科學教育學刊
2007, 第十五卷第三期, 295-316

Chinese Journal of Science Education
2007, 15(3), 295-316

國中「細胞課程」概念改變教學之發展研究

盧秀琴 [1] **黃麗燕** [2]

[1] 國立臺北教育大學 自然科學教育系

[2] 臺北縣中和國小

（投稿日期：民國 95 年 2 月 21 日，修訂日期：95 年 10 月 26 日，接受日期：95 年 12 月 11 日）

摘要：本研究先分析國中生學習完「細胞課程」後具有的另有概念類型，然後以概念改變模式為依據，使用 5E 學習環教學策略，搭配類比教學、概念構圖和實驗等設計「細胞課程」的概念改變教學活動。本研究採用準實驗研究，以班級教學方式進行實驗。研究結果發現使用概念改變教學的實驗組學生比控制組學生獲得較多的科學概念，達到顯著差異；實驗組學生在 TIWM、CCAT 得分進步超過對照組學生 0.51 和 0.39 個標準差的實驗效果量；且概念改變教學設計對於中、低分群學生具有顯著的效果。以「葉子的層次」為例詮釋本體類別內的概念改變教學成效，發現以觀察榕樹葉橫切面標本做放聲思考討論和概念構圖，確實可使學生產生認知結構的衝突，進而幫助他們釐清概念；而「細胞的生理現象」屬於本體類別間的概念改變，雖然教師使用 5E 學習環教學，學生只認識表象的細胞擴散與滲透，無法說明真正原因。由於部分生物教師以講述法在教「細胞課程」，建議教師在教學前或進行補救教學時，可參考本研究的概念改變教學設計，如：細胞構造與功能的類比教學、葉子組成層次的概念構圖等，選擇性的加入自己的教學；對於較難的「細胞的生理現象」，則建議放在國二的溶液、濃度和滲透壓等化學課程一起做教學。

關鍵詞：5E 學習環教學策略、細胞課程、概念改變教學

壹、前　言

一、研究的理念和重要性

九年一貫課程強調要讓學生獲得帶得走的能力，而非背不動的書包（教育部, 2003），但學生常因具有先存概念（preconception）與另有概念（alternative conception）而影響學習成效。以生物科為例，細胞課程是學習生物學的基礎，也是研究生物的一項先備知識與技能（Campbell & Reece, 2003），國中階段的細胞課程包含：細胞的定義、細胞的形狀與功能、胞器的構造與功能、擴散作用與滲透作用、細胞的組成層次等（教育部, 2003）；

國內外有多位學者曾對國一學生進行細胞課程另有概念的研究，發現將近半數的學生學習完細胞課程後，仍不了解細胞科學詞彙與知識概念的真正含義，而存有另有概念，如：組成生物體的基本單位是基因，洋蔥表皮細胞內有葉綠體，葉子由許多型態相同的細胞組成，是一種組織；原核生物沒有膜狀構造，所以沒有細胞膜（曾千虹、耿正屏, 1993; 湯清二, 1991, 1993; 盧秀琴, 2003a; Marek, Cowan, & Cavallo, 1994）；這些另有概念的存在，對學生往後學習生物學方面的知識可能造成重大影響(Gilbert & Watts, 1983; Marek, et al., 1994)。有鑑於此，為使國一學生獲得較多細胞課程的正確概念，教師在進行教學前，需先了解學生可能具有的先存概念和另有概念，尋找有效的教學策略幫助學生獲得科學家的概念，以產生有意義的學習。

郭重吉（1988）表示學生在進行有意義的學習，必須以舊有的概念為基礎，藉由同化、調適等過程和新訊息產生交互作用，來獲取新的學習；他引用皮亞傑理論，提出知識的獲得是個體利用已存在的認知結構去同化環境中的訊息，若無法同化，個體就會產生不平衡的認知現象。Stepans（1991）則認為學生持有另有概念的可能來源有六個方面，其中有三方面和教師的教學策略有關，即教師過分強調講述法、只要教就馬上能學到的假設和教師缺乏對於學生的另有概念察覺與興趣；盧秀琴（2004）探討教師不同的教學策略，可能影響中小學學生存有細胞課程的另有概念，發現國中教師多以講述法闡釋細胞課程的概念，有些學生無法理解而存在以直覺、臆測和生活經驗回答問題的另有概念。針對學生另有概念的改進教學，應製造認知衝突情境，使學生的認知結構產生衝突，進而修正學生的另有概念架構；Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog（1982）提出概念改變模式（Conceptual Change Model, CCM），認為學生要發生概念改變必須有四個條件：1.學習者必須對現有概念感到不滿意；2.新的概念必須是可以理解的；3.新的概念必須是合理的；4.新的概念必須是豐富的，可同時解決現在的問題與提供未來探索的工具。張靜儀和余世裕（2002）認為進行概念改變教學時，要以學生的先前概念為中心引出學生的想法，使學生產生概念衝突而覺得有認知調適的需要，再藉由教師以適當的教學策略進行概念改變教學，則能促進學生的概念改變。

基於上述說明，細胞課程是學習生物學的入門之鑰，但國中生對此課程的學習仍產生困難，學生對細胞知識的先存概念和科學家認定的觀點不同，甚至與科學的理論相衝突，但卻深植學生心中，有時在其接受教學後仍根深蒂固，進而形成另有概念，這對學生學習科學概念將形成負面影響（Carlsen & Andre, 1992; Jensen, Wilcox, Hatch, & Somdahl, 1996）；因此建議教師在教學前先了解學生的先前概念或另有概念，使用更適當的教學策略將能幫助學生的學習。有鑑於此，本研究曾探討台灣北部地區國中學生的細胞概念之發展與另有概念，但未探究細胞膜生理現象的概念（盧秀琴, 2003a）；今將探討國中生具有的細胞與細胞膜生理現象之另有概念，藉此尋找概念改變教學的理論依據和教學法，設計「細胞課程」概念改變教學活動並進行教學，探討其成效為何？研究結果除可提供編寫教科書的人參考，重新思考課程題材的編排順序外；也可提供給國中教師應用於細胞課程的教學與補救教學，讓學生獲得更多正確的細胞概念。

二、研究目的

本研究係探討國一學生學習完細胞課程後具有的另有概念，藉此尋找概念改變教學

的理論依據和教學策略，設計「細胞課程」概念改變教學活動並進行教學，探討其成效。因此，本研究探討下列三個問題：1.國中生學習完「細胞課程」後，具有哪些另有概念？屬於哪種類型？2.如何應用概念改變教學的理論依據和教學策略，設計「細胞課程」概念改變教學活動？3.「細胞課程」概念改變教學活動的實驗教學成效為何？教師如何應用以幫助學生獲得科學家的概念？

貳、文獻探討

一、學生概念改變的理論和教學策略探討

(一)學生概念改變的理論與模式

Pfundt 和 Duit（1991）指出學生對學習科學概念感到困難的原因有四：1.受到個人經驗的影響；2.概念本身是抽象的；3.概念本身是複雜的；4.概念本身是微觀的。但根據 Chi（1992）本體論（ontology）觀點，認為另有概念的產生是由於概念錯置在不適當的類別上，如果能將錯置的概念放回正確的位置時，便可產生概念改變。Chi（1992）認為概念改變應分為本體類別內的概念改變與本體類別間的概念改變：1.本體類別內的概念改變是指發生在同一本體樹內上下概念的轉變，而無跨越不同的本體樹；即是同一類別內的概念歸屬改變，這種改變可視為信念的修正（belief revision），大都是因缺乏知識或缺乏練習所致。此種形式的概念重組能夠解釋許多知識的獲得過程，如以增加、刪除、普遍化（generalization）和區分（discrimination）屬性的方式來改變概念結構。因此，Carey（1985）稱這些屬於校正部份和整體的關係者為弱重建（weak restructuring）；Keil（1984）則稱之為非根本（nonradical）的概念改變。2.本體類別間的概念改變是指概念從一本體樹遷徙（migrate）到另一本體樹，此種概念改變就是指個人改變概念所歸屬的本體論類別。Chi（1992）認為科學概念從一本體樹遷徙到另一個本體樹，這種類別間的遷徙才能稱為根本的概念改變，若僅是本體樹內的改變，只能說是一般信念的修正而已。本體類別間的概念改變，對學習者而言是困難的，Chi（1992）認為學生無法了解科學概念並非因為這些概念是複雜、抽象的，而是學生原有素樸想法屬於「事件」，而「事件」基模和待學習的基模彼此具有不相容性，因此個人要放棄原有的觀點或進行同化，是一項相當困難的工作。

對於學生如何產生概念改變，Posner 等人（1982）提出概念改變模式，是為大家所熟悉的，此概念改變模式是根據 Kuhn（1962）和 Lakatos（1970）認識論的論證發展而成的（Duschl & Gitomer, 1991）；他們認為學習是一連串概念改變的過程，學生的概念在新的概念和新的發現交互作用下發生改變，要產生概念改變需滿足下列四個條件：1.學習者必須對現有概念感到不滿意，當同化（assimilation）仍然合理時，學生是不會進行調適（accommodation）的；2.新的概念必須是可以理解的（intelligible），學生才可能進行概念改變；3.新的概念必須是合理的（plausible），雖然新的概念未必一定要為真，但它至少必須具有成真的可能性；4.新的概念必須是豐富的（fruitful），它不僅可解決現在的問題，也能提供未來探索的途徑及作為思考的工具；符合以上四個條件，再透過調適的過程，才能使概念重組達到概念改變的目的。Rumelhart 和 Norman（1981）認為概念改變有三種型態：1.增加（accretion），在既有的知識模組中，不改變之前的主要架構而只是添加新知識；2.調整（tuning），修改既有的知識模組，使它執行、使用時更為順暢、有效與

自動化，也就是拓展基模的意思；3.重建（restructuring），就是知識重組（reorganization）的過程，以獲得更深層的理解與頓悟。Gentner, Brem, Ferquson, Markman, Levidow, Wolff 和 Forbus（1997）也指出概念改變包含三個層次：1.信念修正（belief revision）；2.理論改變（theory change），整體的知識結構有所改變，包含三種改變：(1)舊理論的死亡而產生新理論或新概念（Gopnik & Wellman, 1994）；(2)新理論和概念逐漸演化，舊有的理論自然消失（Wiser & Carey, 1983）；(3)新理論伴隨著概念誕生，但舊有的理論仍原封不動的存在著（Carey, 1985）；3.概念改變，至少需要伴隨局部的調整（locally nonalignable）或不可共量的信念（incommensurable belief）（Carey, 1985; Gentner et. al., 1997）。

(二)學生概念改變的教學策略探討

Duit, Goldberg 和 Niedderer（1991）說明許多研究對學生的迷思概念已有具體的資料呈現，顯示學生學習科學是困難的；邱美虹（2000）綜合國內外學者的研究，提出幾項教學策略作為改進教學、促進學生概念改變的參考：1.CBI（Constraint-Based Interaction）教學（Chi, 1992），2.類比教學（Gentner, et al., 1997），3.科學史的認知分析教學（Nersessian, 1992），4.概念衝突（White & Gunstone, 1992），5.動態評量的運用（Magnusson, Templin, & Boyle, 1997）。本研究則是根據研究的需要，參考國內外學者的研究，整理和本研究相關的「概念改變教學策略」文獻做為探討，說明如下：

Trowbridge 和 Bybee（1990）提出 5E 學習環教學策略，包含：1.參與（engagement），指整個教學活動設計能引起學生的興趣，讓學生樂意參與，從提出問題、定義問題和呈現所產生的矛盾等，引領出所要探討的問題方向。2.探索（exploration），提供足夠的時間進行探索活動，或藉由不同的活動操作，自行建構出和科學家們或是教科書中所呈現的共同概念。3.解釋（explanation），學生對自己的想法提出解釋，教師再以學生的想法為基礎，透過口頭、影片或教學媒體，簡明扼要的介紹科學概念或過程技能。4.精緻化（elaboration），學生建構出屬於個人的理解概念，能應用在新的情境問題中，獲得的科學知識和過程技能可推展至日常生活中。5.評量（evaluation），教師對學生理解的程度進行評量，並提供學生應用科學知識與過程技能的機會，也可讓學生作自我評量，使其更進一步了解自己的學習情況。

類比教學也常應用於概念改變教學中，Brown（1992）指出當學生具有迷思概念時，單以支持性的例子說明原理和應用範圍可能是無效的，若協助學生加入類比則比較能引導出學生的直覺，幫助他們重建新概念；Bean, Singer 和 Cowen（1990）研究圖形類比和寫作的聯結是否可提升學生在生物概念的理解，結果發現學生接受圖形類比教學，比較細胞與工廠之間的關聯性來學習細胞的構造與功能，比僅有圖示配合口頭說明表現出更好的理解。郭人仲、徐順益和王國華（1995）指出類比教學策略在教師面對抽象或困難概念時，常被應用以增進學生對概念的理解；綜合 Gentner（1989）；Gentner 和 Toupin（1986）的說法，類比教學是讓學生透過聯想，把抽象的、未知的事物（研究對象）對比具體的、熟悉的事物（類比對象），依據兩個對象之間存在某種類似或相似的關係，從已知對象具有的某種性質去推論未知對象應具有相應的性質。本研究曾利用 Glynn（1991）發展出的類比教學模式（Teaching with Analogies Model, 簡稱 TWA），包括六個教學步驟：1.介紹科學概念，2.喚起類比概念，3.辨認類比物特質，4.映射相似的特質，

5.導出科學概念的結論，6.指出非類比之處，引導國中生物教師如何有系統的設計「細胞課程」的類比教學活動，幫助學生建構較為抽象、複雜的的科學概念（盧秀琴，2005a）。

綜上所述，符合概念改變模式（CCM）的四個條件說，即學生對現有的概念感到不滿意，而所學習的新概念是合理、可以理解的，並能解決現有的問題，就能促使學生的概念在這些交互作用下發生改變；而 5E 學習環教學策略能提供學生參與、探索、解釋、精緻化和評量的學習歷程，使學生更瞭解自己的學習狀況。因此，本研究將採用概念改變模式作為理論依據，以 5E 學習環教學策略為主，發展「細胞課程」的概念改變教學。

二、國中生學習「細胞課程」的相關研究

(一)國中生產生「細胞課程」的另有概念之探究

國內學者方面，曾千虹和耿正屏（1993）歸納我國中小學學生產生的細胞另有概念主要有：1.人的口腔皮膜細胞是肉色的；2.細胞膜在細胞壁的外面；3.植物細胞都會比動物細胞大；4.神經細胞並不屬於細胞；5.洋蔥表皮細胞含有葉綠體，在顯微鏡底下觀察是綠色的；6.在顯微鏡底下看不到微小的葉綠體。湯清二（1991, 1993）經由訪談而得我國學生之細胞迷思概念主要和曾千虹和耿正屏（1993）的研究相接近，另外尚有：1.動物細胞的細胞核與細胞質都比較大，所以動物細胞比植物細胞大；2.因為動物能移動，所以動物細胞比植物細胞大；3.細胞壁的功能與半透膜很像；4.細胞外的物質往細胞內移動的現象稱為滲透；5.細胞內的物質往細胞外移動稱為擴散。盧秀琴（2003b）利用顯微鏡下的世界兩階層診斷式紙筆測驗（Two-tier multiple choice Instrument of the World under Microscope, 簡稱 TIWM）診斷我國中小學生，並歸納學生產生另有概念的類型有：1.化約類型，如所有的植物細胞都有葉綠體的構造；2.推理不當類型，如多細胞生物的細胞功能較多且會分工合作，故多細胞中的單一細胞較容易獨立生存；3.經驗誤用類型，如蜂窩的大小、形狀都相似，所以是由細胞組成的；4.記憶連結錯誤類型，如只有部分植物細胞有細胞壁，像洋蔥表皮細胞就沒有細胞壁；5.認知錯誤類型，如液胞中含有葉綠素，是進行光合作用的構造。

國外學者方面，Novak 和 Gowin（1984）認為學生在「細胞的組成層次」方面產生另有概念，是因為學生不瞭解各個部位的組成階層，因此無法判定其層次關係。Tanner 和 Allen（2005）引述 Chui 和 Chi 的實驗，對 22 名國二學生進行平衡過程概念（Equilibration Process, 簡稱 EP）屬性之「擴散」概念的研究發現，只有少數學生說明在平衡狀態下，分子仍不斷的運動以維持平衡，學生傾向事件屬性中的「目的導向」和「終止」的特質來解釋擴散現象。美國科學教育改革強調學生對於概念性的理解，如：學生不知道細胞呼吸作用的化學反應和生物體需要從食物收穫能量，就不能深刻理解 Krebs 循環的化學反應，多數學生只會引述書本的知識當作已經理解（American Association for the Advancement of Science, 2001）。

(二)國中「細胞課程」的教學改進之探討

Bean 等人（1990）針對「細胞的構造與功能」進行準實驗法研究，教學設計是以圖形類比將細胞的構造與功能類比為一座工廠，經由類比教學，引導學生比對工廠的部門、工作內容和細胞的構造、功能之間的相似性；結果顯示學生接受圖形類比的引導教學，在學習細胞構造與功能的概念，比僅有

利用圖形呈現配合口頭解說，表現出更好的理解力。Novak 和 Gowin（1984）提出概念構圖能幫助學生了解知識的構造及產生的過程，此即後設認知的學習；Novak（1991）提出概念構圖一方面可以讓學生對「細胞到個體」的知識做概念分析，另一方面可以培養有效的學習方法以理解自己的認知歷程。Novak（1991）對科學教師辦理概念構圖的研習，發現學習過概念構圖的教師，可以更精簡的呈現出摘要，確實幫助學生更有效率的學習知識。故概念構圖是一種有意義的學習方式，綜合學生自己應具備的知識表徵及應用、後設認知經驗、技能、認知活動的監控及調整，思索如何建構「細胞的組成層次」的概念階層（Wandersee, 1986）。

對於細胞的生理現象方面，Marek 等人（1994）的研究發現有 62.5% 的高中生不瞭解擴散作用的定義而產生另有概念；Marek 等人（1994）以「教學模組」進行擴散作用的改進教學研究，即實驗組採用學習環的方式教導擴散的概念，學習環包含三個階段：探索、概念建立和應用；配合三個實驗操作：氨氣在空氣中擴散、高錳酸鉀在水中擴散和二氧化碳自空氣擴散到水中；最後閱讀有關紅血球細胞擴散與滲透作用的描述文章並回答問題。對照組採用傳統講述的方式教導擴散的概念，也配合相同的三個實驗操作，最後一樣閱讀相同的文章並回答問題。結果顯示實驗組有 94% 的學生在學習環教學實驗後瞭解擴散作用，而使用傳統講述教學的控制組有 58% 的學生瞭解擴散作用，兩者達到顯著差異，顯示學習環教學實驗更有助於學生的學習。

綜上所述，國中學生學習「細胞課程」時所呈現的另有概念，可藉由課室觀察、學生訪談、二階層診斷測驗（TIWM）整理而得；另外，藉由類比教學、概念構圖和學習環的教學設計，都能有效改善學生的另有概念；這些教學策略都將成為本研究設計「細胞課程」概念改變教學的參考依據。

參、研究方法與流程

一、研究設計

首先隨機進入兩位個案教師所教的一班國一班級進行「細胞課程」課室觀察，了解個案教師之教學策略與學生之概念學習，並訪談學生，蒐集學生具有的另有概念；教學完畢後，再以 TIWM 對個案教師所教的所有班級進行前測，整理學生的另有概念；並從這些班級中選取具備同質性的四個班（TIWM 前測成績沒有差異），分為實驗組兩班和對照組兩班；採用準實驗研究設計，如表 1 所示，以班級教學方式進行實驗研究。

二、研究工具

本研究使用盧秀琴（2003b）編製與效化的 TIWM 和 CPOQ（盧秀琴, 2005b）作為偵測國中生對於「細胞課程」的另有概念，其中 CPOQ 是彌補 TIWM 沒有「細胞生理現象」的內容；並以 CCAT（盧秀琴, 2005b）探討國中生對於「細胞課程」正確概念的獲得情形，以 OCCE（盧秀琴, 2005b）深入探討學生對概念的理解程度，是否確實改變其另有概念，或僅是以背誦記憶寫出老師所要的標準答案，出現所謂的雙概念存在情形。其中，OCCE 是以國中生的期中考考卷修改而成，可以說服家長在意學生的在校成績是否有進步，又可以看到學生對於「細胞課程」完整概念的獲得情形。茲將四種研究工具的類型、施測內容、施測目的、研究工具的發展等說明如表 2 所示。

表 1：國中「細胞課程」概念改變教學準實驗研究設計

組別	前測	實驗處理	後測	延宕後測
實驗組	O_1	X	O_2	O_3
對照組	O_4	T	O_5	O_6

O1、O4：表示實驗處理前，兩組學生接受 TIWM、細胞生理現象開放式問卷（Cytophysiological Phenomenon Open-ended Questionaire, 簡稱 CPOQ）前測。

X：表示實驗組接受 6 小時「細胞課程」概念改變教學實驗處理，應用 5E 學習環教學法、類比教學法、概念構圖和實驗做教學。

T：表示對照組接受 6 小時「細胞課程」的再教學，觀看「細胞膜的物質運送」影片。

O2、O5：表示實驗處理後，兩組學生接受 TIWM、細胞課程學習成就測驗（Cell-related Curriculum Achievement Test, 簡稱 CCAT）、細胞相關概念偵測開放式問卷（The Open questionaire of Cell-related Concept-changed Effect, 簡稱 OCCE）後測。

O3、O6：表示實驗處理四週後，兩組學生接受 TIWM、CCAT 之延宕後測。

表 2：研究工具的類型、施測內容、施測目的和信效度的分析

分析項度 \ 研究工具	TIWM	CPOQ	CCAT	OCCE
研究工具類型	兩階層診斷式測驗	開放式問卷	學習成就測驗	開放式問卷
施測內容	細胞的定義	√		√	√
	動植物細胞	√		√	√
	細胞構造與功能	√		√	√
	單多細胞特徵	√		√	√
	生物體組成層次	√		√	√
	細胞生理現象		√	√	√
施測目的		偵測另有概念	偵測另有概念	正確概念獲得情形	探討對概念的理解
研究工具發展的施測樣本		國一學生 214 人	自然科高、中、低學習成就各 3 人	國一學生 534 人	自然科高、中、低學習成就各 3 人
工具發展	建立表面和內容效度	√	√	√	√
	內部一致性	0.85		0.88	
	計分或編碼	答對得 1 分	依學生座號編碼	答對得 1 分	依學生座號編碼

三、研究對象

本研究對象為任教於臺北縣的 F 個案教師和臺北市的 K 個案教師，兩位個案教師在教完「細胞課程」後，所有被教的國一班級接受 TIWM 測驗，根據施測結果選擇同質性的四個班級，當做實驗組與對照組；臺北市和台北縣各一班當作實驗組，共 73 名學生，台北縣的這一班剛好是課室觀察的班級；臺北市和台北縣各一班當作對照組，

共 75 名學生，台北市的這一班剛好是課室觀察的班級。根據實驗組學生 TIWM 前測成績分為高分群（前 27%）、中分群和低分群（後 27%），各選出比較願意表達或說明的學生各 5 位作為半結構訪談的對象。在選取學校時，研究者因地域之便做選擇，因此本研究如欲推論到大台北地區以外的學生，必須十分審慎。

四、資料之蒐集與處理

量化資料：包括 TIWM 前測、TIWM、CCAT 後測和延宕後測資料，以 SPSS 10.0 統計軟體進行分析。爲探討實驗教學前後，學生另有概念的變化情形和學習成就得分是否具有顯著差異，以 t 考驗做統計分析，並利用實驗效果量（Effect Size，簡稱 ES），因 ES =（實驗組平均分數 － 對照組平均分數）÷ 對照組標準差，所算出來的值表示實驗組成績比對照組高出幾個標準差，以 z 分配表可查出實驗組學生成就表現，平均落在對照組學生成就表現之百分之幾；以高出 0.4 個標準差以下當作低度 ES，高出 0.4~0.79 個標準差當作中度 ES，高出 0.8 個標準差當作高度 ES（余民寧, 1995; 許瑛玿和謝惠珠, 2004）。

質性資料：包括課室觀察、TIWM、CPOQ、CCAT、OCCE 答題分析、概念改變教學的學習單、評量單、分組討論和學生與教師的半結構訪談等資料；本研究將所有資料彙整後做詮釋性分析，以了解學生具有「細胞課程」的另有概念，學生在概念改變教學中的學習反應為何。為提昇研究的可信賴度（trustworthiness），參與本研究的七位成員先抽取原始資料各自研讀，經過磋商討論取得一致認同的判讀標準後，再審視所有資料；並不斷透過溝通、再評鑑等方式，進行三角校正。

肆、研究結果與討論

一、國中生具有「細胞課程」另有概念、類型分析及另有概念改變教學設計

從課室觀察發現，兩位個案教師多以講述的方式配合課本圖片來說明細胞課程的概念，再定義科學詞彙，依照細胞課程的需要，應用舉例和類比教學加強學生建立概念，最後提問學生是否已學會此概念。課程結束後，從學生的訪談、TIWM 與 CPOQ 蒐集學生具有細胞課程的另有概念，並依照盧秀琴（2003a）的另有概念分類方式作類型分析，根據學生的另有概念類型，以概念改變模式作為理論依據，以 5E 學習環教學策略研發另有概念改變教學設計，結果如表 3 所示。

由表 3 整理的學生另有概念及類型分析，發現個案教師多以教師為中心，以講述法傳遞「細胞課程」的概念，但每個學生對於語言傳遞、課本文字和圖解的理解程度不同，學生較少機會能把自己不成熟的看法說出來，教師也無從診斷學生的另有概念。Shemesh 和 Lazarowitz（1989）認為生物課本大部分以描述性的方式呈現，以致被許多人認為是最容易學習的學科，然而很多學生學習生物概念時多半使用背誦的方法，常造成不能理解的困擾。盧秀琴（2005c）統計出有 10.8~16.2% 的國中學生，其具有細胞課程的另有概念是源自教科書的，建議教師應加強挑選教科書的能力，找出生物教科書的選擇標準，顧及科學概念、圖文說明的配合度和學生起點行為的考量。

根據 Chi（1992）本體論來研發「細胞課程」改變教學設計，屬於本體類別內的概念改變教學設計有：細胞的定義、動植物細胞、細胞的構造與功能、單多細胞生物特徵和生物體的組成層次，以葉子的組成層次做說明如表 4 所示；屬於本體類別間的概念改變教

表 3：國中生具有「細胞課程」的另有概念、類型分析及另有概念改變教學設計

課程內容	學生具有另有概念的細目說明與資料蒐集來源	另有概念類型	另有概念改變教學設計
一、細胞的定義	1.形狀規則、大小相似的構造如蜂窩，是細胞構造。（訪談） 2.人的口腔皮膜細胞是肉色的。（訪談） 3.神經細胞不是細胞，而是其他東西。（訪談） 4.原核生物沒有任何膜狀構造，所以沒有細胞膜。（TIWM）	經驗誤用類型（以生活經驗當成是正確的科學意義）	應用探究式教學法進行細胞的顯微鏡觀察，並進行討論
二、動植物細胞	1 動物細胞比植物細胞大，或植物細胞比動物細胞大。（訪談） 2.植物細胞與動物細胞最大的差別在於：植物細胞都有葉綠體，動物細胞則沒有。（訪談）	化約類型（把多數複雜的概念，簡化成數個簡單概念）	進行細胞的顯微鏡觀察，討論細胞放大與比例尺的關係
三、細胞的構造與功能	1.細胞膜在細胞壁的外面。（訪談） 2.藍綠藻沒有細胞壁，因為只有植物細胞才有細胞壁。（TIWM） 3.細胞質內含有重要的細胞，感覺水水的。（訪談）	記憶連結錯誤（將概念的定義陳述錯誤，或混淆不同類型的概念誤用）	應用實際的動植物細胞模型和藍綠藻圖片，進行圖形類比教學
四、單、多細胞生物特徵	1.多細胞生物的細胞需分工合作，所以細胞較為複雜，而單細胞生物只有一個細胞，較為簡單，因此複雜的細胞較容易生存。（TIWM） 2.單細胞生物的細胞簡單，比較不容易生存。（訪談）	推理不當類型（將相關概念與階層概念誤用）	應用探究式教學法，討論單一細胞可獨立生存的理由
五、生物體的組成層次	1.葉子是由許多型態相同的細胞所組成，所以葉子是一種組織。（TIWM） 2.葉子型態、大小、形狀相似，是由細胞組成的組織。（TIWM） 3.葉子內含有許多構造，所以葉子是一個系統。（TIWM） 4.葉子是一個組織，但因為葉子內含有許多組織，葉子亦是一個器官。（TIWM）	推理不當類型（將相關概念與階層概念誤用）	應用探究式教學法，從葉子橫切面觀察討論葉子的組成層次，進行葉子層次的概念構圖
六、細胞的生理現象	1.細胞內外的濃度差是指細胞內外水的濃度差。（CPOQ） 2.細胞外的物質往細胞內移動的現象稱為滲透，而細胞內的物質往細胞外移動稱為擴散。（CPOQ） 3.有藉擴散作用穿過膜的就叫做滲透作用，沒有藉擴散作用穿過膜的就叫做擴散作用。（CPOQ）	認知錯誤類型（對生物學的概念看法和教科書不一樣）	應用探究式教學法進行細胞的擴散與滲透實驗教學，學習濃度的定義

學設計有細胞的生理現象，說明如表 5 所示。「葉子的組成層次」屬於本體類別內的概念改變，根據學生的另有概念：葉子是一個組織，但因為葉子內含有許多組織，葉子亦是一個器官，究其原因為學生不理解生物體組成層次的定義和之間的關係，為推理不當類型，這屬於同一個本體樹內上下概念的轉變，概念改變教學設計應在於信念的修正（Chi, 1992）。所以採用 1.參與階段：教師引導學生根據自己的認知說明葉子是屬於生物組成層

表 4：本體類別內的概念改變教學設計：「葉子的組成層次」之 5E 學習環檢核

5E 學習環	教師角色	教師提問與學生角色說明
參與（engagement）	1.引起學生的回應，從中發現學生對概念的認識與想法	1-1 提供真實葉片的橫切面圖片作為教學情境引導。 1-2 詢問：葉子是屬於生物組成層次中的哪一個層次？ 1-3 提供榕樹葉橫切面玻片標本，學生進行顯微鏡觀察。
探索（exploration）	1.提出探討的問題，引導學生進行探究 2.教師扮演顧問角色 3.允許學生有充分的思考時間	1. 引導學生討論細胞、組織、器官的定義為何？ 2. 引導學生觀察葉子的表皮組織、葉肉組織、輸導組織等。 3. 引導學生觀察下表皮組織具有幾種不同類型的細胞，它們的形態和功能是否相同？
解釋（explanation）	1.要求學生提出證據與澄清 2.鼓勵學生用自己的話語來解釋概念	1. 學生說明葉子應屬於哪一個生物組成層次？所持的理由為何？有反駁的意見嗎？ 2. 學生舉例說明屬於葉子的細胞層次有哪些細胞？屬於葉子的組織層次有哪些組織？
精緻化（elaboration）	1.鼓勵學生應用概念與技能於新的情境中 2.學生能使用先前提供的科學符號、定義與解釋	1. 學生利用葉片的橫切面圖片，標示出各種細胞、組織和器官的層次。 2. 畫出自己所學習的「葉子的組成層次」之概念構圖，包含細胞、組織和器官等科學概念和連接詞。
評量（evaluation）	1.評量學生的知識與技能 2.尋找學生已改變的想法	1. 請學生在紫背鴨跖草橫切面圖片，標示器官、組織和細胞的位置；寫出葉子屬於何種組成層次。 2. 請學生寫出紫背鴨跖草葉子組成層次的概念構圖。

表 5：本體類別間的概念改變教學設計：「細胞的生理現象」之 5E 學習環檢核

	教師角色	教師提問與學生角色說明
參與（engagement）	1.引起學生反應，從中發現學生對概念的認識與想法	1.病人打點滴時，為何注射生理食鹽水？ 2.人類細胞在生理食鹽水和清水中，各有什麼反應？
探索（exploration）	1.允許學生有充分的思考時間 2.教師扮演顧問角色 3.觀察與聆聽學生間的互動 4.提出問題，引導學生探究	1.學生解釋生理食鹽水比清水適合細胞的原因 2.教師播放「細胞膜的物質運送」之電腦動畫影片 3.引導學生整理「細胞的擴散與滲透」有哪些？ 4.細胞有沒有濃度？為何打點滴時要用生理食鹽水？
解釋（explanation）	1.鼓勵學生用自己的話解釋概念並提出證據與澄清 2.應用學生已理解的概念來進一步解釋	1.學生觀察小黃瓜抹鹽後的現象，引導學生從鹽對小黃瓜細胞的影響，解釋小黃瓜細胞萎縮的原因。 2-1 以 10% 和 0.1% 食鹽水做水蘊藻細胞的滲透實驗，用顯微鏡觀察，先觀察細胞萎縮，再滴 0.1% 食鹽水讓細胞恢復。 2-2 請學生解釋水蘊藻細胞產生形變的原因？
精緻化（elaboration）	1.鼓勵學生應用概念與技能於新情境中	1-1 能說明造成細胞萎縮、細胞恢復的溶液濃度與細胞濃度之關係，並以其他植物細胞做驗證。 1-2 教師以 1% 食鹽水說明溶液、溶質、溶劑、濃度的定義 1-3 學生放聲思考說明如何配置 10% 和 0.1% 的食鹽水
評量（evaluation）	1.評量學生的知識與技能 2.觀察學生應用科學的概念與技能回答問題	1-1 觀察置入 10% 和 0.1% 食鹽水的口腔皮膜細胞，說明細胞各會產生什麼變化。 1-2 解釋原因。 2-2 預測口腔皮膜細胞在 5% 蔗糖溶液中的實驗結果。 2-3 學生繪圖說明細胞的滲透作用。

次中的哪一個層次？再提供榕樹葉橫切面玻片標本，讓學生觀察。2.探索階段：討論細胞、組織、器官的定義為何？學生觀察葉子的表皮組織、葉肉組織、輸導組織，引導說出葉表皮組織具有哪些細胞，依此類推。3.解釋階段：學生用自己理解的語言說出葉子屬於那個層次的證據或經別人的反駁而修正自己的看法。4.精緻化階段：學生能畫出「葉子的組成層次」之概念構圖，包含細胞、組織和器官等科學概念和連接詞。5.評量階段：讓學生在紫背鴨跖草葉橫切面圖片上，標示器官、組織和細胞的位置，寫出葉子屬於何種組成層次。

「細胞的生理現象」屬於本體類別間的概念改變，根據學生的另有概念（表 3），認為學生對於細胞內外的濃度差、細胞的擴散與滲透等定義錯誤，為認知錯誤類型，這必須從相對濃度比較遷徙到細胞膜的特性而產生細胞的擴散或滲透概念，對學生是困難的（Chi, 1992）。所以採用 1.參與階段：引導學生討論病人打點滴時，為何注射生理食鹽水？思考細胞和生理食鹽水的關係。2.探索階段：播放「細胞膜的物質運送」之電腦動畫影片，引導學生整理「細胞的擴散與滲透」。3.解釋階段：學生觀察小黃瓜抹鹽後的現象和植物細胞的滲透實驗，並解釋原因。4.精緻化階段：學生說明細胞萎縮、細胞恢復的溶液濃度與細胞濃度之關係。5.評量階段：學生能預測口腔皮膜細胞在 5% 蔗糖溶液中的實驗結果，以及繪圖說明細胞的滲透作用。

二、國中「細胞課程」概念改變教學成效的分析

為診斷兩組學生再學習「細胞課程」後，獲得的科學概念是否有改變，改變是否受到學生成熟效應的影響，利用兩組學生的 TIWM 前測、後測和延宕後測得分進行 t 考驗，結果如表 6 所示。

由表 6 知道，實驗組學生的 TIWM 後測平均得分高於前測平均得分，達到顯著差異（$t = 4.161$，$p < 0.01$）；對照組學生的前後測成績則沒有差異；表示接受「細胞課程」概念改變教學的學生獲得較多的科學概念，而使用一般講述法的再教學，學生沒有獲得較多的科學概念。兩組學生在 TIWM 後測、延宕後測得分均不具顯著差異，顯示兩組學生的「細胞課程」概念獲得並未受到成熟效應的影響。另外，為診斷實驗教學後，兩組低、中、高分群學生之間的 TIWM 得分是否具有顯著差異，將兩組低、中、高分群學生之 TIWM

表 6：實驗組與對照組學生在 TIWM 測驗前測、後測和延宕後測得分之分析

組別	測驗	人數	平均數	標準差	t	自由度	P
實驗組	教學前前測	73	15.40	5.42	4.161	144	0.000**
	教學後後測		19.05	5.20			
對照組	教學前前測	75	16.32	5.52	0.396	148	0.693
	教學後後測		15.95	6.03			
實驗組	教學後後測	73	19.05	5.20	0.480	144	0.632
	延宕後測		19.47	5.15			
對照組	教學後後測	75	15.95	6.03	0.817	148	0.415
	延宕後測		16.80	6.74			

**$p < 0.01$

後測得分進行獨立樣本 t 考驗，並計算實驗效果量（簡稱 ES），所得結果如表 7 所示。

由表 7 發現，實驗組的總人數、中、低分群學生，其 TIWM 後測平均得分高於對照組的學生，達到顯著差異（t = 3.355, t = 2.770, t = 3.223, $p < 0.01$）；高分群學生則否。從 ES 知道，在經過概念改變教學後，實驗組學生的 TIWM 後測得分進步超過對照組學生 0.51 個標準差，達到中度實驗效果，實驗組中、低分群學生的 TIWM 後測得分進步各超過對照組學生 0.62、1.00 個標準差，達到中度到高度的實驗效果。為進一步了解實驗組高、中、低分群學生進行概念改變教學後的進步差異，將實驗組高、中、低分群學生在 TIWM 前測、後測、延宕後測得分做比較，結果如圖 1 所示。

從圖 1 發現，經過概念改變教學後，實驗組學生的 TIWM 後測得分都比前測得分增加，低分群學生增加最多，中分群學生其次，而高分群學生增加最少。經過一個月後，發現高分群學生的 TIWM 延宕後測得分增加，表示可能受到成熟作用的影響；中、低分群學生則沒有影響。爲彌補 TIWM 無法檢測「細胞的生理現象」，設計 CCAT 作為補救，為了解兩組學生再學習「細胞課程」後，對於「細胞課程」的學習成就是否有差異，利用兩組低、中、高分群學生的 CCAT 得分進行獨立樣本 t 考驗，並計算實驗效果量，結果如表 8 所示。

從表 8 發現，經過概念改變教學後，實

表 7：教學後實驗組和對照組學生的 TIWM 後測得分比較之分析

測驗	得分群組	組別	人數	平均數	標準差	t	ES	P
教學後後測	總人數	實驗組	73	19.05	5.20	3.355	0.51	0.001**
		對照組	75	15.95	6.03			
	高分群	實驗組	20	21.90	3.34	1.360	0.36	0.182
		對照組	20	20.00	5.28			
	中分群	實驗組	33	20.18	4.73	2.770	0.62	0.007**
		對照組	35	17.17	4.23			
	低分群	實驗組	20	14.35	4.42	3.223	1.00	0.003**
		對照組	20	9.75	4.61			

**$p < 0.01$

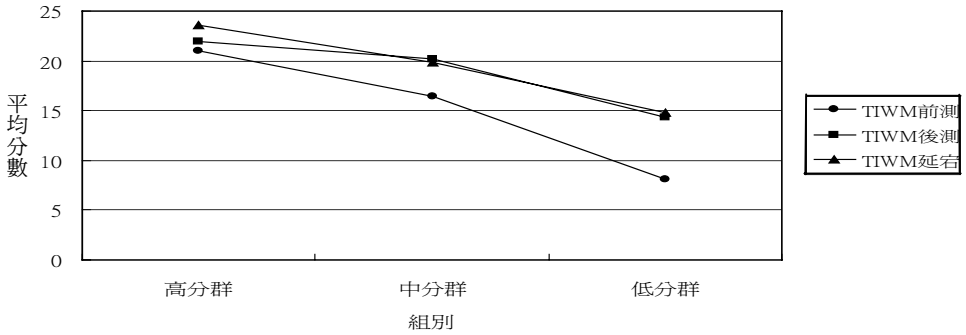

圖 1：實驗組高、中、低分群學生在 TIWM 的各種測試比較

表 8：教學後實驗組和對照組學生在 CCAT 得分比較之分析

測驗	得分群組	組別	人數	平均數	標準差	t	ES	P
教學後後測	總人數	實驗組	73	29.85	8.69	2.470	0.39	0.015*
		對照組	75	26.13	9.57			
	高分群	實驗組	20	35.45	6.30	1.511	0.35	0.139
		對照組	20	32.35	6.67			
	中分群	實驗組	33	30.79	7.86	1.476	0.34	0.145
		對照組	35	27.77	8.92			
	低分群	實驗組	20	22.70	7.37	2.633	0.92	0.012*
		對照組	20	17.05	6.14			

*$p < 0.05$

驗組的總人數和低分群學生，其 CCAT 平均得分高於對照組的學生，具有顯著差異（t = 2.470, t = 2.633, $p < 0.05$），中、高分群學生則否。從 ES 知道，實驗組學生的 CCAT 得分進步超過對照組學生 0.39 個標準差，達到低度實驗效果。實驗組低分群學生的 CCAT 得分進步超過對照組低分群學生 0.92 個標準差，達到高度實驗效果。經過概念改變教學後，為了解實驗組學生在「細胞課程」的每個另有概念改善情形，從學生訪談、TIWM 前測、CPOQ 等資料統計出學生原本具此另有概念之總人數百分比，再從 TIWM 後測、CCAT 後測和 OCCE 等資料統計學生後來具此另有概念之總人數百分比，並比較減少另有概念之低、中、高分群佔總人數百分比；整理如表 9 所示。

從表 9 發現，經過概念改變教學後，學生獲得修正較多的另有概念有：1.多細胞生物的細胞需要分工合作，每個細胞較為複雜，較單細胞生物容易生存（39.5%）；2.動物細胞比植物細胞大，或植物細胞比動物細胞大（24.8%）。學生修正較少的另有概念有：1.植物細胞都有葉綠體，動物細胞則沒有（0%）。2.原核生物沒有任何膜狀構造，穿過膜的就叫做擴散作用（6.9%）。而減少另有概念佔總人數百分比最多的是低分群，而高分群佔最少，因為高分群學生原本具有的另有概念，比例就比中、低分群學生少很多。最後，比較本體類別內的概念改變教學：葉子的組成層次，和本體類別間的概念改變教學：細胞的生理現象，為了解實驗組與對照組學習成果的差異，將 CCAT 這兩項成績進行兩組獨立樣本 t 考驗，結果如表 10 所示。

從表 10 發現，本體類別內的概念改變教學：葉子的組成層次，實驗組學生平均得分高於對照組學生，達到顯著差異（t = 2.538, $p < 0.05$）；本體類別間的概念改變教學：細胞的生理現象，兩組學生平均得分沒有差異。

三、國中「細胞課程」概念改變教學的詮釋性分析

從前面量的研究發現，本體類別內的概念改變教學，實驗組學生能夠更正另有概念優於對照組學生，而本體類別間的概念改變教學，兩組學生能更正另有概念則沒有差異。現在嘗試從詮釋性分析做解釋：

1.本體類別內的概念改變教學詮釋性分析（以葉子的層次為例）：

實驗組：教師引導學生觀察榕樹葉橫切

表 9：實驗組學生概念改變教學實施前後學生另有概念人數百分比

課程內容	學生具有細胞課程的另有概念細目	原本具此另有概念之總人數百分比（%）	後來具此另有概念之總人數百分比（%）	前後減少另有概念之總人數百分比（%）	減少另有概念之低分群佔總人數百分比（%）	減少另有概念之中分群佔總人數百分比（%）	減少另有概念之高分群佔總人數百分比（%）
細胞的定義	1.形狀規則、大小相似的構造是細胞。	17.2	2.7	14.5	7.5	5.5	1.4
	2.人的口腔皮膜細胞是肉色的。	17.2	9.6	7.6	5.5	2.1	0.0
	3.神經細胞不是細胞，而是其他東西。	17.2	9.6	7.6	5.5	2.1	0.0
	4.原核生物沒有任何膜狀構造，沒有細胞膜。	11.6	8.2	3.4	2.1	1.4	0.0
動植物細胞	1.動物細胞比植物細胞大，或植物細胞比動物細胞大。	33.0	8.2	24.8	12.4	8.2	4.1
	2.植物細胞都有葉綠體，動物細胞則沒有。	25.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0
細胞構造與功能	1.細胞膜在細胞壁的外面。	20.0	6.3	13.7	9.6	4.1	0.0
	2.藍綠菌沒有細胞壁，因為只有植物細胞才有細胞壁。	55.5	39.9	15.6	10.2	4.1	1.4
	3.細胞質內含有重要的細胞，感覺水水的。	17.2	10.9	6.3	4.9	1.4	0.0
單多細胞生物特徵	1.多細胞生物的細胞需分工合作，單一個細胞較為複雜，較單細胞生物容易生存。	50.0	10.5	39.5	20.5	13.6	5.5
	2.單細胞生物的細胞簡單，比多細胞生物的細胞不容易生存。	33.0	10.5	22.5	12.3	8.2	1.9
生物體組成層次	1.葉子由型態相同的細胞組成，是一種組織。	29.1	9.5	19.6	12.3	5.5	1.9
	2.葉子形態、大小、形狀相似，所以是組織。	17.2	9.5	7.7	5.5	2.2	0.0
	3.葉子內有許多構造，葉子是一個系統。	28.0	8.2	19.8	12.3	5.5	1.9
	4.葉子是一個組織，葉子亦是一個器官。	20.0	12.3	7.7	5.5	2.2	0.0
細胞的生理現象	1.細胞內外的濃度差是指細胞內外水的濃度差	78.4	67.5	10.9	2.7	5.5	2.7
	2.細胞外物質往細胞內移動稱為滲透，而細胞內物質往細胞外移動稱為擴散。	26.0	11.0	15.0	6.8	6.8	1.4
	3.有藉擴散作用穿過膜的就叫做滲透作用，沒有藉擴散作用穿過膜的就叫做擴散作用。	15.1	8.2	6.9	4.1	1.4	1.4

面，討論細胞、組織、器官的定義，在課堂上不斷放聲思考討論教學後，學生逐漸了解細胞、組織、器官的定義和層次關係，能說出葉子具有表皮、葉肉、輸導組織，所以屬

表 10：教學後實驗組和對照組學生在 CCAT 試題兩個項度後測得分之 t 考驗

內容	組別	題數	人數	平均數	標準差	t	P
葉子組成層次	實驗組	7	73	4.84	2.17	2.538	0.012*
	對照組		75	3.93	1.15		
細胞生理現象	實驗組	11	73	4.81	2.72	1.346	0.180
	對照組		75	4.20	2.78		

*$p < 0.05$

於器官層次。從概念構圖學習單的分析，發現有 67.1% 的學生能正確畫出葉子組成層次的概念構圖，標示出葉是器官，下面有表皮、葉肉、輸導組織，表皮組織下面有表皮細胞、保衛細胞；有 31.4% 的學生只畫出兩項，都屬於中、低分群學生。從學生圈選鴨跖草葉的器官、組織與細胞位置分析，50.7% 的學生完全正確，都屬於高、中分群學生；多數學生能圈選一整片葉子為器官，一個細胞為細胞，但仍有 12.3% 學生把葉的橫切面圈成組織，屬於低分群學生；對此進行學生訪談，發現學生認為葉的橫切面有不同細胞是組織，下表皮有一層細胞是細胞。對整個教學訪談個案教師，表示放聲思考討論教學確實可幫助一些低成就的學生再次釐清概念，但學生不熟悉概念構圖的繪製，因此在進行教學前，需先教導概念構圖，否則收不到成效；學生無法將葉橫切面照片與課本的葉橫切面圖做聯結，若能將課本的手繪圖放在一旁供學生隨時對照，效果可能更好。引述訪談學生和教師的資料做說明：

Inv：你圈選的這整個葉橫切面，你為什麼認為它是組織呢？

$S_{2,26,28,43}$：葉的橫切面有很多不同的細胞，所以是組織。

Inv：那這一排下表皮是屬於哪個層次？

$S_{2,26,28,43}$：細胞，下表皮有一層表皮，都是表皮細胞。（訪談學生，940316）

Inv：你覺得葉子的組成層次概念改變教學設計，是否達到成效？

T_1：利用放聲思考討論教學，讓學生不斷討論，同學教同學，確實可幫助一些低成就的同學，將另有概念澄清過來。

Inv：那概念構圖教學有幫助嗎？

T_2：當然有幫助，但我建議在教之前，就應該先教學生如何畫概念構圖，學生才能真正應用概念構圖表達自己的看法，否則手忙腳亂，收不到成效。

Inv：你覺得還有什麼地方需要改進？

T_1：學生無法將葉橫切面照片與課本的手繪圖做聯結，若能將課本的手繪圖放在一旁供學生對照，效果可能更好。（訪談教師，940409）

對照組：教師配合課本的圖示，舉例說明細胞、組織、器官的定義，再把課本的圖例一一問學生，讓學生回答並解釋理由。從 TIWM、CCAT 和 OCCE 的答題分析發現，仍有 17.2% 的學生認為葉子是由許多型態相同的細胞所組成，是一種組織；有 28.0% 的學生認為葉子是由很多各種不同型態的細胞所組成，是一種組織。

2.本體類別間的概念改變教學詮釋性分析（細胞的生理現象）：

實驗組：考慮學生沒學過濃度，不理解細胞的擴散、滲透跟細胞內外的濃度差有關；教師引導學生思考和解釋為何病人要注射生理食鹽水，結果有學生回答：因為生理食鹽水的濃度和細胞的濃度相同。而播放「細

胞膜的物質運送」影片後，有 68.4% 學生能說明 O_2 和 CO_2 在細胞膜進行擴散交換。接著觀察小黃瓜抹鹽實驗和水蘊藻細胞形變實驗後，有 16.3% 學生說明鹽分子不能自由進出細胞膜，水跑出來平衡。從學習單作答分析，發現有 74.2% 的學生能舉出細胞的擴散例子，但僅有 16.3% 的學生能正確標出細胞內外的濃度差和畫出水進行的方向，有 58.1% 的學生畫不出來；對此進行學生訪談，發現學生不了解這個題目要寫什麼，好像很複雜的樣子。最後，預測口腔皮膜細胞在 5% 蔗糖溶液的實驗，有 58.3% 的學生知道細胞會萎縮，有 19.4% 的學生認為細胞會擴大，有 22.3% 的學生認為細胞會死亡。從 OCCE 問卷分析，為細胞的滲透作用下操作型定義，有 35.5% 的學生回答:「水通過細胞膜且濃度高的往濃度低的地方移動」，有 16.1% 的學生回答:「當細胞中濃度比外面低，外面的水會滲透到裡面，若細胞中濃度比外面高，則裡面的水會滲透到外面」，學生指的濃度是「水的濃度」，顯示學生對於濃度的概念仍一知半解，無法將溶質與溶劑分清楚。

最後訪談個案教師，表示小黃瓜抹鹽巴和口腔皮膜細胞在蔗糖液的實驗簡單明瞭，讓學生真實感受到滲透作用，「細胞膜的物質運送」影片讓學生瞭解 Cl^- 和 Na^+ 無法通過細胞膜，依賴水分子的移動平衡濃度差，對於不了解濃度定義的學生有澄清概念的效果；但學生對於滲透作用的定義仍不完整，需經老師不斷引導，學生才能說出是水通過細胞膜的移動，不論是從細胞內往細胞外或細胞外往細胞內移動，都為滲透作用。學生對於濃度的定義仍模糊，但他們知道濃度高的會往濃度低的地方移動，所以用「水的濃度」去思考回答問題，對他們而言比較容易。引述訪談教師的資料做說明：

Inv：你覺得探究式的實驗教學設計，對學生另有概念的改變是否有效？

T_1：小黃瓜抹鹽巴的實驗簡單明瞭，讓學生看到水從小黃瓜中流出來，就能真實感受到滲透作用，口腔皮膜細胞在蔗糖液的實驗也具有相同的效果。

Inv：那「細胞膜的物質運送」影片對學生有幫助嗎？

T_2：有，從電腦動畫中，學生看到 Cl^- 和 Na^+ 無法通過細胞膜，依賴水分子的移動來平衡，對於不了解濃度定義的學生有澄清概念的效果。

Inv：學生為滲透作用下操作型定義，為什麼都用「水的濃度」在思考回答？

T_2：學生還是不了解滲透作用，需要不斷提醒，他們才能說出水通過細胞膜的移動，不論是往細胞內或往細胞外，都叫做滲透作用。學生對於濃度也是一知半解，他們知道濃度高的會往濃度低的地方移動，所以用「水的濃度」去思考回答問題，對他們而言比較容易。（訪談教師，940423）

對照組：觀看「細胞膜的物質運送」影片後，利用課本圖片再講解細胞的擴散作用，舉例氣體分子由擴散作用通過細胞膜；再講解細胞的滲透作用，舉例紅血球細胞在不同濃度溶液中的細胞型態變化。從 CCAT 和 OCCE 的答題分析發現，有 17.3% 學生仍回答細胞外物質往細胞內移動稱為滲透，而細胞內物質往細胞外移動稱為擴散，有 53.3% 學生認為水會從高濃度往低濃度移動而進出細胞膜，以「水的濃度」思考回答。

四、綜合討論

根據 Chi（1992）的本體論，「葉子組成層次」概念改變教學屬於同一類別內的概念改變，學生的另有概念是因混淆「生物體組成層次」所致，屬於推理不當類型，故以

觀察榕樹葉橫切面標本，定義細胞、組織和器官等科學辭彙和層次關係，讓學生用概念構圖自行建構所學得的知識，以增加和區分等方式來獲得信念的修正，屬於弱重建（Carey, 1985; Gentner, et al., 1997）。即針對學生認為「葉子是組織」的另有概念，以觀察榕樹葉橫切面標本製造認知衝突，學生原本認為葉子形態、大小、形狀相似，所以是組織；教學後，學生發現葉子內含有表皮組織、葉肉組織和疏導組織，所以葉子是由許多組織組成的器官，這符合概念改變模式所提出的學生對現有概念感到不滿意，新的概念必須是可以理解而合理的（Posner, et al., 1982），所以學生能修正「葉子是組織」的另有概念。

事實上，學生持有另有概念可能起源於教師過分強調講述法、認為只要教就馬上能學到的假設，當教師的應該謹慎（Stepans,1991; 盧秀琴, 2004）。本研究還有其他屬於類別內的另有概念，如動物細胞比植物細胞大，或植物細胞比動物細胞大等另有概念，則概念改變教學呈現各種動植物細胞的顯微照片和放大倍率，讓學生自行在電腦操作，將照片放大或縮小成相同的倍率，學生即能修正自己原來的觀點，知道細胞依照它的功能而呈現其特殊的型態和大小。像這樣，屬於信念修正的概念結構改變，只要教師能分析學生的先前概念和另有概念，好好設計相關知識層次的建構方法，學生就能將另有概念修正為科學家的概念。

「細胞的生理現象」屬於本體類別間的概念改變教學，因為細胞的擴散與滲透概念需要溶液、濃度和滲透壓做基礎，這些課程被安排在國二的化學課程（教育部, 2003），但「細胞的生理現象」安排在國一生物課程，故學生背景知識不夠，雖然使用探究式實驗教學，學生學會比較細胞內外的濃度，但也只能認識表象的細胞生理現象，如小黃瓜抹鹽巴、細胞浸在食鹽水造成細胞萎縮，稱為細胞的滲透，但無法說明真正理由，如標出細胞內外的濃度差和畫出水進出細胞的方向，造成學生以自己的生活經驗回答問題，如以「水的濃度」思考細胞滲透水流的方向，也無法理解細胞的擴散與滲透進行平衡過程的概念（Tanner & Allen, 2005）。學生感到學習「細胞的生理現象」困難的原因是因為這些概念具有不同的基模，必須有溶液、濃度、細胞膜特性和滲透壓做基礎，才能理解物質的性質是否能直接穿過細胞膜則依賴擴散作用，物質不能直接穿過細胞膜，使水在細胞內外流動而造成細胞的滲透；這是跨越本體類別間的概念改變，學生原有素樸想法和待學習的基模是不相容的，故學生要放棄原有的觀點是相當困難的（Pfundt & Duit, 1991; Chi, 1992）。Gopnik 和 Wellman（1994）說明知識重組的過程，讓學生獲得深層的理解，需要舊理論的死亡而產生新理論；學生要真正理解細胞的擴散與滲透，需要有溶液、濃度和滲透壓的背景知識，故建議將「細胞的生理現象」放在化學課程談及溶液、濃度和滲透壓時，一起做討論，學生較能理解這些概念；否則，學生只能強記背誦回答問題，因而容易產生記憶連結錯誤和認知錯誤類型之另有概念。

伍、結論與建議

一、結語

本研究從學生訪談、TIWM 與 CPOQ 等資料分析，發現學生具有「細胞課程」的另有概念，分別屬於經驗誤用類型、化約類型、記憶連結錯誤類型、推理不當類型和認知錯誤類型。接著，本研究以概念改變模式為依據，使用 5E 學習環教學策略，搭配類比

教學、概念構圖和實驗等設計「細胞課程」的概念改變教學活動，舉例本體類別內的概念改變教學設計：「葉子的組成層次」，和本體類別間的概念改變教學設計：「細胞的生理現象」做說明以呈現 5E 學習環的特色；並採用準實驗研究設計，以班級教學方式進行實驗研究。研究結果顯示，從TIWM、CCAT的資料分析，使用「細胞課程」概念改變教學的實驗組學生能獲得較多的科學概念，而使用一般講述法的再教學，無法使學生獲得較多的科學概念。在經過概念改變教學後，實驗組學生在 TIWM、CCAT 得分進步超過對照組學生 0.51 和 0.39 個標準差，達到中度與低度的實驗效果量；本概念改變教學設計對於中、低分群學生具有顯著的效果，尤其是低分群學生，但對高分群學生則沒有顯著差異。

詮釋本體類別內的概念改變教學成效：「葉子的組成層次」，發現以觀察榕樹葉橫切面標本做放聲思考討論和概念構圖，確實可使中低成就的學生產生認知結構的衝突，進而幫助他們釐清概念，但在進行教學前教師需先教導學生概念構圖，否則收不到成效。另外，詮釋本體類別間的概念改變教學成效：「細胞的生理現象」，發現這些概念需要溶液、濃度和滲透壓做基礎，配合細胞膜特性和物質的性質說明才能讓學生理解；雖然教師使用探究式實驗教學，學生只能了解表象的細胞生理現象，如小黃瓜抹鹽巴、細胞浸在食鹽水，造成細胞萎縮是屬於細胞的滲透，但無法說明真正原因，如標出細胞內外的濃度差和畫出水進出細胞膜的方向；由於學生背景知識的不足，會以自己的生活經驗回答問題，如以「水的濃度」思考水進出細胞膜的方向。

二、建議

本研究發現個案教師多以教師為中心，以講述法傳遞「細胞課程」的概念，但學生對於語言傳遞、課本文字和圖解的理解程度不同，而造成不能理解的困擾，但限於教學時數的關係，促使大多數的生物教師依舊選擇一般講述教學當作主要的教學策略；故建議教師應加強挑選教科書的能力，顧及科學概念、圖文說明的配合度和學生的起點行為。

教師在進行「細胞課程」教學前或想進行補救教學時，可參考本研究整理的學生可能具有的先前概念和另有概念，也可參考本研究的概念改變教學設計，選擇性的加在自己的課程設計中，如：比較動植物細胞大小時，可進行動植物細胞電腦放大相同倍率做比較；教學細胞的定義，細胞的構造與功能時，可參考本研究設計的模型類比；葉子組成層次的放聲思考討論和概念構圖能幫助學生建立生物體組成層次；對於較難的「細胞的生理現象」，則建議放在國二化學課程，上到溶液、濃度和滲透壓時一併做討論，或建議教師採用探究式實驗操作，嘗試增加學生的背景知識，如以電腦輔助動畫教學，說明溶液與濃度，各種物質分子、離子的性質，如何進出細胞膜，造成水流方向的平衡過程，則能增進學習的成效。

致　　謝

本研究能夠順利完成，首先感謝行政院國家科學委員會的經費支持（NSC 93-2511-S-152-008）；其次，感謝鄭湧涇教授和黃啟穎教授的指導，兩位國中個案教師的支援教學，四間台北縣市國中班級學生的配合；最後，感謝本研究群的辛苦參與，幫忙建立 CCAT、CPOQ、OCCE 的信效度、個案學生、個案教師的訪談資料。

參考文獻

1. 邱美虹（2000）：概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊**, **8**(1), 1-34。
2. 余民寧（1995）：**心理與教育統計學**。台北：三民。
3. 郭人仲、徐順益、王國華（1995）：國中生物概念的類比學習之研究。**科學教育**, **9**, 51-65。
4. 郭重吉（1988）：從認知的觀點探討自然科學的學習。**教育學院學報**, **13**, 325-378。
5. 許瑛玿、謝惠珠（2004）：應用概念改變教學策略在颱風常識的學習。**台灣師大學報**, **49**(1), 15-40。
6. 教育部（2003）：**國民中小學九年一貫課程綱要-自然與生活科技學習領域**。台北：教育部。
7. 張靜儀、余世裕（2002）：國小學童對聲音迷思概念之研究。**屏東師院學報**, **16**, 395-434。
8. 曾千虹、耿正屏（1993）：國小、國中及高中學生之細胞概念發展。**科學教育**, **7**, 157-182。
9. 湯清二（1991）：我國學生自然科概念發展與診斷教學之研究：生物細胞概念發展(一)。**彰化師範大學學報**, **2**, 489-515。
10. 湯清二（1993）：我國學生生物細胞概念發展研究—迷思概念之晤談與概念圖。**彰化師範大學學報**, **4**, 141-170。
11. 盧秀琴（2003a）：台灣北部地區中小學學生的顯微鏡操作技能與相關概念之發展。**國立台北師範學院學報-數理科技教育類**, **16**(2), 161-186。
12. 盧秀琴（2003b）：顯微鏡下的世界兩階層診斷式紙筆測驗的發展與效化。**國立台北師範學院學報-數理科技教育類**, **16**(1), 112-136。
13. 盧秀琴（2004）。不同教學策略影響中小學學生學習顯微鏡相關課程之探究。**國立台北師範學院學報**, **17**(1), 147-172。
14. 盧秀琴（2005a）：中小學「細胞概念類比測驗」的發展與效化。**國立台北師範學院學報-數理科技教育類**, **18**(1), 87-116。
15. 盧秀琴（2005b）：**國高中「細胞與細胞生理現象」的教學模組發展研究**(I)。國科會 93 年專題研究計畫成果報告。國科會編號：NSC 93-2511-S-152-008.
16. 盧秀琴（2005c）：探討教科書與中小學學生學習細胞相關概念的關係。**科學教育學刊**, **13**(4), 367-386。
17. American Association for the Advancement of Science. Washington, DC: AAAS; (2001). Atlas of Science Literacy.
18. Bean, T. W, Singer, H, & Cowen, S.(1990). Learning concepts from biology text through pictorial analogies and an analogical study guide. *Journal of Educational Research*, *83*(4), 233-237.
19. Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, *29*(1), 17-34.
20. Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Cambridge, Mass: The MIT press.
21. Carlsen, D. & Ander, T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome student preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, *19*(4), 105-109.
22. Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in sciences. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science :*

Minnesota studies in the philosophy of science (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.

23. Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2003). Biology concepts & connections (6th ed.). San Francisco: Benjamin Cummings Company press.
24. Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H. (1991). Towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4-8.
25. Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. J*ournal of Research in Science Teaching*, 28, 839-858.
26. Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosoniadou & A. Ortony (eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). New York: Cambridge University Press.
27. Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similitive in the development of analogy. C*ognitive Science*, 10, 277-300.
28. Gentner, D., Brem, S., Ferguson, R. W., Markman, A B., Levidow, B.B., Wolff, P., & Forbus, K.D. (1997). Analogical reasoning and conce-ptual change: A case study of Johannes Kepler. *The Journal of the Learning Sciences*, 6, 13-40.
29. Gilbert, J. K. & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
30. Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies (TWA) model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219-240). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
31. Gopnik, A. & Wellman, H. M. (1994). The theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture*, 257-293. Cambridge: Cambridge University Press.
32. Jensen, M. S., Wilcox, K. J., Hatch, J. T. & Somdahl, C. (1996). A computer-assisted instruction unit on diffusion and osmosis with a conceptual change design. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *15*(1/2), 49-64.
33. Keil, F. (1984). Semantic and conceptual development: *An ontological perspective. Cambridge*, MA: Harvard University Press.
34. Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
35. Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmers. In I.Lakatos, & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth and the knowledge* (pp. 91-195). Cambridge: Cambridge University Press.
36. Magnusson, S. J., Templin, M., & Boyle R. A.(1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. *The Journal of the Learning Science*, *6*(1), 91-142.
37. Marek, E. A., Cowan, C. C., & Cavallo, A. M. L. (1994). Students' misconceptions about diffusion: how can they be eliminated? The

American Biology Teacher, *56*(2), 74-77.

38. Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science Minnesota studies in the philosophy of science*. Vol. 15. Minneapolis: University of Minnesota Press.
39. Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps. *Science Teacher*, *58*(7), 45-49.
40. Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, London: Cambridge University Press.
41. Pfundt, F. & Duit, R. (1991). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. (3rd ed.). Keil, West Germany: IPN.
42. 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.
43. Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In R. Klatsky & J. W. Cotton (Eds.), *Semantic factors in cognition*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
44. Shemesh, M. & Lazarowitz, R. (1989). Pupils' reasoning skills and their mastery of biological concepts. J*ournal of Biological Education*, *23*(1), 59-63.
45. Stepans, J. I. (1991). Developmental in students' understanding of physics concepts. In S. M. Glynn, R. J. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 261-275). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
46. Tanner, K. & Allen, D. (2005). Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers-teaching toward conceptual change. *Cell Biology Education*, *4*(2), 112-117.
47. Trowbridge, J. H., & Bybee, R. W. (1990). Applying standards-based constructivism: *A two-step guide for motivating students*. New York: Cambridge University Press.
48. Wandersee, J. H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, *23*(7), 581-597.
49. White, R., T. & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
50. Wiser, M. & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.

A Study of Conceptual Change Teaching Activities for the Lesson of Cell Curriculum in Junior High School

Chow-Chin Lu[1] and Li-Yen Huang[2]

[1]Department of Natural Science Education,
National Taipei University of Education
[2]Taipei County Chung-Ho Elementary School

Abstract

To develop the conceptual change teaching activities, firstly, this study analyzed the types of alternative conceptions of the lesson of cell, and then applied the following teaching strategies to curriculum design, the conceptual change model, the 5E constructive learning cycle, matches analogy teaching, concept mapping and laboratory experiment. The quasi-experimental method was employed in this study to explore the effect of curriculum design. The results uncovered that the conceptions of experimental group students were better than that of the control group students, and furthermore it revealed the significant difference between these two groups. The conceptual change teaching activities could apparently promote the experimental group students' learning outcome, and the scores of TIWM and CCAT in the middle and low score-group of experimental group were higher by 0.51 SD and 0.39 SD, especially. For example, in the lesson of "leaf's level", to de-monstrate the effect of teaching activities, students actively engaged their learning on observing the cross section specimen of the banyan tree leaf, to think and to discuss together, then followed by mapping conception, and the activities were truly caused students' cognitive conflict, and resulting in the conceptual clarification on their confused conceptions. However, the learning outcome of 5E constructive learning activities for the difficult concepts and those concepts involving the cross ontological conceptual change, such as the concepts of "the physiological phenomenon of cell mem-brane", was limited on the explicit representation of osmosis only, not on the abstract and the real principle. This study proposed the following suggestions. Regarding the conducive effects of the teaching activities in this study, the teaching methods used by case teacher's explanation could be served as the base of curriculum design, for example, the analogy teaching for the cell structure and function, and the concept mapping in the leaf composition and so on. For the more difficult and abstract concepts, such as "physiological phenomenon of the cell membrane", this study suggested the way of setting these concepts into the chemistry lessons together, density and osmotic pressure.

Key words: 5E Constructive Learning Cycle, Cell Lesson, Conceptual Change Teaching Activities