

國小高年級學童蒸發、凝結 與沸騰概念之研究

張敬宜

國立台北師範學院 數理教育學系

(投稿日期：85年9月26日，接受日期：86年1月22日)

摘要：本研究對大台北地區的國小高年級學童實施測驗評量；參與開放式與選擇式評量的人數分別是 758、760 人。兩種評量結果均顯示學童的蒸發概念發展得比凝結概念好。在探討開放系統或密閉系統中的蒸發與凝結現象時，水蒸發形成的、水蒸氣遇冷凝結以及水蒸發後被擋住跑不出去而形成小水滴的三種答案不僅都出現且名列前茅，這顯示多數學童都無法區分開放系統與密閉系統內小水滴出現原因的不同；大部分的學童對於水的蒸發相當清楚，但對水蒸氣是如何再回到水滴的狀態就不甚瞭解。至於開水煮沸時泡泡裏存在的物質，在開放式評量裡能主動寫出是水蒸氣的只有 26.6%，但在選擇式評量中選此選項的學童則有 57.6%。在兩種不同的評量方式中，能指出水壺嘴口冒出的白煙是小水滴的學童都不到 10%，近 70% 的學童都認為是水蒸氣。開放式的評量結果呈現出較多樣化的學童想法，檢視學童的想法，研究者發現學童在這些概念上學習困難的徵結來自於學童對“水蒸氣存在於空氣中”狀態的不清楚。研究中也發現測驗形式大大影響了學童在各類回答的百分比分佈。

關鍵詞：開放式評量、蒸發、凝結。

壹、前言

近年來由於受到 Piaget、Kelly 與 Ausubel 對於「知識的獲得」與「學習的主張」理念之影響，許多從事科學教育研究的學者紛紛強調學習者主動建構意義的重要性，從新的認知觀點來探討學生有關自然現象的想法（郭重吉，1988；

1989; 1990; Duit, 1991)。這些研究結果顯示學生在進入教室前，對自然現象就已經根據其日常經驗、遭遇發展出自己的想法 (Osborne & Gilbert, 1980; Driver, 1981; Pope & Gilbert, 1983)，而在學生對自然現象的諸多想法中，有些是與科學家（或正統科學）的概念大不相同；而這些不同於科學家的概念，研究者基於理論觀點、研究方法的不同也有各種不同的稱呼方式，例如：概念架構 (Conceptual framework)、另有架構 (Alternate framework)、另有概念 (Alternate conception)、迷思概念 (Misconception) 和孩童的科學 (Children's science) 等 (熊召弟, 1995; Berg & Brouwer, 1991; Duit, 1991)。

本研究擬以蒸發、凝結與沸騰概念為探討主題的原因，一方面是因為這些現象不但與人們的日常生活息息相關，是教材中不能缺少的題材，亦是人們欲瞭解物質循環、物質守恆 (The conservation of matter)、粒子論 (The particulate model) 等概念的重要基礎 (Osborne & Cosgrove, 1983; Andersson, 1990; Stavy, 1990)。然而更重要的原因是研究者在過去參與我國自然科實驗課程的教材編寫時即曾遭遇到這方面的困擾，例如：「水的三態變化」單元應放在那個年級教學較適切？不同年級的學童對這些自然現象的想法為何？應當引導學童學習到那一個層次？…另外，研究者在與一些職前或在職國小教師的接觸中也發現除了教學經驗極豐富者外，大部分的教師對學童蒸發、凝結與沸騰方面的另有概念瞭解甚少，因此研究者認為本土資料的建立是極重要的。

本研究的主要目的在探討國小高年級學童對於蒸發、凝結與沸騰現象的概念及其另有概念，以及概念學習上的障礙，同時討論了測驗形式對學童表現的影響，希望探究的結果能提供國小教師研習、師資培育及國小自然課程設計、教材編寫參考之用。

貳、文獻探討

一、國內小學自然課程中有關物質相的變化概念之單元安排

我國現行小學自然科學課程中與物質相的變化概念有關的單元有三年級的「水的蒸發」、四年級的「植物的蒸散作用」、五年級的「物質狀態的變化」以及六年級的「我們的地球」（國立編譯館，1994；1995），詳見表1。

至於八十年代已發展的自然實驗課程中與物質相的變化概念直接有關的單元

表 1：現行國小自然科學課程有關物質相的變化之概念或活動

冊 別	單 元 日 期	單 元 名 稱	與物質相的變化相關之概念或活動
5	3	84.8 水的蒸發	<p>◇水的蒸發和凝結是水氣循環的一種現象</p> <p>◎觀察水的蒸發</p> <p>◎怎麼知道空氣中有水蒸氣</p> <ul style="list-style-type: none"> • 觀察水在密閉容器中，蒸發後的變化 • 觀察水蒸氣遇冷，凝結成水滴的現象
7	3	84.8 植物的蒸散作用	◎觀察水份的蒸散
10	3	84.1 物質狀態的變化（本單元自83.1. 將原教材「物質三態」簡化、淺化，刪除原活動一：物質的各種狀態，活動二：給固體、液體、氣體下操作型定義。）	<p>◇物質的狀態會互相轉換</p> <p>◎冰和水</p> <p>◎水不見了：觀察室溫下水的蒸發以及加熱後水沸騰的現象</p> <p>◎小水珠哪裡來：觀察水在開放系統中蒸發後的變化</p> <p>◎水結冰了</p>
11	3	82.8 自然界物質的循環（本單元自83.8已刪除）	<p>◇自然界中的水、空氣和礦物質不斷的循環</p> <p>◎水的循環：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 觀察水的蒸發和凝結（在密閉容器中） • 觀察人體水分的蒸散
12	5	84.1 我們的地球	◎水的世界：地球上水的形成，水對地球生物的重要性，及維持氣候的穩定

只有第七冊的「水的循環」（歐用生，1994），見表2。

於民國八十二年教育部擬定的國民小學自然課程標準中與物質相的變化有關的部分是在「水的探討」的主要內容之下，現將相關之教材綱要條列如表3。

根據新的自然課程標準，凝結概念的學習主要在三、四年級，而蒸發概念則放在四年級學習；現行自然科學課程中的安排自三年級開始學習這些概念，略提前了些；八十年代的自然實驗課程則在四年級一併介紹。研究者過去曾幾度親至小學三年級的自然教室裡去觀察水的蒸發與凝結概念的教學，並有機會與多位教學、研究經驗極豐富的國小自然科教師討論，教師們與研究者的共同感受是三年級學童較能夠接受蒸發的概念，而凝結概念對他們而言是較抽象、難懂的，因此研究者以為蒸發概念的學習或可擺在三年級，而凝結概念的探討則不妨延緩些。

表2：八十年代自然實驗課程有關相的變化概念學習的單元名稱及單元目標

單元名稱	單	元	目	標
水的循環	1.觀察冰吸熱後熔化的現象			
	2.覺察水的蒸發和凝結現象			
	3.利用蒸發面積、吹風或受熱的改變，觀察水蒸發的快慢			
	4.大自然中的水，依存在地的冷熱有冰、水和水蒸氣的變化			

表3：國民小學自然課程標準中與物質相的變化相關之教材綱要表

教 材 綱 要	學習的適當年級
水的三態及水循環	
• 覺察水凍成冰，冰可化成水	一年級
• 加熱可熔冰，冷卻可凝結水蒸氣	三年級
• 水的蒸發和凝結	四年級
• 天氣的變化與海洋	四年級
• 海洋與天氣變化相關	五年級
• 由生態系統談水循環	六年級

至於熔化、凝固概念的探討，若不要求學童必須說出這兩個名詞，而只是敘述水狀態的改變以及引起狀態改變的因素，低年級的學童就可以學得很不錯。在現行自然科學課程中尚包含加熱後水沸騰現象的觀察，而在課程標準與八十年代自然實驗課程中均未涵蓋，研究者以為該現象在生活中尋常可見，如能納入課程中對學童對於“水蒸氣”狀態的瞭解定有幫助，對蒸發、凝結概念的學習也會有助益。而在擬定關於物質相的變化諸概念最適切的學習年級前，研究者認為應該先瞭解我國兒童對這些現象的另有概念以及概念學習上的障礙，建立這些基本資料後，課程設計者才可能設計出真正適合學童學習的教學活動，使我們的學童獲得有意義的學習。

二、物質相的變化概念之相關探究

Osborne 與 Cosgrove (1983) 以臨床晤談及紙筆測驗二種方式探討紐西蘭 8-17 歲學生在冰、水、水蒸氣狀態改變方面的概念發展情形；研究中先對 43 位學生進行臨床晤談，分析學生持有的觀點，再發展成紙筆測驗，對 725 位 12-17 歲學生施測。其主要發現有四：(1) 學生對凝結、蒸發、熔化等科學名詞只有表面語彙上的認識，並未擁有真正的科學概念。(2) 學生對觀察到的自然現象持有的觀點有很大的差異，有時年長的學生仍持有與低年級學生相似的概念。(3) 學生持有概念的分佈情形會隨著學生的年齡而變化，但某些非科學的觀念在年長學童群中反而更普遍。(4) 教師所教予學童的科學模型對學生而言是很抽象的，不能與日常經驗相配合。

Bar 和 Travis (1991) 曾以開放式的口頭個別測驗 (Open-ended oral individual test)、開放式的紙筆測驗 (Open-ended written test) 以及提供多種可能答案的選擇式紙筆測驗 (Multi-choice test) 三種不同的方式對以色列 6-14 歲學生有關液、氣相間狀態變化的概念發展狀況進行探究。他們的主要發現如下：(1) 6-12 歲學生對蒸發以及沸水氣泡中物質的本質 (The nature of material in the bubble) 之概念發展遵循著特定的程序。就蒸發而言，學生的觀念由水穿透固體物質逐步改變至水蒸發了；至於氣泡中的物質的鑑定，則由水改變成空氣。(2) 學童對沸騰的瞭解早於其對蒸發的瞭解。(3) 測驗的形式對概念分佈的情形有顯著的影響；提供多種可能答案的選擇式測驗會提升學童選擇錯誤答案的機率。

Stavy (1990a; 1990b) 採用臨床晤談的方式進行以色列 9-15 歲學生有關物

質狀態改變（包括變形 (Deformation)、熔化、溶解、蒸發）之概念發展研究。在晤談中學生被詢及物質守恆 (Matter conservation)、物質鑑定 (Matter's identity)、重量守恆 (Weight conservation) 以及相變化的可逆性 (Reversibility of process) 等問題。結果顯示變形測驗中能確認重量守恆概念的學生，在熔化測驗中卻未必能再認同此點，同時在熔化測驗中有重量守恆概念的學生在蒸發測驗中也未必能再予以相同的確認。學生相信物質熔化後的重量較其固態時輕，氣體沒有重量或氣體較它在液態或固態時輕。此外，持有重量守恆概念的學生並不都能瞭解相變化步驟的可逆性。一直到 12 歲的學童，他們在參與測驗時由感官所獲得的訊息（如碘蒸氣的顏色等）仍對學生有關重量守恆的概念有相當大的影響。在對學童有關物質守恆概念探究後，Stavy (1991) 更以類比教學法 (Analogical instruction) 來克服學童在這方面的迷思概念。在參與“碘蒸發”的活動中具有物質守恆概念的學生能成功地將他們的瞭解應用來解釋“丙酮蒸發”的現象；活動中先藉由紫色碘蒸氣的出現使學生察覺固態碘蒸發後物質仍然存在，只是它的狀態改變了（變成紫色蒸氣），再以類比法去引導學生瞭解丙酮蒸發後，它並沒有消失，而是以氣態存在（雖然它的氣體沒有顏色，我們無法以肉眼看到）。Stavy 的研究結果顯示在科學教育中類比教學法是克服學童迷思概念的有效工具之一。

Bar 以及 Galili (1994) 採取了三種不同的方法：臨床晤談 (Clinical interview)、開放式及提供多種可能答案的選擇式紙筆測驗 (Open-ended and multiple-choice written tests) 探討以色列 5-14 歲學童對於蒸發概念之發展情形。其研究結果顯示學童有關蒸發概念的發展是依循著下列四個程序：(A) 水消失了。(B) 水被地板或者土壤吸走了。(C) 水蒸發意味著現在已不能再看到水，而水轉移到另一個位置 (Location) 或介質 (Medium) 中，例如：在天空中、在空氣中、在雲中等。(D) 水變成水蒸氣了，它是以看不見的小水滴分散於空氣中，或是水轉換成了空氣。同時學童對於蒸發概念的改變與他們的認知發展（守恆定理的使用；對空氣抽象模型的採納）有明顯的關聯。Staver (1984; 1986; Staver & Pesiarella, 1984) 在探討測驗形式對於學童表現的影響時，曾推論評量結果與測驗形式的相關性只發生在學童較不熟悉或較複雜的評量內容時；在 Bar 和 Galili (1994) 的研究中也觀察到儘管學童所持有的觀點類型並不會受到命題內容的影響，但不同觀點的出現分佈情形確實與命題內容相關。

國內學者黃寶鈿、黃湘武教授(1990)曾以示範實驗群測及個別面談診斷的方式探討國內一千二百多位國中生、高中生以及大學生對於溶液之沸騰及蒸發概念的認知模式。他們發現各年級學生中具有正統學科之蒸發及沸騰概念的人數非常少，主要錯誤概念模式包括：(1)蒸發只限於水或水溶液，其它種類之溶液或液體不會發生蒸發現象。(2)混淆蒸氣壓與大氣壓兩種概念。(3)蒸發現象只與大氣壓有關，與溶液的蒸氣壓無關。(4)沒有分子動力平衡的概念。(5)水溶液在蒸發時，多數學生認為溶質粒子與溶劑粒子都會一齊逸出液面。不瞭解溫度和分子動能的關係，認為溫度不會影響蒸發的速率。(6)若繼續加熱或換以更強之熱源，認為液體或溶液之溫度會繼續升高，而不瞭解沸騰時能量的平衡現象。(7)不能區分密閉空間和開放空間的蒸發現象。他們也證實學生對於蒸發和沸騰的正確概念之學習與認知發展之間有某種程度的相關性。

參、研究方法

一、研究樣本

本研究是以大台北地區的五、六年級學童為施測對象；先以隨機方式抽選出台北縣、市 20 所國小，於考量各校所屬地區的特性、班級數的多寡同時徵詢該校的意願後共有 10 所學校參與本研究。在 10 所國小的五、六年級中，各抽出兩班，分別接受開放式及選擇式測驗；總共有 758 人參與開放式測試，其中五、六年級學童分別是 369、389 人，另有 760 人參與選擇式測試，五、六年級學童分別是 375、385 人。本測驗評量是在 1995 年四、五月間實施的；為使學童能充分瞭解題意，施測時是由研究者親至該班級，除了逐題說明外，並以實物展示呈現各命題欲探討的現象。於初步分析評量結果後，研究小組在接受開放式評量的同學中，每班再選取 3～4 名具代表性的學童進行簡易半結構性的晤談以澄清學童的概念。

在選取學校時，因各校需有五、六年級各兩班同學接受評量，研究者雖注意到城鄉的分佈，但班級數較少的偏遠地區樣本則無法納入，因此本研究結果如欲推論至大台北地區以外或包含偏遠地區的國小高年級學童，必須十分審慎。

二、研究工具

本研究編製的概念評量卷主要是對“開放系統中的蒸發”、“開放系統中的凝結”、“開放系統中的蒸發與凝結”、“密閉系統中蒸發與凝結”、“沸騰”現象進行探討。研究者詳讀國內外相關文獻並加上其對蒸發、凝結、沸騰概念的瞭解先擬出評量卷初稿，再邀請二位科教學者、一位物理專家以及二位國小資深優良教師審閱修訂，之後先以北師實小五、六年級學童各 5 名預試，再以台北近郊一所國小五、六年級學童各二班進行測試，再次修正完成正式的開放式評量試卷。研究者將預試學童在開放式評量卷的回答予以歸類，整理出學童較常持有的另有概念類型，同時晤談了 20 位具豐富教學與研究經驗之國小高年級自然科教師（張敬宜，1996），向教師們請教學童在面臨評量卷中各命題時之各種可能想法，而於綜合預試結果與教師晤談資料後，發展出另一份包含相同命題的選擇式概念評量卷初稿，再以台北市另一所國小五、六年級學童各二班預試，修訂完成正式的選擇式概念評量卷。評量卷所包含的各命題如下：（施測時，命題順序與本文呈現者不同）

（一）開放系統中的蒸發

命題 1：教室裡有一杯水，靜靜放幾天，沒有人去動它，這杯水就慢慢減少了，請問：杯子裏的水怎麼會減少呢？

（二）開放系統中的凝結

命題 2：這裏有一瓶飲料，它是不久以前從冰箱冷藏室裏拿出來的，你們看，這飲料瓶外有好多細小的水滴，請問：這些細小的水滴是怎麼來的？（施測時以實物展示）

（三）開放系統中的蒸發與凝結

命題 3：這裏有一杯剛煮開的熱水，老師在熱水上方放了一塊透明墊板，小朋友注意看喔！（幾分鐘後）你們看墊板下面出現一顆一顆的小水滴，請問：墊板下面的小水滴是怎麼來的？（施測時以實物展示）

（四）密閉系統中的蒸發與凝結

命題 4：這裏有一個塑膠袋，老師把它裝了一點水，又將裏面裝滿了空氣，再把它袋口小心綁緊，然後在室內放了幾天，你們看：塑膠袋的內壁出現了好多細小水珠，請問：（a）塑膠袋內壁的細小水珠是怎

麼來的？(b) 塑膠袋裡出現小水珠之前和之後，袋子裏水的重量會怎樣改變？你的理由是什麼？（施測時以實物展示）

(五)沸騰

命題 5：水煮開時會產生很多的泡泡，請問：泡泡裏是什麼東西呢？

命題 6：煮開水時，水壺嘴口會冒白色的煙霧，你認為那白色煙霧是什麼呢？

至於對部分具代表性學童簡易晤談的進行，是以學童對評量卷中各命題的回答為依據，希望透過面對面的溝通方式真正了解學童的想法，進而判斷學童持有的概念類型；晤談時是由具小學教學經驗之助理擔任晤談者，研究者及另一名助理負責場記與錄音工作。

三、資料的處理與分析

研究者以歸納分析法 (Inductive analysis；王文科，1990) 與比較對照法對開放式評量卷資料以及簡易晤談錄音後轉謄成之書面資料進行分析。研究者先逐件地檢視資料，繼而重複地閱讀資料並寫出所有研究者認為學童所持有的另有概念類型，再持續地比較、對照這些另有概念類型與原始資料，不斷調整、修正研究者認為學童持有的另有概念至能反映原始資料全貌止。而對學童實施選擇式紙筆測驗的結果是以描述性統計（輔以頻次分析）來說明學童持有的概念。

另在分析質的資料的過程中以三角校正法（包括開放式評量結果以及晤談錄音轉成之書面資料的交叉檢核以及參與者檢核）以及研究過程中研究者的自我反省、再評鑑等方式來提升本研究結果的可信賴度 (Trustworthiness)(Lincoln & Guba, 1985)。

肆、結果與討論

一、開放系統中的蒸發

表 4 列出了學童對命題 1 的回答及其在各類回答的百分比分佈（佔評量總人數 1% 以上的學童回答才出現在表 4，以下呈現學童評量結果的各表都將以相同的方式處理）。在開放式測驗中，學童的回答若是：水遇熱蒸發了（佔 8.2%）或水蒸發到空氣中（佔 9.6%），研究者將這樣的答案併入於“水蒸發了”；有部分的學童雖然知道水是蒸發了，但他的概念並不完整，如“水受到陽光照射而

表 4：學童對命題 1 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合 計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合 計 (N=760)
(1)蒸發了；水變成水蒸氣了	82.7%	79.9%	81.3%	— ^a	—	—
(a)水蒸發後跑到空氣中	11.1%	8.2%	9.6%	80.5%	79.5%	80.0%
(b)水蒸發後跑到雲裡面	—	—	—	15.2%	17.4%	16.3%
(2)水受到陽光照射而蒸發了	6.0%	5.4%	5.7%	—	—	—
(3)水被空氣蒸發了	1.9%	5.4%	3.7%	—	—	—
(4)未作答；不知道	2.7%	2.6%	2.6%	0.3%	0.0%	0.1%
(5)水被空氣吸收掉了	1.9%	2.3%	2.1%	—	—	—
(6)水被太陽晒乾了	2.4%	1.8%	2.1%	—	—	—
(7)水被太陽吸走了	1.9%	0.5%	1.2%	2.9%	2.6%	2.8%

^a “—” 表示該項回答在該測驗中並未出現。

蒸發了”，學童並未注意到這是放在室內的一杯水而憑著他的經驗直覺地回答；又如“水被空氣蒸發了”，由晤談中得知學童或是認為水是被空氣中的熱氣給蒸發了或是認為水是與空氣接觸才會蒸發，因此研究者將這樣的答案另外歸類。有少數學童的敘述是：水散發掉了，水蒸散了；一個學童認為水是被杯子吸走了，另一個則認為是水遇熱而消失了，再有一個學童認為是水變成空氣了。在選擇式測驗中，有 80.0% 的學童選擇“水蒸發後跑到空氣中”的選項，認為“水蒸發後跑到雲裡面”的也有 16.3%，具有“水被太陽吸走了”想法的學童有 2.8%，此外有 6 個學童認為是“水滲到杯子裏去了”（佔 0.8%），而沒有任何學童選“水被風吹走了”的選項。

學童在開放式評量的回答顯示學童持有的另有概念可分為二大類，一類與太陽有關（含水受到陽光照射而蒸發了、水被太陽晒乾了以及水被太陽吸走了，共佔 9.0%），另一類與空氣有關（含水被空氣蒸發了及水被空氣吸收掉了，佔 5.8%）；在選擇式測驗中，則只注意到與太陽有關的想法而忽略了與空氣相關者。值得注意的是在開放式評量中，只有 9.6% 的學童可以寫出“水蒸發後跑到空氣中”完整的敘述，而在選擇式評量中選這個答案的學童卻高達 80.0%。

二、開放系統中的凝結

學童對命題 2 的回答列在表 5。在開放式評量中，學童的敘述若是空氣中的水蒸氣遇冷而形成小水滴或是空氣中的水蒸氣凝結而成，研究者將這樣的敘述都併入於第一類回答。有些學童知道這與空氣、冷熱變化有關，但卻無法理清其關聯，研究者將之歸諸於冷熱空氣相遇的關係；11.7% 的學童無法作答；9.9% 的學童認為是飲料瓶外的冰溶化而成的（學童寫的都是“溶化”，而非“融化”）。3.6% 的學童是用日常生活用語“退冰了”來描述這個現象；有 2.9% 的學童認為是飲料瓶內的液體跑到瓶外而產生；另有 2.8% 學童使用的字詞是“遇熱凝結”；2.1% 的學童認為這是因為水遇高溫蒸發形成的；有五個學童是以“水蒸氣遇冷

表 5：學童對命題 2 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合計 (N=760)
(1)空氣中的水蒸氣遇冷凝結而成	21.4%	19.5%	20.4%	61.9%	66.2%	64.1%
(2)冰飲料遇熱變成小水滴	19.5%	14.1%	16.8%	31.5%	26.8%	29.2%
(3)冷熱空氣相遇的關係	11.7%	16.7%	14.2%	— ^a	—	—
(4)未作答；不知道	10.3%	13.1%	11.7%	—	—	—
(5)冰溶化了	9.8%	10.0%	9.9%	—	—	—
(6)飲料太冰了，就會這樣	3.5%	4.9%	4.2%	4.3%	4.4%	4.3%
(7)因為已經退冰了	4.3%	2.8%	3.6%	—	—	—
(8)飲料中的液體跑出來在瓶外形成	3.5%	2.3%	2.9%	0.8%	0.8%	0.8%
(9)冰箱的冷霜(冷氣)造成的	3.5%	2.3%	2.9%	—	—	—
(10)(冰飲料、冰箱冰氣、冷空氣)遇 熱凝結成的	2.7%	2.8%	2.8%	—	—	—
(11)水蒸氣形成的	1.6%	3.1%	2.4%	—	—	—
(12)因為蒸發	3.0%	1.3%	2.1%	—	—	—
(13)由空氣中來的	0.3%	2.3%	1.3%	—	—	—
(14)煙跑到飲料瓶邊而形成	—	—	—	1.3%	1.6%	1.4%

^a “—” 表示該項回答在該測驗中並未出現。

凝固”來說明（佔 0.7%）。在選擇式評量中，多數同學選擇了“空氣中的水蒸氣遇冷凝結而成”及“冰飲料遇熱變成小水滴”的選項；只有 2 個同學選的答案是“像人冒汗一樣冒出來的”（佔 0.3%）。

研究者再次地發現學童在開放式測驗中的第(3)、(10)、(13)類回答是與空氣有關的；共佔 18.3%。在開放式測驗中能寫出“空氣中的水蒸氣遇冷凝結而成的”完整敘述的學童只有 20.4%，另有 11.7% 的學童根本無法作答，而經過選項的提示後，能選出正確答案者大幅提升到 64.1%。

三、開放系統中的蒸發與凝結

表 6 呈現的是學童對命題 3 的回答。在開放式測驗中，研究者將水蒸發形成的、水蒸氣形成的之答案併入於“水蒸發形成的”，這樣回答的學童人數最多佔 37.9%；學童的敘述若是熱水水蒸氣向上遇冷而形成的或是水蒸氣凝結而成的，

表 6：學童對命題 3 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合計 (N=760)
(1)水蒸發形成的；熱水蒸發後就會這樣	36.6%	39.1%	37.9%	14.7%	8.1%	11.3%
(2)水蒸發變成水蒸氣又遇冷凝結	22.5%	19.8%	21.1%	56.3%	58.2%	57.2%
(3)水蒸發後被墊板擋住跑不出去而形成的	10.0%	7.5%	8.7%	29.1%	33.2%	31.2%
(4)熱水的熱氣變成的	6.2%	7.7%	7.0%	— ^a	—	—
(5)由煙而來	3.3%	4.4%	3.8%	—	—	—
(6)水蒸發成水蒸氣附著在墊板上	2.7%	4.9%	3.8%	—	—	—
(7)熱空氣碰到冷空氣形成的	3.5%	3.3%	3.4%	—	—	—
(8)未作答；不知道	2.2%	4.1%	3.2%	0.0%	0.3%	0.1%
(9)熱水太熱了，就會這樣	3.5%	0.3%	1.8%	—	—	—
(10)熱空氣向上飄，被墊板擋住	1.4%	1.8%	1.6%	—	—	—
(11)熱氣被墊板擋住而形成水蒸氣	1.6%	0.8%	1.2%	—	—	—

^a “—” 表示該項回答在該測驗中並未出現

研究者都將之歸入第二類的回答。8.7%的學童認為這是水蒸發後被墊板擋住跑不出去而形成的；3.8%的學童是根據眼睛觀察到的來描述：由煙而來。有1位學童使用的字詞是“遇冷凝固”，6位學童的敘述是“水蒸散”而非“水蒸發”。表6的第(1)、(2)、(3)、(6)類回答（百分比總和為71.5%）均提到水蒸發成水蒸氣，可見學童的蒸發概念確比凝結概念好；對於開放系統中的蒸發與凝結現象，較清楚的是蒸發現象，能完整說出小水滴由來的學童只有21.1%。而在選擇式測驗中，能選出正確答案者大幅提升到57.2%，另有30%的學童認為是“水蒸發後被墊板擋住跑不出去而形成的”，反之認為是“熱水蒸發後就會這樣”的學童則下降至11.3%，而只有一個學童選擇“熱水變冷後就會這樣”的答案。

四、密閉系統中的蒸發與凝結

表7：學童對命題4問題(a)的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合計 (N=760)
1.水蒸發形成的	43.1%	43.7%	43.4%	16.5%	13.5%	15.0%
2.水(遇熱)蒸發後被擋住跑不出去而形成的	17.6%	19.3%	18.5%	20.8%	22.9%	21.8%
3.水蒸發後水蒸氣在塑膠袋內壁遇冷凝結而成	8.9%	10.3%	9.6%	36.0%	34.3%	35.1%
4.未作答；不知道	7.0%	6.4%	6.7%	0.0%	0.3%	0.1%
5.空氣和水結合產生	4.6%	2.3%	3.4%	— ^a	—	—
6.因為有空氣存在	2.7%	2.6%	2.6%	—	—	—
7.水蒸氣遇空氣而形成小水珠	0.8%	2.3%	1.6%	—	—	—
8.水蒸發後附著在塑膠袋內壁	2.2%	1.0%	1.6%	—	—	—
9.水被袋內空氣吸走	1.1%	1.5%	1.3%	—	—	—
10.悶熱就會這樣	2.7%	0.0%	1.3%	—	—	—
11.塑膠袋內水蒸氣達到飽和而有小水珠產生	0.0%	0.5%	0.3%	12.5%	20.8%	16.7%
12.水蒸氣凝固形成的	0.5%	0.8%	0.7%	14.1%	8.3%	11.2%

^a “—”表示該項回答在該測驗中並未出現

表 7 列出學童對命題 4 問題 (a) 的回答及其在各類回答的百分比分佈。在開放式測驗中，如果學童的回答是水蒸發來的或水蒸氣形成的，研究者將這種回答併入“水蒸發形成的”；又學童若是寫水蒸氣在內壁遇冷形成的或水蒸氣在內壁凝結成的，研究者將它們併入了“水蒸發後水蒸氣在塑膠袋內壁遇冷凝結而成的”。第(5)、(6)、(7)、(9)類回答顯示學童認為小水珠的產生與袋內的空氣有關（百分比總和為 8.9%）。只有兩位六年級同學指出這是因為袋內水蒸氣太多（達到飽和）的緣故；另有三位學童認為是袋內溼氣太重所造成的；一位學童認為是外面涼裡面熱的原因。少數學童也寫出了“遇熱凝結”、“遇冷凝固”、“受熱凝固”的字詞。反觀，在選擇式測驗中有 35.1% 學童的選擇是“水蒸發後在塑膠袋內壁遇冷凝結而成的”，這比開放式測驗裡的數值提升約 25%；認為是“水蒸發後被擋住跑不出去而形成”的學童比例與開放式測驗中的比例相近；選擇“水蒸發形成的”學童比例則下降了近 30%。值得注意的是有 16.7% 的學童選擇“水蒸氣達到飽和”的選項，另有 11.2% 的學童認為是“水蒸氣凝固形成的”。

觀諸表 6 與表 7，可以發現不論是開放系統或密閉系統中蒸發與凝結現象的探討，學童多以水蒸發形成的、水蒸發後遇冷凝結以及水蒸發後被擋住跑不出去這三類回答來說明小水滴的由來；唯一的例外是在選擇式測驗中藉由選項的提示，才有 16.7% 的學童選出了飽和蒸氣的答案。

至於問題 (b)（見表 8），在開放式測驗中有 54.9% 的學童認為小水珠出現後袋子裏水的重量會變輕，27.4% 的學童認為小水珠出現前後水重量不變，只有 7.9% 的學童認為會變重。在對學童的評量與訪談中均有學童認為水蒸發了、水量變少、重量也就減輕，也有的同學認為水變成水蒸氣、再變成小水珠、而水比水珠重所以重量變輕，更有同學認為氣體比液體輕、水變成水蒸氣比較輕甚至是沒有重量的。認為小水珠出現前後重量不變的學童所持的理由大致可區分為兩類，一類是指出袋子是密閉的，水跑不出去，所以重量不變，另一類則指出水蒸發只是換了一個形體，氣體、液體、固體的水重量都一樣。而回答變重的學童認為小水珠出現後，水增加了，小水珠也有重量，因此重量會增加。在選擇式測驗中，認為小水珠出現後重量減少的學童比在開放式測驗中的減少了 9.2%，認為重量不變的增加 13.0%，認為重量增加的則比例相近；具有水滴是由原來的水蒸發而來的想法之學童增加了 7.1%。

表 8：學童對命題 4 問題 (b) 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合計 (N=760)
1. 變輕	57.7%	52.2%	54.9%	47.2%	44.2%	45.7%
理由：①因為水蒸發了	34.1%	30.3%	32.2%	22.9%	23.4%	23.2%
②水變成水蒸氣再變成水珠， 水比水珠重	9.2%	8.2%	8.7%	8.0%	8.6%	8.3%
③氣體比液體輕，水蒸氣比較 輕(或沒有重量)	7.9%	6.9%	7.4%	10.4%	9.4%	9.9%
④未作答者	3.8%	3.1%	3.4%	5.9%	2.9%	4.3%
2. 不變	23.6%	31.1%	27.4%	36.5%	44.2%	40.4%
理由：①袋子封閉了，跑不出去	11.1%	14.9%	13.1%	16.8%	19.0%	17.9%
②水滴是由原來的水蒸發而來 的	4.9%	10.8%	7.9%	12.0%	17.9%	15.0%
③未作答者	5.7%	3.1%	4.4%	7.7%	7.3%	7.5%
3. 變重	7.3%	8.4%	7.9%	11.2%	6.8%	8.9%
理由：①水增加了，因為小水珠有 重量	3.8%	4.6%	4.2%	7.7%	6.0%	6.8%
②未作答者	1.9%	0.8%	1.3%	3.5%	0.8%	2.1%
4. 未作答；不知道	11.4%	8.2%	9.8%	5.1%	5.0%	5.0%

五、沸騰

學童對命題 5 的回答列於表 9。在開放式測驗中，有 44.1% 的同學認為泡泡裏是空氣，由晤談中得知同學的想法是水裡含有一些空氣，所以遇熱時空氣就會往上升；只有 26.6% 的同學指出泡泡裏是水蒸氣；有些同學指出泡泡裏是某種氣體，有 4.9% 的學童認為是氧氣，4.2% 的學童認為是二氧化碳。另有少數同學指出泡泡裏是細菌、沸騰的水、水泡、熱泡泡和熱氣等。相反地，在選擇式測

表 9：學童對命題 5 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合 計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合 計 (N=760)
1.空氣；熱空氣	43.6%	44.4%	44.1%	23.2%	19.7%	21.4%
2.水蒸氣	24.7%	28.5%	26.6%	54.4%	60.8%	57.6%
3.某種氣體	10.6%	13.9%	12.3%	— ^a	—	—
4.熱水	8.9%	6.4%	7.7%	7.2%	70.0%	7.1%
5.未作答；不知道	9.5%	5.4%	7.4%	—	—	—
6.水泡	—	—	—	10.9%	9.6%	10.3%
7.熱煙	—	—	—	4.3%	2.9%	3.6%

^a “—” 表示該項回答在該測驗中並未出現。

表 10：學童對命題 6 的回答及其在各類回答的百分比分佈

學童的回答	開放式測驗			選擇式測驗		
	五年級 (N=369)	六年級 (N=389)	合 計 (N=758)	五年級 (N=375)	六年級 (N=385)	合 計 (N=760)
1.水蒸氣	69.4%	69.2%	69.3%	74.1%	68.3%	71.2%
2.熱空氣	7.9%	9.5%	8.7%	6.9%	10.1%	8.6%
3.小水滴	8.1%	8.0%	8.0%	5.3%	7.5%	6.4%
4.某種氣體	4.9%	5.4%	5.1%	— ^a	—	—
5.未作答；不知道	3.8%	3.9%	3.8%	—	—	—
6.熱煙	1.9%	2.1%	2.0%	8.3%	10.1%	9.2%
7.霧	1.9%	0.8%	1.3%	—	—	—
8.燒東西產生的煙	—	—	—	5.3%	3.9%	4.6%

^a “—” 表示該項回答在該測驗中並未出現。

驗中，57.6%的學童選出了“水蒸氣”的正確答案（比開放式測驗提升了31.0%），而只有21.4%的學童認為是“熱空氣”。

表10列出學童對命題6的回答。在開放式評量裡認為水壺嘴口冒出的白煙是水蒸氣的學童有69.3%，認為是小水滴的只有8.0%，而且五、六年級學童在這兩類回答中所佔的比例幾乎相同。5.1%的同學認為白煙是某種氣體，指出是二氧化碳、氧氣、氫氣的比例各是1.5%、1.1%、0.5%；另有7位同學認為白煙是熱氣。在選擇式測驗裡，大多數的同學仍選擇“水蒸氣”，其次是“熱煙”與“熱空氣”，認為是“小水滴”的只有6.4%。

六、綜合討論

開放式與選擇式評量結果均顯示我國高年級學童的蒸發概念發展得比凝結概念好；約有80%的學童具有蒸發概念（見表4），而在選擇式評量中近60%的學童具有凝結概念，但在開放式評量裡卻下降到20%左右（見表5與表6）。不論探討的是開放系統或密閉系統的蒸發與凝結現象，水蒸發形成的、水蒸氣遇冷凝結、水蒸發後被擋住跑不出去而形成小水滴的這三種回答不僅都出現且名列前三名（見表6和表7）；這顯示多數學童無法區分開放系統與密閉系統中小水滴出現原因的不同（即使在選擇測驗中，經由選項的提示也只有16.7%的學童選了飽和蒸氣的答案）。從學童在開放式評量卷的回答可進一步發現儘管在開放系統或密閉系統中蒸發與凝結現象的探討均有70%以上的學童可以寫出“水蒸發”的敘述，但是最終能寫出完整正確答案的只有少數，這表示多數學童可以說出水蒸發變成水蒸氣，但是對於水蒸氣是如何再回到小水滴的狀態就不太清楚。有將近五成的學童認為小水珠出現後塑膠袋裏水的重量會變輕，認為重量不變的學童在開放式與選擇式測驗中分別有三、四成；而具有水蒸發只是換了一個形體，氣體、液體、固體的水重量都一樣想法的學童在開放式與選擇式測驗中分別只有7.9%及15.0%。至於水煮開時泡泡裏存在的物質，在開放式評量中能主動寫出“水蒸氣”的只有26.6%，但在選擇式評量中選此選項的學童則有57.6%。在兩種不同的評量方式中，能指出水壺嘴口冒出的白煙是小水滴的學童都不到10%，近70%的學童都認為是水蒸氣。仔細檢視學童在開放式評量中所呈現的想法，研究者發現不管是在那一個命題中始終都有一些學童想法是與“空氣”有關的，而且這些想法所佔的總比例都不低，見表11。剖析上述資料，可以發

表 11：各命題中與“空氣”有關的學童回答以及其所佔的比例

探討主題	學童的回答 (與“空氣”有關者)	各類回答在各 命題中所佔的 比例(%) (五、 六年級合計)	各命題中與“空 氣”有關的回答 所佔的總比例 (%)
• 開放系統中的蒸發 (命題1)	(3)水被空氣蒸發了	3.7	5.8
	(5)水被空氣吸收掉了	2.1	
• 開放系統中的凝結 (命題2)	(3)冷熱空氣相遇的關係	14.2	18.3
	(10)冷飲料、冰箱冰氣、冷 空氣)遇熱凝結成的	2.8	
	(13)由空氣中來的	1.3	
• 開放系統中的蒸發 與凝結 (命題3)	(7)熱空氣碰到冷空氣形成的	3.4	5.0
	(10)熱空氣往上飄，被墊板擋住	1.6	
• 密閉系統中的蒸發 與凝結 (命題4問題(a))	(5)空氣和水結合產生	3.4	8.9
	(6)因為有空氣存在	2.6	
	(7)水蒸氣遇空氣而形成小水珠	1.6	
	(9)水被袋內空氣吸走	1.3	
• 沸騰 (泡泡內的物質) (命題5)	(1)空氣、熱空氣	44.1	44.1
• 沸騰 (白色煙霧) (命題6)	(2)熱空氣	8.7	8.7

現它們共同展露的訊息是：大部分的學童對“水蒸氣”並沒有清楚的認識，雖然同學們會說：水蒸發了、水變成水蒸氣了，但他們無法想像水蒸氣存在於空氣中的狀態，這也就是學童在凝結概念上學習的障礙所在；唯有學童擁有“水蒸氣存

在於空氣中”的概念，才能進一步知道空氣中的水蒸氣有可能因遇冷或在密閉空間內因為量多達飽和而再度凝結成水滴。

綜觀學童在開放式與選擇式評量的表現，可以察覺學童對命題 2、3、4(a)、5 的幾個主要回答之百分比分佈在兩種不同的測驗形式裡有相當大的差距；在選擇測驗裡，經由選項的提示，選擇這些命題正確答案的學童比例大幅提升了（分別上升了 43.7%，36.1%，25.5%，31.0%）；這顯示測驗形式對學童的作答確有影響。又除了命題 5、6 外，表 11 中與“空氣”有關的學童想法都只出現在開放式評量裡，這清楚地展示開放式評量可以呈現出較多樣化的學童想法。

表 12 列出 Bar 和 Travis 研究中 (1991) 以選擇式紙筆測驗方式評量所獲得的國小五、六年級學童對液、氣相間狀態變化持有的觀點。從表 12 可以看出除了沸騰外，我國高年級學童在蒸發、凝結方面持有的另有概念與以色列學童擁有的差距頗大。關於蒸發，提到“水變成空氣”或是“水被杯子吸走”的本國同學都各只有一位，而沒有任何學童寫出“水變成氫氣和氧氣”的敘述；至於“凝結”，認為是“飲料中液體跑出來在瓶外形成水滴”的同學在開放式與選擇式測驗中分別只有 2.9% 及 0.8%， “冷讓氫氣和氧氣轉變成水”或“冷轉變成水”的敘述則從未出現。開放式評量裡明確寫出“水蒸發到空氣中”的本國學童共有 73 人，只佔測驗總人數的 9.6%（五、六年級各有 41、32 人，各佔 11.1%、8.2%），但卻有近 80% 學童的回答是“水蒸發了”或“水變成水蒸氣了”，而在選擇式評量中更有高達 80% 的學童選了“水蒸發後跑到空氣中”的選項，這比起以色列學童近 20% 的通過率要高許多；而在凝結方面，本國學童有近 20% 的通過率，以色列五、六年級學童的平均通過率則只有 10% 左右。關於沸水上方蒸氣的組成，Bar 和 Travis 認為只要能選出是“另一種型態的水 (Another form of water)”即可算是正確答案，因此若依照他們的分法，回答是“小水滴”或“水蒸氣”應該都算是正確的，這樣的本國五、六年級學童約有 77% 遠高過以色列學童的平均通過率（約 22%）；而泡泡內存在的物質是什麼？在開放式與選擇式測驗中我國學童分別有 26.6% 與 57.6% 認為是“水蒸氣”，以色列學童之通過率明顯低於本國學童。Bar 和 Travis 研究中又指出以色列學童對沸騰的瞭解早於其對蒸發的瞭解，但對本國五、六年級學童評量的結果顯示本國學童並未有此趨勢，甚至可說我國學童對蒸發的瞭解，要略早於其對沸騰的瞭解。

表 12：Bar 和 Travis 研究中 (1991) 呈現的國小五、六年級學童對液、氣相間狀態變化持有的觀點以及各觀點出現的比例

概 念	命題敘述	學童的答案 ^a	各答案出現的百分比 ^b (%)	
			五年級	六年級
蒸 發	• 碟中的水乾掉了	(1)水改變了它的型態(form) 並散佈到空氣中	20	18
		(2)水變成空氣而消失了	38	35
		(3)水變成氫氣和氧氣	23	25
		(4)水穿透到碟子內	5	3
凝 結	• 手放在沸水上， 水蒸氣的凝結是 因為：	(1)水蒸氣變成水	20	35
		(2)水蒸氣讓手變溼	55	30
		(3)氫氣和氧氣變成了水	0	15
		(4)手冒汗	20	5
	• 冰水容器外水滴 的凝結是因為：	(1)空氣中的水蒸氣凝結成水滴	16	5
		(2)冷讓氫氣和氧氣轉成水	36	53
		(3)冷轉變成水	39	32
		(4)容器內的水穿透器壁跑出	8	5
沸 騰	• 來自沸水的蒸氣 是什麼組成的：	(1)另一種型態的水	16	27
		(2)熱空氣	28	35
		(3)水和熱	31	17
		(4)氫氣和氧氣	13	7
		(5)空氣	6	4
	• 泡泡內的物質是：	(1)水蒸氣	24	8
		(2)熱	27	55
		(3)空氣	36	36
		(4)氫氣和氧氣	3	4

^a 研究者將正確答案放在第一項，因此答案的順序與原文是不同的。

^b 各答案出現的百分比是由原文圖中讀出的約略數值。

又 Bar 和 Galili(1994) 的研究結果顯示以色列學童有關蒸發概念的發展是依循著四個階段：(A) 水消失了。(B) 水被地板或者土壤吸走了。(C) 水蒸發意味著現在已不能再看到水，而水轉移到另一個位置或介質中，例如：在天空中、空氣中、在雲中等。(D) 水變成水蒸氣了，它是以看不見的小水滴分散在空氣中，或是水轉換成了空氣。A 階段在幼兒時期(5 歲)達最高峰(60%)；B 階段則在小學二年級時(7~8 歲)是最高峰(65%)；C 階段是在小學六年級(12 歲)時達最高點(約 55%)；至於 D 階段則從小學四年級(9.5 歲)以後才開始出現，小學四~六年級的學童中有 10~15% 擁有這樣的想法。五年級學童持有這四類看法的百分比分別是 15%、30%、40%、15%；六年級學童則是 10%、15%、55%、10%。反觀我國高年級學童在開放式評量裡指出“水蒸發”或“水變成水蒸氣”的有 80%，進一步明確指出水蒸發後是跑到空氣中者近 10%，在選擇式評量中具有“水蒸發後跑到空氣中”想法者則高達 80%。

在國內學者黃寶鈿、黃湘武教授(1990)探討國中生、高中生以及大學生有關蒸發概念的主要錯誤思考類型中與本研究相關的有：蒸發是水被空氣吸收掉了、陽光照射液體或液體表面才會蒸發、蒸發就是水面冒煙(研究者晤談的學童中有一位亦持有此另有概念)、加蓋蒸發時未考慮動態平衡，可見這幾種另有概念不只是國小高年級學童所擁有的，中學生、大學生都可能仍持有這些另有概念。

另外，在 Stavy 的研究中(1990a, 1990b)曾指出以色列學童相信氣體沒有重量或氣體較它在液體時輕，我國高年級的部分學童也有類似的看法(見表 8)。

伍、結論與建議

本研究結果顯示測驗形式對學童的作答的確存有相當大的影響，儘管採取開放式評量必須考慮到學童文字表達能力、資料分析的困難等因素，但它確實可以收集到更多樣化的學童想法，可以更深入地去探究學童的思考方式，進而協助教學者找出學童學習困難的徵結。唯有瞭解學童想法的教師，才能設計出適合學童學習的教學活動，才有可能幫助學童達成概念上的改變，而如何洞悉學童的想法，開放式評量無疑是一項有效的工具。

本研究獲致的我國國小高年級學童對於蒸發、凝結與沸騰現象的概念及其另有概念，或可提供給各師資培育單位擔任自然科教材教法或兒童科學概念相關課

程教師之參考。如果在對職前教師的教學或對在職教師的輔導、研習活動中能適時融入這些資料，相信不僅能使教師們注意到學童在蒸發、凝結與沸騰方面的另有概念，修正其本身可能仍持有的另有概念，更重要的是逐步養成其洞悉學童對自然現象想法的能力與習慣，這對他們日後的教學、活動設計的能力均有所幫助。

目前台灣現行的國小自然科學課本裡介紹蒸發概念的教學活動多偏重在陽光下進行（例如：灑在地上的水，倒蓋在有陽光的溼泥地上的玻璃杯、放在陽光下的塑膠袋以及晾溼手帕），觀諸高年級學童在蒸發方面持有的另有概念有一大類是與陽光有關的（見表 4），可見有關室溫下蒸發現象的觀察宜再予加強。至於凝結概念的教學，是在三年級時先觀察水在密閉容器內蒸發後的變化，再觀察水蒸氣遇冷凝結成水滴的現象，然後五年級再安排開放系統中蒸發與凝結現象的觀察，這樣的安排方式極可能讓學童推論認為密閉系統內的小水滴也是水蒸發後遇冷凝結產生，而根本忽略水蒸氣量多達飽和始有小水滴形成的因素，或許我們並不需要在國小階段即要求學童能區分密閉系統與開放系統中小水滴產生原因的不同，但是對教學活動的安排仍需審慎，以免因此而形成學童的另有概念。而對於水蒸氣遇冷凝結成水滴現象的觀察，研究者以為不妨以低溫冷藏的罐裝飲料來取代冷凍結冰的飲料；如果採用的是冷凍結冰的飲料，罐壁上面看到的是先產生一層冰而後冰再融化成水，這就不是「凝結」現象的觀察了。表 5 中顯示有 13.5% 的高年級學童對飲料瓶外小水滴來源的回答是：“冰溶化了”或“因為已經退冰了”，這樣的回答極可能與課本的活動設計有關。

另外，鑑於學童在各命題的一些想法始終與“空氣”有關，研究者認為對“水蒸氣”、“空氣”狀態更深入的瞭解對於學童蒸發、凝結與沸騰概念的改變將有幫助，未來的自然課程設計不妨多著力於此。又國小五、六年級的學童正好是由具體操作期逐漸轉入形式操作期的階段，對這個階段的學童而言，如 Stavy (1991) 所提出的類比教學法也許是個頗值得嚐試的教學方式。

陸、誌謝

本研究能夠順利完成，先要感謝國科會 (the National Science Council) 給予的經費支持 (NSC 84-2511-S-152-005)，還要向參與評量學校的校長、老師、小朋友們致上最深的謝意。

參考文獻

1. 王文科 (1990) : 《質的教育研究法》。台北市：師大書苑。
2. 郭重吉 (1990) : 學生科學知識認知結構的評估與描述。《彰化師範大學學報》，第一期，279-319。
3. 郭重吉 (1989) : 從認知的觀點探討科學教育的理論與實際。《國科會認知與學習基礎研究第三次研討會》。台北市：國科會。
4. 郭重吉 (1988) : 從認知自然科學觀點探討對自然科學的學習。《教育學院學報第十三期》，335-363。
5. 黃寶鈿、黃湘武 (1990) : 《學生對溶液之沸騰及蒸發概念的認知模式》。國科會專題研究成果報告 (NSC79-0111-S003-021-D)。
6. 教育部 (1993) : 《國民小學課程標準》。台北市：台捷國際文化。
7. 國立編譯館 (1994) : 《國民小學自然科學教學指引》。台北市：國立編譯館。
8. 國立編譯館 (1995) : 《國民小學自然科學課本》。台北市：國立編譯館。
9. 張敬宜 (1996) : 從教師觀點探討國小即將畢業學童的蒸發、凝結與沸騰概念。《八十五學年度師範學院教育學術論文發表會》。85年11月28、29日於國立台東師範學院舉行，教育部主辦。
10. 熊召弟 (1995) : 《學童的生物觀》。台北市：心理出版社。
11. 歐用生 (1994) : 《國民小學自然科新課程概說》。台北縣：台灣省國民學校教師研習會。
12. Andersson, B (1990). Pupils conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
13. Bar, V., & Travis, A. S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
14. Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.
15. Berg, T., & Brouwer, W. (1991). Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity. *Journal of Research in*

- Science Teaching, 28(1), 3-18.
16. Driver, R. (1981). Pupil's alternate frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
 17. Duit, R. (1991). Student's conceptual frameworks : consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.) , *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
 18. Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage publications, Inc.
 19. Osborne, R., & Gilbert, J. (1980). A technique for exploring students' views of the world, *Physics Education*, 15, 376-379.
 20. Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
 21. Pope, M., & Gilbert, J (1983). Explanation and metaphor in : some empirical questions in science education? *European Journal of Science Education* 5(3), 249-261.
 22. Staver, J. R. (1984). Effects of method and format on subject's responses to a control variable reasoning problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 517-526.
 23. Staver, J. R. (1986). The effects of problem format , number of independent variables and their interaction on student performance on a control of variables reasoning problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 533-542.
 24. Staver, J. R., & Pesiarella, E. T. (1984). The effect of method and format on the response of subjects to a Piagetian reasoning problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 305-314.
 25. Stavy, R. (1990a). Children's conception of changes in the state of matter : from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (3), 247-266.

26. Stavy, R. (1990b). Pupil's problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), 501-512.
27. Stavy, R. (1991). Using Analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Education*, 28(4), 305-313.

Intermediate Students' Views Concerning Evaporation 、 Condensation and Boiling

Jin-Yi Chang

National Taipei Teachers College

Abstract

The purpose of this study was to explore intermediate students' conceptions about evaporation 、 condensation and boiling, and to identify the keypoints to the students' learning of these concepts. An open-ended written test (N=758) and multi-choice test (N=760) containing the same tasks were administered to intermediate students in the Taipei area. The results of these two tests show that students had better understanding on the evaporation concept than condensation concept. When exploring the phenomena of evaporation and condensation in an open and closed system, the majority of the students had a clear understanding on the evaporation of water, but had no idea about the change of water vapor into water drops which occurred in the second half of the systems. In addition to that, students were not able to differentiate the formation of tiny water drops in an open and closed system. In the open-ended written test only 26.6% of the students responded that the matter inside the bubbles formed during boiling is water vapor, while 57.6% of the students completed the multi-choice test picked the correct response. In these two test, there was less than 10% of the students who could point out that the white smoke coming out from the kettle is tiny water drops, while 70% of the students thought that it was water vapor. The evaluation results of open-ended written test indicated that more students' views, and examining the students' views carefully, the researchers found out that the keypoints to intermediate students' learning of these target concepts is that there should be more clarification of how water vapor exists in the air. Also in this study it was found that the format of the test has a great influence on the performance of the students' answers.

Key words: Condensation, Evaporation, Open-ended written test.