即不同學生傾向以某一特定標準判斷各種不同物質是否溶於水，其中包括了「化學式」以及「名稱」。例如編號 1101、1102 以及 1106 的學生，對於三種不同物質是否溶於水，主要是以「化學式」爲判斷依據。而受訪者 1107、1108 以及 1109 主要是以物質的「名稱」爲判斷依據。編號 1103、1110 則混合「名稱」以及「化學式」爲判斷依據。有二位學生 1104 以及 1105 並未呈現穩定的分類判斷依據，雖然二位學生對於不同物質採用不同的判斷依據，但是也都包括「名稱」與「化學式」。值得注意的是，雖然學生傾向以某種特定的思考模式進行判斷，但是並未能以符合科學說明的方式解釋自己的理由，如同 Taber（2001）指出，學生對於現象的說明經常只具有形式（form）而缺乏說明能力的「僞說明（pseudo-explanation）」。例如受訪者 1101 認爲「xx 酸」可以溶於水，是由於化學式有 SO_4 的關係。

1101：還是（看）化學式。

研究者：化學式，好，那你可不可以再多說一點？

1101：是…硫酸…然後，酸性應該比較，就是硫酸蠻容易溶於水的。

研究者：為什麼你會這樣認為？

1101：就是……就感覺它溶於水。

研究者：哦～就感覺是不是？好，你為什麼會覺得它是硫酸？

1101：它後面的離子是 SO_4 啊。

此外，無論以名稱或化學式判斷物質是否溶於水，受訪學生主要的知識來源幾乎都回答是來自於學校教學或教材，顯示高二學生受到學校教學之影響相當值得注意。國二雖然也有不少學生以「名稱」判斷，但是與高二學生有某些程度的差異；其一是受訪的國二學生都沒有以化學式做爲判斷依據，而以密度判斷的學生明顯增多，其二爲以沸點判斷的學生比高二學生爲多。而其想法來源大多綜合了學校經驗、生活經驗或是直覺猜測。

研究者：…為什麼嗯…這個密度比較大就比較容易成團，這個想法，你這個想法是…我比較好奇就是說：你是從哪邊得來的？……你的根據是……？

0805：上理化課吧！

……（略）

0805：因為之前有上密度那些的，就是質量什麼的，這樣子！

研究者：質量什麼怎麼樣？

0805：就是質量的重啊輕啊，密度的大小、溶解啊，還有溫度啊那些的。

值得注意的是，部分國二學生以沸點做爲判斷物質是否溶於水的依據，而其理由是沸騰的快慢與是否溶於水有關。

研究者：哦，你還會再看沸點？

808：嗯！

……（略）

研究者：可是你不是覺得沸點沒什麼關係？那為什麼你還要看沸點？你覺得沸點跟溶解有關係嗎？

808：應該會有一點關係！

研究者：你的一點關係是指？…

808：……一點關係的話就是…它沸騰的話，它可能沸騰的比較慢，比較不容易被水溶解。

在小六方面，受訪的小六學生全都具有以密度判斷物質是否溶於水的傾向，但是以外觀做爲判斷依據的則明顯則比國二、高二學生爲多，例如認爲液態的就可以溶於液態，或是以顏色判斷是否溶於水。其知識來源則包括了生活經驗、學校教學以及直覺猜測。

研究者：從密度上可以，你怎麼看？

……（略）

0603：0.50。

研究者：0.50 是不是？你覺得大概 0.50….. 超過 0.50？

0603：0.50 就可以。

研究者：就可以怎樣？

0603：就可以跟水溶進（去）。

研究者：哪一張不可以（溶於水）？

0609：這一張（XX 酸）不可以。

……（略）

0609：因為硫酸那個顏色沒有散開。

研究者：所以你判斷它沒有互溶是根據是什麼？

0609：顏色。

(二)油、密度與溶解之迷思概念形成

事例晤談分析結果發現學生在面對不同情境（圖卡）時，判斷依據有所變動性，而且對於「xx 油」，無論小學生或高中生幾乎都認爲是因爲油性而不溶於水，而大部分的學生判斷「xx 酸」與「xx 汁」可以溶於水。值得注意的是：受訪學生的知識來源有不少是來自學校教學，顯示有教學不當或是學生過度推論的現象。例如「密度」是很多學生推論物質是否與水互溶的重要依據之一，不少受訪學生表示是因爲老師有教過或是做過實驗。由教材分析顯示在小學（二下/四上）有糖、鹽可溶於水的單元，國中第一册有溶劑/溶質的單元，高中則提到飽和溶液的概念。學生在經驗這些教學後，或許結合了某些生活經驗或自行推論而產生了不恰當的概念。由研究結果推論學生之「密度」與溶解的迷思概念形成如圖 3 所示：學生由生活經驗或學校經驗吸取「油浮在水面」、「油不溶於水」的知識後，由此推論或由學校學習產生油比水輕或油密度比水小的概念，並進而過度推論產生「油都不溶於水」以及「密度影響溶解」的迷思概念。

0601：那個現在的陳 xx 老師還有以前的老師啊。

研究者：怎麼講？……他們怎麼講？

0601：他們就說：油，上數學課的時候，他們就說，油和水的比例大概是多少，然後油會浮在水上面啊。然後算給我們看過啊。

研究者：他是怎麼算的啊？

0601：我不會說耶，油的比例比水輕，然後水的那個重量會比油重，所以油會浮在水上面。

……（略）

0601：最主要哦…最主要我會根據「油」。

研究者：為什麼？

0601：因為油比水輕啊！以前學到的都是這樣啊。所以我會根據油來判斷！

803：量就是要…大小要相同才可以！

研究者：怎麼樣？你的大小相同是什麼意思？

803：就是它的這個密度大小啊…

……（略）

803：做那個密度的實驗。

研究者：什麼時候做的？在哪裡做的？

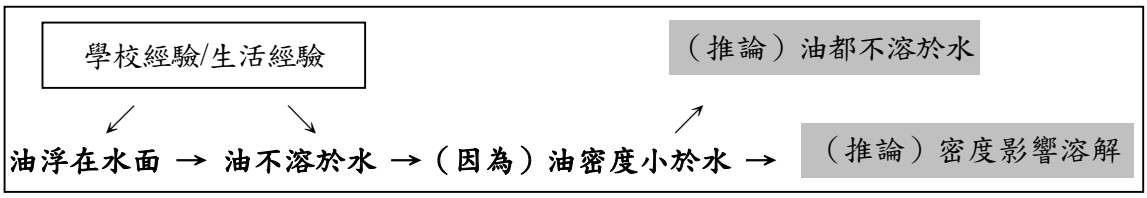


圖 3：油、密度與溶解之迷思概念形成

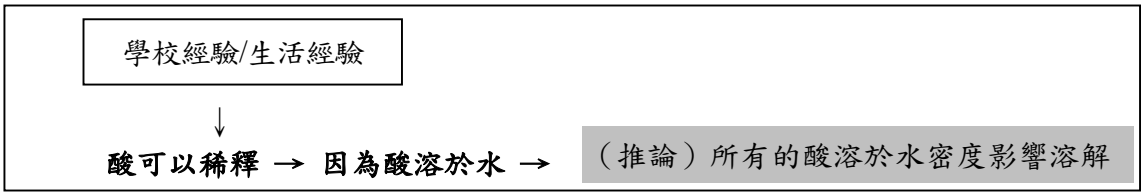


圖 4：酸鹼性與溶解之迷思概念形成

803：在那個…就是…實驗教室啊。

研究者：嗯，什麼時候做的？什麼樣的實驗？…你可以描述一下嗎？

803：嗯…就是…有分那個液體跟那個氣體的實驗啊。

研究者：好，不要說實驗，妳親自有這樣做過，還是說妳聽別人講，

看別人做的？

1109：對啊，親自有做過，做過啦。

研究者：哦，妳有做過，那我們回到這裡來，妳覺得這個油就是不行？

1109：對啊！

研究者：所有的油都不行嗎？

1109：所有的油都不行啊。

……（略）

1109：因為，如果是油的話，它的密度會比水小，然後它的…我不知道，反正就是油就是（不溶於水）……

(三)酸鹼性與溶解之迷思概念形成

除了密度，酸鹼性也是學生判斷溶解性的依據之一，而且有隨年級增加的趨勢，其概念形成具有圖 4 所示之特徵。學生由生活經驗或學校經驗獲得「酸可以稀釋」的知識後，由此推論或由學校學習產生酸可以溶於水的概念，進而過度推論產生「所有的酸都溶於水」的迷思概念。

研究者：妳怎麼知道檸檬是酸性的？

0607：應該吃起來酸酸的！

研究者：哦，吃起來酸酸的…所以妳認為那是酸性的。那老師再請教妳一個問題哦…是不是所有酸性的物質都可以？妳把它放到水裡面都可以溶在水裡面？

0607：可以吧！

研究者：實驗是怎麼樣做的？

0803：實驗就是…它有也是跟這一樣，就用那個…用水來測試。

……（略）

研究者：所以你是根據那時候實驗的結果來判斷囉？

0803：嗯！

研究者：那是不是所有酸性的東西都可以？所有酸性的東西我把它放到水裡面都可以溶在水裡面對不對？

0803：對。

上述有關學生的迷思概念形成，是研究者根據事例晤談資料所形成的部分歸納，並未代表所有學生都具有這些特徵。這些特徵值得我們注意學生的心智並非如同一塊白板，單純地接受教學的外在訊息，經常會融合自己的經驗與邏輯推理形成某些迷思概念。如同 Mintzes（2003）由建構主義觀點討論概念改變時指出「形成意義（meaning-making）」是人類適應環境以及概念改變的驅力(driving force)，不論兒童、成人，或是不同性別、種族，教育背景等等，都具有對於週遭環境事物形成意義的能力。由此觀點檢視晤談資料，可以發現學生由生活經驗或學校經驗獲得某些個人特質的（idiosyncratic）概念，並伴隨自行「形成意義」之產物，而此產物具有過度推論之特徵。例如由「油浮於水面」的經驗，使得「密度影響溶解」成爲「有意義」的迷思概念；而由「水可以稀釋酸」之經驗，使得「酸都可以溶於水」成爲「有意義」的迷思概念。因此圖 3、圖 4 之迷思概念的形成，可視爲學生對於經驗世界之「形成意義」的過程，而在教學上如何形成「有意義的學習」以達成概念改變，亦是未來研究值得思考的方向。

三、學生的溶解概念發展

本研究進一步參考 Piaget & Garcia（1989）以幾何、代數、力學爲例闡述科學史上的理論發展與學生的知識發生的關係爲解釋模型，由各項研究資料歸納學生對於「溶解」的概念發展如圖 5 所示。圖 5 所示的概念發展的特徵有：(一)、生活經驗與學校經驗是學生溶解概念發生的重要來源之一，尤其在低年級，生活經驗具有重要的影響力，而隨著年級升高，學校經驗之影響越顯重要；(二)、在低年級時，學生傾向以「外觀特徵」判斷物質的溶解性，而隨著學校經驗與生活經驗的增長，學生獲得「密度」的概念，並以此做爲推論物質之溶解性的傾向增加；(三)、學生獲取「酸」的概念以及高中的「化學式」概念後，「密度」仍然並存於學生認知結構中，並影響學生對於溶解之判斷；(四)、年級越高，學生逐漸脫離物體外觀特徵的影響，如同 Piaget & Garcia（1989）所指，隨著年齡的增長，主體逐漸由物體內（intra-object）過渡到物體間(inter-object)，再進而過渡到超物體(trans-object)的認識。本研究以上的歸納所根據的資料來源包括如下：

1. 較低年級的學生傾向於以「外觀特徵」判斷物質的溶解性：此資料來源包括 POE 的研究結果顯示對於甘油是否溶於水的預測，以外觀特徵（液態、味道、透明等等）爲判斷依據的，小六、國二與高二分別有 24.4 %、7.1 %與 0.9 %；對於太白粉的預測，小六至高二分別有 30.8 %、19.8 %與 10.7 %；都是隨年級而降低。對照許良榮、彭煜堯（2002）的研究發現，小四、小六、國二與高二分別有 26.2 %、15.5 %、2.8 %與 2.0 %認爲「因爲二者都是液體，所以汽油可以溶於水」，也是隨年級而降低。

研究者：為什麼？你為什麼覺得它可以溶在水裡面？直接講沒關係，沒有對跟錯，不要緊張。

603：因為它是液體，還有它是鹼性，密度比較…那個…比較高。

研究者：好，它的狀態要怎麼樣才可以（溶於水）？

604：要……液體…

研究者：那麼狀態你也是覺得……？

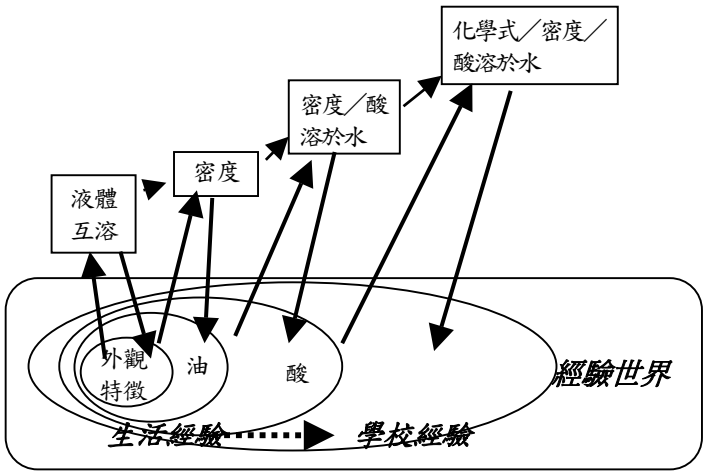


圖 5：學生的溶解概念發展

807：都是一樣的啊。

研究者：哦，都是一樣的？

807：因為液體都可以跟液體（互溶）啊。

2. 以密度爲判斷依據的，事例晤談中由小六至高二分別有 10 位、10 位與 9 位學生；POE 以密度或「油」判斷甘油的，由小六至高二分別爲 61.1 %、59.2 %、54.1 %。對照許良榮、彭煜堯（2002）的研究，該研究發現學生認爲「有『油』字的物質（例如甘油、沙拉油）都不能與水互溶」，小四、小六與國二分別有 48.1 %、44.4 %與 63.6 %的理由是「因爲這些油都比水輕」或「這些油都代表了『油性』」，而高二學生仍有 31.1 %的理由是「因爲這些油都比水輕」。由此顯示從小學至高中，有相當比率的學生持有「只要是油就不能與水互溶」的概念，而此概念與「密度」互相連結，成爲推理液體是否與水互溶的依據。

研究者：哦，理化課，老師有跟你們講過油沒有辦法溶在水裡面？

808：嗯，對！

研究者：他有沒有說為什麼？

808：他說……油的密度比較…比水較小吧。

……（略）

808：因為密度小的話，就會比較容易漂在水上面，然後密度大就會沈在水裡面。

研究者：你這樣子的想法是從哪裡得來的？

808：也是老師說的。

3. 事例晤談中以酸鹼性爲判斷依據的，由小六至高二分別爲 1 位、3 位與 7 位學生。對照許良榮、彭煜堯（2002）的研究，小四、小六、國二與高二分別有 61.0 %、62.9 %、80.4 %與 82.2 %的學生認爲醋酸可以溶於水是「因爲酸性的都可以溶於水」。

研究者：你是用猜的？還是又有什麼根據去那個（判斷）？

1103：因為就是上化學課的時候，有時候會講到 H_2SO_4 硫酸啊，啊所以我覺得酸應該可以溶解在水裡。

研究者：你有提到 H_2SO_4，然後你會認為說所有的酸可以溶在水裡面，為什麼？

1103：上課老師教的吧。然後…

……（略）

研究者：硫酸啊，你覺得硫酸可以是不是？為什麼你會認為硫酸可以溶在水裡面？

1103：因為就是曾經做過實驗硫酸稀釋。

4. 事例晤談中以化學式爲判斷依據的，由小六至高二分別爲 0 位、1 位與 9 位學生。高二以化學式爲判斷依據的學生明顯比小六與國二學生多，但是學生的解釋相當直觀或單純的記憶，除了過度推論，也有誤認-OOH 爲醇類官能基。

1102：我還是會先考慮化學式吧。

研究者：為什麼？

1102：嗯～～因為以前學的好像就是...後面的什麼 OH 或者是什麼酸的配在一起就是會溶解在水裡啊，然後但是我看後面這部份的化學式，以前從來沒看過，所以我可能就覺得它可能不太會溶解在裡面。

研究者：哦，你還是會先看化學式就對了？

1102：對。

1106：嗯～～這一張...這一張它是化學式後面是 OOH，應該會溶於水，而且可能會解離。

……（略）

1106：它可能是一個醇類吧...就是後面化學式是什麼什麼 OOH，然後會溶於水。

研究者：你這樣的想法是從哪裡得來的？

1106：考試，課本這一些。

……（略）

1106：它是醇類。

研究者：醇類會不會解離？

1106：醇類不會！

研究者：你確定不會？

1106：確定不會。

上述分析結果歸納了學生之溶解概念的發展，顯示學生的溶解概念頗爲複雜－認知結構中可能並存某些概念，在不同的情境中，某些概念具有優先性，例如面對酸性物質時以「是否酸性夠強」判斷，面對油性物質時，以密度或名稱判斷。而學生的概念成因含攝了學校教學、生活經驗與直觀推論，這些因素在不同情境的交互作用下產生不同的思考模式與判斷結果，值得未來在教學上注意改善。

伍、討論與建議

一、討論

本研究經由 POE、事例晤談以及對照先前研究，除了整理學生對於溶解的迷思概念，並歸納其概念形成與概念發展。在迷思概念方面，不論中學、小學學生，「密度（輕重）」是學生判斷物質是否溶於水的重要依據之一，呼應了簡美容（2001）的研究發現：「學童常會用到比較溶質、溶劑何者爲輕、爲重之觀點來描述溶解過程。」值得注意的是，生活經驗與學校經驗的影響在學生面對不同的客體時有所不同。由 POE 的施測結果顯示，對於日常生活較不熟悉的甘油，學生傾向以「油」判斷物質是否溶於水，年級越高，「學校經驗」之影響越趨明顯。而日常生活較常接觸之太白粉，學生傾向以「生活經驗」進行判斷，「學校經驗」則退居其次。因此如何結合生活經驗與學校教學是科學教學應給予重視的一環。而從學生在 POE 的觀察紀錄，除了呈現「觀察理論負載」的特徵之外，學生對於「溶解」的實驗操作亦頗爲有待加強，甘油初步加入水中未劇烈搖蕩時，會呈現分層或不均勻相的現象，但經攪拌則成爲澄清透明的單一相，學生在觀察時可能只注意到充分混合前的現象，形成過早下結論而誤判爲不溶於水的結果。因此教學上除了教導溶解的概念性知識，加強學生在實驗操作的技能或觀念，也是在科學教學上應予重視的。

在溶解的概念發展方面，本研究參考 Piaget & Garcia（1989）科學理論之發展機

制的模型，歸納學生之溶解概念發展的特徵如圖 5。有關科學史的理論發展與兒童的概念發展是否具有平行關係，是一個頗具爭議性的問題，有不少學者支持學生的科學概念發展與科學理論之發展具有平行關係，例如 Nersessian（1989）討論衝力論（impetus）、伽利略到牛頓的概念改變的特徵，認爲在科學史以及兒童的科學觀之概念改變有相似的認知模式，科學家與學生在建構科學表徵的推理類型是相同的。McDonald (1989) 的研究指出兒童對於「看見」與「顏色」的概念與科學史有平行的現象；認爲眼睛放出光線而看見物體；而顏色是物體的固有性質，包覆於物體表面；並認爲白光是純的、無色的光。Song, Cho & Chung（1997）對照學生的慣性概念與科學歷史上概念的改變，結果顯示學生的概念和過去科學家的觀點有很多相似的地方。國內研究方面，鄭秀如與林煥祥（1998）指出有時候學生的另有概念在科學發展史上也有類似的例子，例如學生對氣體性質的看法常常和亞里士多德的看法相似，學生認爲在密閉容器內的空氣（沒有壓力存在）和外界空氣是不相同的。林家平 (2001) 於國小學童光合作用概念之分析研究中，結果發現學童對葉子的角色之理解，隨著年級上升；由「蒸散、捕捉水分」的觀點，漸漸轉移成「製造養分」的觀點，相似於科學史上概念的轉變過程。

Nussbaum（1989）指出 Piaget 可能是首先提出科學史與孩童對自然現象的概念相平行的學者。然而也有不少學者認爲此種的假定值得斟酌，例如 Levien（2000）提醒對於歷史的（科學史）與心理學的（兒童的）之平行關係的假定應該要非常小心謹慎。因此單純的假定兒童知識發展與科學理論發展爲相類似，必須再詳加檢驗，Thagard（1992）認爲對於科學家以及兒童的知識發展，應該區分下列三種：第一種是「內容的重演（content recapitulation）」：由科學史的觀點，這類型的相似不太可能，例如兒童的物理理論是不太可能像亞理斯多德學派或是托勒密學派；第二類型是「結構的重演（structure recapitulation）」：Thagard 認爲這是比較能夠成立的（more plausible），例如 Chi 所建議的本體論的條約；第三類型是「機制的重演（mechanism recapitulation）」：可能部份是眞的，不過證據仍然不多也不充實。Thagard 認爲並沒有理由去懷疑概念產生以及獲得新的概念等等的機制有什麼不一樣，也就是科學家與兒童有什麼不一樣，比較值得考慮的是兒童跟科學家對於（概念）理論的「解釋一貫性（explanatory coherence）」的評估是不是一樣。diSessa（1988）認爲兒童並沒有一貫性的理論（coherent theory），而是比較鬆散的、非系統性的，也沒有特定的原則去判斷所謂的「解釋一貫性」，而 Brewer & Samarapongvan（1991）也認爲兒童沒有所謂的「理論」，但是兒童對於天文學，例如日月循環的現象有類似科學理論的成份（引自 Thagard, 1992）。

由上述的討論，本研究認爲不宜宣稱學生的概念發展與科學理論的發展完全相同，也不宜視兒童的心智運作爲一個「小科學家」。但是在與經驗世界的互動所展開的知識發生，仍有值得比對參考的價值，例如 Carey（1987）認爲兒童跟科學家在理論的轉移（shift of theory）上是一樣的，是一種內容相關（context dependent）（引自 Franco & Colinvaux-de-Dominguez, 1992），亦即概念改變（理論轉移）會因不同的概念（理論）而有所差異。由此觀之，本研究推論的溶解概念發展（圖 5）有其特定性，

未必適用於其他概念。另一方面 Piaget & Garcia（1989）論點的可能問題之一是形式操作期的認知主體都有邏輯工具（邏輯思考），而古希臘哲學家均具有形式操作期的邏輯思考能力，也就是古希臘哲學家都具有建構知識的工具，爲什麼科學發展沒有加速？Franco & Colinvaux-de-Dominguez（1992）指出皮亞傑對此問題的立場是，建構知識的「工具」是與情境無關的（context independent），而主體所面對的問題則有賴於情境（context dependent），因爲在科學史的研究（如 Holton & Roller, 1958），在十七世紀力學的重要發展並不是實驗方法的提昇，也不是對於舊的問題有了新的答案，而是形成了新的問題，Piaget & Garcia（1989）區分了方法學以及認識架構（epistemic framework）說明科學發展的連續以及不連續，方法學是指建構知識的通則化工具，在經驗科學的領域包含了邏輯以及實驗的策略，而認識架構牽涉到世界觀，包括在特定的情境所產生的問題以及意識型態的概念，因此古希臘的力學沒有加速發展，不是因爲缺乏方法或工具，而是文化環境沒有提供克服意識形態的障礙，使得古希臘哲學家沒有去考慮新的問題的可能性，因此沒有發展出對於新問題的新解答。

本研究目的不在於解答兒童與科學家之相似性，主要是指出 Piaget & Garcia（1989）的模型在探討學生的概念發展有其參考價值，如同 Thagard（1992）列舉數位學者的不同觀點，對於兒童概念發展或概念改變都提供了值得我們省思未來研究的方向以及交互對照的價值。其中例如 Chi（1991）認爲當兒童在學習物理理論，學生不會放棄他們自己舊有的理論，而會在日常生活持續使用，而 Keil（1989）認爲兒童並不是放棄舊有的理論而是兒童認知結構裡競爭理論、互相競爭的結果（引自 Thagard, 1992），這些觀點符應了本研究發現低年級的學生傾向於以「外觀特徵」判斷物質的溶解性，隨著學校經驗與生活經驗的增長，學生獲得「密度」的概念，並且在學生獲取「酸」的概念以及高中的「化學式」概念後，仍有並存於學生認知結構中的現象。但是如同 Thagard（1992）所言，對於兒童的概念改變或理論取代的問題並沒有辦法完完全全的被回答，兒童知識的發展在不同領域有不同的方式或路徑，未來仍有待科教學者持續的深入探究。

二、建議

(一)教學方面

研究結果發現持有「密度（輕重）大小」判斷物質是否溶解的學生在各年級均有一定比例，其原因可能是學生依據浮沉的結果是否分層判斷。因此建議在較小年級階段，教學時使用「分爲兩層，所以不會溶於水」之用詞時，宜審愼避免過度強調於因密度（輕重）關係，而應多著墨於「沒有均勻混合，不是溶解」的觀念，以避免學生過度推論形成「密度影響溶解」的概念。而且除了教導溶解的概念性知識，應加強學生實驗操作的技能或觀念，提供學生實作的機會與經驗，以提升學生對於自然現象的觀察與下結論能力。另一方面，由 POE 與事例晤談的結果顯示，學生的「說明」能力也是教學上值得注意改善的。如同 Thagard（1992）所言，達成「解釋一貫性」是概念改變的重要因素，由研究結果發現學生的解釋經常是一種「僞說明」，沒有前後連貫或不符合科學性，因此在教學上應多安排學生發表或解釋性問題的評量，以充分了解學生如何應用概念，進而提升學生對於科學概念的深層了解。

(二)未來研究方面

學生的概念形成與發展牽涉到「知識發生」，在研究法上並不容易達到通則性的結論，Piaget 以臨床觀察探索兒童的知識發生，研究結果對於教育具有顯著的影響與貢獻，而其理論仍有某些限制或再精煉的必要。誠如邱美虹(2000)在討論 Chi; Thagard 等之概念改變觀點所言：「在比較兒童概念改變與科學家的概念改變後，我們可以發現兩者之間是同中有異，異中求同….唯要得到進一步的結論恐怕類似的研究仍需要再深入的探討（p.28)」。因此本研究參考 Piaget & Garcia（1989）提出的溶解概念發展屬於暫時性的模型，仍具有再精煉的必要性。未來研究除了研究樣本之代表性的擴充（量的研究)，研究方法更應考慮個案的長期追蹤觀察之縱貫研究（質的研究)，以描繪社會文化、語言、教材、邏輯思考等等對於學生之概念發展影響的全貌。此外，本研究在事例晤談以及先前研究（許良榮、彭煜堯, 2002）的雙層試題都只包含液體的溶解性，只有在 POE 探討了固體(太白粉）的溶解概念，對於學生的固體之溶解概念的推論有其侷限性，這是未來研究應再加強的。

致　　謝

本研究之完成承國科會經費補助（NSC 91-2522-S-142-002)，謹此致謝。

參考文獻

1. 李家銘（2001）：**以 POE 教學活動促進國中低成就學生電學概念之研究**。發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。國立高雄師範大學科學教育研究所。
2. 林家平（2001）：**國小學童光合作用概念之分析研究**。台北市：國立台北師範學院數理教育研究所碩士論文（未出版）。
3. 邱美虹（2000）：概念改變研究的省思與啓示。**科學教育學刊**, **8**(1), 1-34。
4. 郭重吉（1988）：從認知觀點探討自然科學的學習。**教育學院學報**, **13**, 351-378。
5. 許良榮、彭煜堯（2002）：**中小學生對於物質化學性質之分類的迷思概念---以「溶解」爲例**。發表於中華民國第三屆化學教育學術研討會（205-214 頁）。國立彰化師範大學科學教育研究所。
6. 黃寶鈿（1989）：**溶液相關概念之認知發展層次的研究**。國科會專題研究報告，NSC78-0111-S003-018-D。
7. 盛承堯（1992）：**國小自然科學溶液概念及迷思概念之探討**。國科會專題研究報告，NSC81-0111-S-026-002-NN。
8. 簡美容（2001）：**國小學童對溶解相關概念認知之研究**。國立臺北師範學院數理教育研究所碩士論文（未出版）。
9. 鄭秀如、林煥祥（民 87）：科學史對高中學生學習成就之影響。**科學與教育學報**, **2**, 205-222。
10. Abraham, M. R., Williamson, V. M. & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(2), 147-165.
11. Andersson, B. (1984). *Chemical reaction*. EKNA, University of Gothenburg, Sweden.
12. Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, *18*, 53-85.
13. Boo, H. K. & Watson, J. R. (2001). Progression in high school student's (aged 16-18) conceptualizations about chemical

reactions in solution. *Science Education*, *85*(5), 568-585.

14. Brosnan, T., & Reynolds, Y. (2001). Student's explanations of chemical phenomena: macro and micro differences. *Research in Science & Technological Education*, *19*(1), 69-78.
15. Driver, R. (1985). Beyond appearances; the conversation of matter under physical and chemical transformations. In R. Driver., E. Guesne., & A. Tiberghien. (Eds), *Children's idea in science* (pp. 145-169). Open University Press, Milton Keynes.
16. Driver, R., & Erickson, G. (1983). Theories-in action, some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, *10*, 37-60.
17. Driver, R., & Russell, J. (1982). *An investigation in the idea of heat*, *temperature and change of state*, *of children between 8 and 14 years*. Leeds: University of leeds.
18. Ebenezer, J. V., & Erikson, G. L. (1996). Chemistry students' concepts of solubility: A phenomenography. *Science Education*, *80*(2), 181-201.
19. Ebenezer, J. V., & Fraser, D. M. (2001). First year chemical engineering students' conceptions of energy in solution progress: Phenomenographic categories for common knowledge construction. *Science Education*, *85*(5), 509-535.
20. Ebenezer, J. V., & Gaskell, P. G. (1995). Relational conceptual change in solution chemistry. *Science Education*, *79*(1), 1-17.
21. Edmondson, K. M. (1995). Concept mapping for the development of medical curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(7), 777-93.
22. Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, *63*, 221-230.
23. Erickson, G. L. (1980). Children's viewpoints of heat: a second look. *Science Education*, *64*(3), 323-36.
24. Franco, C., & Colinvaux-de-Dominguez, D. (1992). Genetic epistemology, history of science and science education. *Science & Education*, *1*(3), 255-271.
25. Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, *25*, 69-95.
26. Head, J. (1986). Research into 'alternative framework': Promise and problems. *Research in Science & Technological Education*, *4*(2), 203-211.
27. Holton, G. & Roller, D. H. D. (1958). *Foundations of modern physical science*. Massachusetts: Addison-Weskey.
28. Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, *22*(7), 719-737.
29. Kitchener, R. F. (1986). *Piaget's theory of knowledge and scientific reason*. Yale University.
30. Levine, A. T. (2000). Which way is up? Tomas S. Kuhn's analog to conceptual development in childhood. *Science and Education*, *9*, 107-122.
31. Liew, C. W., & Treagust, D. F. (1995). A predict-observe-explain teaching sequence

for learning about understanding of heat and expansion of liquids. *Australian Science Teachers' Journal*, *41*(1), 68-71.

32. Longden, K., Black, P., & Solomon. (1991). Children's interpretation of dissolving. *International Journal of Science Education*, *13*(1), 59-68.
33. McDonald, D. (1989). *Teaching science for understanding*: *Implications of spontaneous concepts and the history of science*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED314251).
34. Mintzes, J. J. (2003). Understanding and conceptual change: An international agenda from a human constructivist perspective. Paper presented at International Conference on Science and Mathematics Learning. Taipei: National Taiwan Normal University.
35. Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, *36*(7), 777-805.
36. Nersessian, N. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, *80*, 163-183.
37. Nieswandt, M. (2001). Problems and possibilities for learning in an introductory chemistry course from a conceptual change perspective. *Science Education*, *85*(5), 158-179.
38. Novak, J. D. (1996). Concept mapping: A tool for improving science teaching and learning. In Treagust, D. F., Guit, R., & Fraser, B. J. (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 32-43). New York: Teacher College Press.
39. Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11(special), 530-540.
40. Okebukola, P. A. (1992). Can good concept mappers be good problem solvers in science? *Research in Science and Technological Education*, *10*(2), 153-70.
41. Osborne, R. J., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science*: *The implications of children's science*. Auckland: Heinemann.
42. Osborne, R. J., & Gilbert, J. K. (1980). A method for investigating concept understanding in science. *European Journal of Science Education*, *2*, 311-321.
43. Palmer, D. (1995). The POE in the primary school: an evaluation. *Journal of Research in Science Education*, *25*(3), 323-332.
44. Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods*. California: Sage Publications, Inc.
45. Piaget, J., & Garcia, R. (1989). *Psychogenesis and the history of science*. New York: Columbia University Press.
46. Prieto, T., Blanco, A., & Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11- to 14-year-old students about the nature of solution. *International Journal of Science Education*, *11*, 451-463.
47. Searle, P., & Gunstone, R. F. (1990). *Conceptual change and physics instruction*: *A longitudinal study*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED320767).
48. Song, J., Cho, S. K., & Chung, B. H. (1997). Exploring the parallelism between change in student conceptions and historical change in the concept of inertia. *Research in Science Education*, *27*(1), 87-100.

49. Stead, B. F., & Osborne, B. R. J. (1980). Exploring science students' concepts of light. *Australian Science Teachers Journal*, *26*(3), 84-90.
50. Sutton, C. R., & West, L. (eds.) (1982). *Investigating children's existing idea about science*. Leicester, University of Leicester.
51. Taber, K. S. (2001). Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, *23*(7), 731-753
52. Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(4), 283-301.
53. Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. New Jersey: Princeton University Press.
54. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic test to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, *10*(2), 159-169.
55. White, R., T. & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.

A Study of Conceptual Formation and Development for Dissolving in Elementary and Secondary School

Liang-Rong Hsu and Cheng-Hua Liu
Deparetment of Natural Science Education, National Taichung Teachers College

Abstract

The purpose of this study was to explore students' conceptual formation and development about dissolving. The subjects are 6th graders, second-year junior high school students, and second-year high school students. The research methods includeds POE (Predict-Observe-Explain) (to 3 classes of students from each different grade, IAI (Interview About Instance) (10 students from each different grade), and cross examination with previous studies (Hsu and Pon, 2002). It was discovered that students judge whether or not a substance dissolves in water by determining if the substance is oil, when glycerin, normally unfamiliar to students, was tested. Students with higher education levels tend to base their judgments on school experience. For cornstarch, which is regularly seen in daily life, students tend to make their judgments based on life experiences rather than school experiences. During the formation of misconception, students tend to over-generalize the relationships of "oil, density, and dissolving" and "all acid can be dissolved in water". This research was based on Piaget & Garcia (1989)'s model of the development for science theory, and concluded the features of students' conceptual development for dissolving as being: Students of lower years tend to judge the solvency of a substance based on its appearance and features. But as school experience increases, students gradually formed concepts for density, and have a higher tendency for determining solvency based on this concept. Even after students formed concepts of acids and chemical formulas in high school, it appeared that both concepts still co-exist in a student's cognitive structure.

Key words: Conceptual Development, Conceptual Formulation, Dissolving, Misconception.