科學教育學刊
2008, 第十六卷第一期, 75-103

Chinese Journal of Science Education
2008, 16(1), 75-103

符合建構論理念的教學策略對植物的養分與能量概念學習的成效

涂志銘[1] **林秀玉**[2] **張賴妙理**[3] **鄭湧涇**[1]

[1]國立台灣師範大學 生命科學系
[2]真理大學通識教育學院 自然科學學科
[3]中國技術學院 通識教育中心

（投稿日期：民國 96 年 8 月 14 日，修訂日期：97 年 1 月 3 日，接受日期：97 年 1 月 17 日）

摘要：本研究採準實驗研究設計探究「符合建構論理念的教學策略（CTS）」與「一般常見的教學策略（TTS）」對七年級學生理解「植物的養分與能量」科學概念成效的差異，參與研究的對象為四位國中生物教師及 583 位七年級學生，實驗組包括兩位生物教師及其任教班級的 286 位學生，對照組則由另外兩位生物教師及其任教班級的 297 位學生所組成，實驗組接受 CTS，而對照組則接受 TTS。本研究發展「生物概念診斷測驗—植物的養分與能量（Biology Concept Diagnostic Test－Plant Nutrients and Energy, [BCDT-PNE]）」做為評測學生概念理解的工具，利用共變數分析和卡方分析比較實驗組與對照組在 BCDT-PNE 後測得分及答對率的差異，瞭解 CTS 與 TTS 對概念學習成效的差異。研究結果顯示，CTS 對促進七年級學生理解「植物的養分與能量」概念的整體學習成效，顯著優於 TTS，特別是對「植物的營養方式」、「植物體內養分來源」、「植物體內澱粉來源」、「光合作用對植物生長的影響」、「植物行呼吸作用的時間」、「植物行呼吸作用的部位」和「光對光反應、暗反應的影響」等概念的學習，CTS 的教學成效顯著優於 TTS。

關鍵詞：符合建構論理念的教學策略、植物的養分與能量、概念學習

壹、緒　言

一、研究的背景

1970年代以前，科學教育學者對學習的看法主要受到行為主義學習理論的影響，認為學習是知識「輸入」而後「輸出」的「知識轉移（transfer of knowledge）」過程。學生的學習是被動的接受知識，若教師能在教學前訂定明確的教學目標，依據目標設計完整的教學計畫，就可以幫助學生理解教師教授的知識（Bigge & Shermis, 1999）。但1970年起，學者發現學生能記憶、背誦許多科學名詞、科學概念、科學公式或科學原理原則，

但是卻無法真正理解這些名詞、概念、公式或原理原則的意涵，顯示科學知識的學習應該不是單純知識輸入就可正確完整輸出的過程，其實知識由輸入到輸出間的訊息處理過程，才是影響知識理解的關鍵（Duit & Treagust, 1995）。因此，科學知識或科學概念學習過程的研究逐漸受到重視，同時，隨著建構論哲學觀的發展，及認知發展、訊息處理理論的成熟，學者對於知識學習的看法有全新的解釋，知識的學習應該是學習者主動建構知識的過程，是一種認知運作（cognitive operation）的過程，或者是將外界訊息（知識）經過編碼處理轉變為長期記憶的過程（Glynn & Duit, 1995）。

受到科學知識學習的哲學觀由行為主義轉變成建構論的影響，有關科學知識或科學概念建構的研究逐漸成為科學教育研究的主流。許多研究發現，學生在接受正式的科學教學前就已經存有許多能解釋自然世界的概念，也就是所謂的「先存概念（preconception）」（Treagust, Duit & Fraser, 1996）。先存概念通常是學生在日常生活中，透過自身的感受、觀察、直覺、學習或體驗等過程逐漸發展形成的，用來解釋生活周遭的自然現象和事件或解決日常生活面臨的各種問題。而學生在接受正式的科學教學時，習慣利用他們的先存概念幫助學習新的事物、理解科學知識、接收外界的訊息及詮釋新的想法（Duit & Treagust, 1995）。因此，學生的先存概念會影響他們對科學知識或概念的理解，正如 Ausubel（1968, p. 406）提到的「影響學生學習的最重要因素是學生已經知道的」。

在概念學習的過程，學生會以他們的先存概念理解教師教授的科學概念和教科書中的科學知識，但學生的先存概念通常與科學概念不同，因此概念學習應該是由先存概念轉變為科學概念的過程，或者說是科學概念取代先存概念的過程（Duit & Treagust, 1998）。然而先存概念要轉變成科學概念並不容易，因為先存概念通常與生活經驗緊密結合，可以合理且有效的幫助學生解決日常生活的問題，當先存概念與科學概念不同時，會產生認知衝突（cognitive conflict），就學生的角度而言，除非有相當堅實的證據或經驗能證明先存概念是錯的、是不敷使用的，或者能證明科學概念比先存概念更能合理的解釋生活周遭的自然現象，更能有效的解決日常生活的問題，否則學生不會輕易改變其想法（Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982）。所以先存概念會影響學生建構正確的概念，若能充分瞭解學生具有哪些先存概念，並以先存概念做為設計教學策略的參考，應該可以有效地幫助學生真正理解科學概念。

二、研究的理念與重要性

科學概念學習研究是近三十年來最重要的研究領域之一，許多研究著重在探究學生的概念，發現學生不僅在教學前存有先存概念，教學後也有許多與科學概念不同的「另有概念（alternative conception）」，不論先存概念或另有概念，都會影響學生理解科學概念。所以，瞭解學生的先存概念或另有概念如何影響概念學習就顯得十分重要，不僅可以釐清概念學習的過程，也可以瞭解影響概念理解的原因。基於這樣的想法，學者開始採用不同的角度解釋概念學習的過程，其中最為著名的是 Posner 等人（1982）提出的「概念改變模式（conceptual change model, [CCM]）」，他們認為概念學習是先存概念轉變為科學概念的過程，在這個過程中，學生必須對自己的先存概念產生「不滿足（dissatisfaction）」，同時科學概念必須是「可理解的（intelligible）」、「合理的（plausible）」

和「有用的（fruitful）」，才能產生概念改變。但概念改變並不容易，學生通常對自己的先存概念十分滿意，不易產生不滿足，沒有意願進行概念改變；另外，學生未必能瞭解科學概念是可理解、合理且有用的，也造成概念改變的困難（Duit & Treagust, 2003）。Posner等人的理論可以說明為何一般以講述為主的教學無法有效幫助學生建構科學概念，理解科學概念，因為一般的教學策略通常無法讓學生對自己的概念產生不滿足，也缺少幫助學生判斷科學概念的可理解性、合理性和有用性的教學活動，造成概念改變困難。因此，若要提升學生的科學概念學習成果，增進學生對科學概念的理解，發展能有效促進概念學習（概念改變）的教學策略就顯得格外重要。

因為科學概念學習是學生利用自己的概念建構科學概念的過程，是另有概念轉變成科學概念的過程，而建構論的教學觀正好重視學生的另有概念，主張教學必須以學生的另有概念為基礎，幫助學生由其另有概念出發逐步建構科學概念，或者說教學並非「抹去」或「消滅」學生的概念，而是讓學生主動改變或修正其另有概念（Duit & Treagust, 1995）。因此，以建構論的觀點設計教學應該可以有效地幫助學生理解科學概念，換言之，發展符合建構論理念的教學增進學生的概念學習是很重要的議題。

目前已有學者發展了不同的符合建構論理念的教學策略，這些教學策略主要透過比較另有概念與科學概念的差異營造認知衝突情境，進而以討論、辯論的方式挑戰學生的概念，刺激學生對自己的概念產生不滿足，之後再利用討論和教師講解的方式幫助學生明白科學概念的可理解性和合理性，最後，提供真實情境或問題讓學生應用科學概念，建立科學概念的有用性，以完成概念改變（Hewson, 1996）。符合建構論理念的教學策略強調學生具有的概念在概念學習中扮演重要角色，重視科學概念的探究、強調生活經驗與科學概念的連結，並適時提供學生「澄清（clarification）」、「辯論（debate）」、「鞏固（consolidation）」和「精緻化（elaboration）」科學概念的機會，讓學生能真正理解科學概念（Cosgrove & Osborne, 1985）。因此，符合建構論理念的教學策略應該是教授科學概念的重要教學策略。

許多研究已經證實符合建構論理念的教學策略，的確較傳統的教學更能促進學生進行概念改變，增進概念理解，而且在不同的科學領域都有相類似的結果（Lord, 1994; She, 2002）。目前，符合建構論理念的教學策略已廣泛被歐美的科學教師做為教授科學概念的主要教學策略，但國內的科學教師對建構論教學觀的認知和符合建構論教學策略的理解仍嫌不足，雖然已有研究發展了符合建構論理念的教學策略幫助學生學習科學概念，不過研究主要集中在探究學生對物質科學概念的學習（吳穎泓和蔡今中, 2005; 梁志平和佘曉清, 2006; 郭金美, 1999），對生命科學概念學習的探究相對較少，以生命科學概念為基礎所發展的教學策略也不多。因此，發展符合建構論理念的教學策略幫助學生學習生命科學概念的研究方向，亟待積極投入並加以探究。

「植物的養分與能量」主題包括「植物的養分」、「光合作用」、「呼吸作用」相關的科學概念，是生命科學課程中十分重要且關鍵的概念。Odum（1989）曾指出與「植物的養分」相關的科學概念，特別是「光合作用」概念，是理解生命與生命過程（life process）的重要概念；美國國家研究委員會（National Research Council, 1990）則認為「光合作用」及「呼吸作用」是理解「能量流動」、

「食物供給」與「生態原則」的重要生物概念；而 Hazel 和 Prosser（1994）亦指出不同年段的科學或生命科學課程一定會安排「光合作用」單元，顯示光合作用概念是生命科學課程的基石概念。可見「植物的養分與能量」主題的相關科學概念的確是生命科學的核心概念，對生命科學概念的學習具有關鍵性的影響。另外，概念學習研究的結果發現學生在「植物的養分」、「光合作用」和「呼吸作用」主題存有許多另有概念（Wood-Robinson, 1991），表示學生對「植物的養分與能量」的科學概念仍缺乏清楚地理解。有些研究則發現「植物的養分與能量」主題對學生而言是較為困難的概念，特別是「光合作用」和「呼吸作用」更是教師和學生一致認為學習難度較高的主題（Bahar, Johnstone, & Hansell, 1999）。因此，「植物的養分與能量」主題不僅是生命科學課程的核心主題，也是相對較困難的學習主題，值得積極探究學生對此主題的概念學習情況，而發展能促進學生概念理解的教學策略十分重要，不僅可以解決學生概念學習的困難，也可以藉此提升學生概念學習的成效，並對生命科學課程的設計與生命科學教師的培育提出有效的建議。

三、研究的目的

基於前述的背景和理念，本研究企圖發展符合建構論理念的教學策略，幫助學生學習「植物的養分與能量」主題的科學概念，並探究符合建構論理念的教學策略對促進概念建構和概念理解的功效。詳細的研究目的如下：

1. 比較「符合建構論理念的教學策略（constructivist teaching strategies, [CTS]）」與「一般常見的教學策略（traditional teaching strategies, [TTS]）」對促進學生理解「植物的養分與能量」科學概念成效的差異。
2. 檢驗「符合建構論理念的教學策略（CTS）」與「一般常見的教學策略（TTS）」對不同的「植物的養分與能量」科學概念學習成效的差異。

貳、文獻評述

近三十多年來，科學教育學者在科學概念學習的領域已累積了相當豐碩的研究成果，特別是對「學生的另有概念調查」及「促進概念學習教學策略的發展」兩個研究方向，研究最為透徹，以下針對這兩個研究方向的相關文獻加以評述，以瞭解目前科學概念學習與教學研究的現況。另外，也針對「植物的養分與能量」主題相關的研究結果進行深入分析，釐清本研究在科學概念學習與教學研究中的定位。

一、科學概念學習的相關研究

(一)科學概念學習研究的成果與發展

自1970年代以來，有關科學概念學習、科學概念建構及應用適切的教學策略促進概念學習的研究，逐漸成為科學教育研究最熱門的研究領域，相關的研究文獻眾多，研究的範圍遍及物理、化學、生命科學及地球科學等學科領域，研究對象也涵蓋國小至大學等不同年齡層的學生。依據 Duit（2007）的 “Bibliography – Students’ and Teachers’ Conceptions and Science Education, STCSE”資料庫所蒐集的文獻，至2007年二月為止，科學概念學習研究的相關論文共有7624篇，其中物理概念學習研究有2927篇（38%）、化學概念學習研究有2809（37%）、生命科學概念學習研究有1185（16%）。就研究數量的分析來看，科學概念學習的研究主要集中在探究

物質科學的概念，生命科學概念學習研究的數量顯然不及物質科學研究豐富，瞭解的程度也有相當的差距。

若以研究內容檢視 Duit（2007）的 STCSE 資料庫中的文獻發現，有關「學生的概念（students' conceptions）」的研究數量最多，研究的重點集中在探究學生對不同學科、不同主題的另有概念，並對另有概念產生的原因提出合理的解釋。而學者用以探究學生概念的方式主要分為三種，第一是採用晤談的方式，第二是概念圖或認知圖，第三則是概念診斷測驗。因為晤談及概念圖較為耗時費力，無法大規模調查學生的概念，對於瞭解學生的另有概念會產生限制，而概念診斷測驗屬於紙筆測驗，能大規模調查學生的想法，補足晤談及概念圖的限制。目前最常被用以進行概念探究的概念診斷測驗為兩階層的診斷測驗（two-tier diagnostic test）（Haslam & Treagust, 1987），經由兩階層的設計釐清學生對特定概念的想法及解釋，能夠更為精確的描繪學生的概念。目前兩階層診斷測驗在生物概念調查的領域也已廣泛被使用，如：Odum 和 Barrow（1995）用以調查大學生的擴散及滲透、Lin（2004）用以調查植物的生長與發育、Wang（2004）則發展兩階層診斷測驗調查生物的運輸作用。足見兩階層診斷測驗應該是探究學生概念學習的有效工具。

有關「學生的概念」研究成果主要的貢獻在於經由瞭解另有概念與其產生原因，可以更精確地描繪科學概念學習的過程。另外，相關研究也發現，另有概念是影響概念學習的關鍵因素，若要提升概念學習的成效，必須以另有概念為基礎，設計適當的教學策略才能增進概念理解。所以，目前已經有許多研究設計能幫助學生建構科學概念的教學策略（Brown & Clement, 1989; Driver, 1988; Lawson, Abraham, & Renner, 1989），且一些研究結果也證明以另有概念為基礎所發展的教學策略能有效增進概念理解（Amir & Tamir, 1994; Lumpe & Staver, 1995; She, 2004）。但是科學概念教學研究目前在數量及內容上仍無法跟上「學生的概念」的研究腳步，對許多另有概念仍然無法設計適切的教學策略幫助學生學習，且已發展的教學策略多半都針對物質科學概念所設計，針對生命科學概念設計的教學策略相對較少，對於促進生命科學概念學習教學策略之成效的瞭解也不及物質科學領域的瞭解來得透徹。因此，發展促進生命科學概念學習的教學策略，以及教學策略對生物概念學習影響兩個研究面向，值得投入更多心力加以探究。

(二)國內科學概念學習研究的成果與發展

自1980年代中期以來，國內有超過百篇以上科學概念學習的研究報告及期刊論文被發表，研究的內容主要是調查學生所具有的另有概念，而研究的領域也以物質科學概念研究為主，生命科學概念的探究相對較少，且集中在幾個特定的主題，如：遺傳（黃台珠, 1993）、細胞與細胞分裂（湯清二, 1993）、生物分類（Huang, 1996）、循環系統（邱耀德和耿正屏, 1994）。而2000年以後，因為國科會的「全國科學概念學習計畫」的進行，生命科學概念學習的研究不再僅侷限於前述的概念主題，對「生物的運輸」（Wang, 2004）、「生物腐化」（游淑媚, 2003）、「開花植物的生長和發育」（Lin, 2004）、「呼吸作用」（Kao, 2007）和「顯微鏡下的世界」（盧秀琴, 2003）幾個主題也有深入探究，調查的對象也擴及不同年級的學生，並試著分析國內學生產生另有概念的原因及探究影響概念學習的因素。目前，國內的生命科學概念學習研究有相當可觀的研究成果，已經能充分瞭解學生具有那些另有概念，知道產生另有概念的可能原因，對影響概念學習的因素

也有初步的認識。但是對如何幫助學生建構生命科學概念、如何利用適當的教學策略提升概念理解兩個研究面向，仍然缺少足夠的研究加以釐清。因此，如何以另有概念研究結果為基礎，發展適當的教學策略幫助學生理解生命科學概念，提升概念學習成效，就顯得十分重要。

二、符合建構論理念的教學

(一)符合建構論理念的教學策略及特徵

不論國內或國外的科學概念學習研究，都以調查學生的另有概念為主，但隨著另有概念研究的發展，科學概念教學的研究也逐漸受到重視，許多以「建構論的教學觀（constructivist's views of teaching）」為依據所發展的教學策略也被用於幫助學生建構科學概念。例如：(1)Driver（1988）發展了「符合建構論理念的教學程序（constructivist teaching sequence）」，利用實驗、演示、現象觀察或討論等方式，引導學生覺知自己的先存概念，透過認知衝突的情境或演示實驗的方法引導出科學概念，再經由同儕討論、教師講解的過程幫助學生挑戰和澄清先存概念，最後經過評鑑和應用使學生理解科學概念。(2)Hewson 和 Hewson（1984）以「概念改變模式（CCM）」的四個條件（不滿足、可理解的、合理的和有用的）及概念生態（conceptual ecology）的想法設計促進概念改變的教學，重視在教學過程營造「認知衝突」來幫助概念改變。(3)Brown 和 Clement（1989）設計類比橋教學法（bridging analogy approach），以先存概念為依據尋找連結先存概念和科學概念的「通道（passages）」，再以中介概念做為「踏腳石（stepping-stones）」幫助學生由先存概念逐步建構科學概念。(4)Lawson、Abraham 和 Renner（1989）以認知發展理論為基礎，設計學習環教學法（learning cycle approach）幫助學生建構科學概念。學習環教學法分為三個階段，第一階段讓學生進行「探索」，以實際的物體或事件刺激學生思考；接著是「名詞導入」，介紹科學的符號和科學名詞，幫助學生建構概念；最後是「概念應用」，讓學生應用自行建構的概念解釋問題，強化概念。(5)許多研究將 Novak 和 Gowin（1984）的概念圖融合在科學教學之中，透過繪製概念圖讓學生能監控自己的認知過程，瞭解自己的概念和科學概念的差異，促進科學概念的建構（Duit & Treagust, 1995）。

仔細分析前段所述之教學策略發現，符合建構論理念的教學策略應該具有以下的特徵：(1)重視學生的先存概念和先存經驗，以學生的先存概念、先存經驗引導教學過程。(2)重視認知衝突情境的營造，以幫助學生區別先存概念與科學概念的差異，促進概念改變。(3)重視討論、辯論、意見分享的合作學習策略，以利學生澄清和鞏固概念。(4)重視反思和自我分析的過程，幫助學生進行概念評鑑。(5)重視應用概念解決問題，以精緻化概念。

(二)符合建構論理念教學策略之教學成效

目前已有許多研究的結果證明前述之符合建構論理念的教學策略確實能提升概念學習的成效，也能有效促進概念改變的進行。如「建構論教學程序」能有效地幫助學生理解「力學」和「光學」的概念（梁志平和佘曉清, 2006; 郭金美, 1999）；以 CCM 為基礎設計的概念改變教學策略，能有效增進「細胞膜生理現象概念」和「颱風概念」的理解（許瑛玿和謝惠珠, 2004; 盧秀琴和林玟均, 2006）；She（2002, 2004）以概念本質的觀點，結合 CCM 的理論所發展的「雙重情境學習模式（Dual-Situated Learning Model, DSLM）」，能有效幫助學生理解壓力、浮力、

溶解、擴散、熱的對流和傳導等概念；Lawson 和 Rissing（1990）利用學習環教學法教授非主修生物的大學生，結果發現學習環教學法能有效增進生物概念的理解。

前述的研究結果確實為符合建構論理念的教學策略能增進概念學習成效提供可靠的證據，但 Duit 和 Treagust（2003）認為符合建構論理念的教學策略（促進概念改變的教學策略）較其他教學策略有效的說法需要更加謹慎思考，因為符合建構論理念的教學策略和其他教學策略的目的並不相同，比較概念學習成效的差異並非十分適當，而且，不同教學策略對不同概念主題的學習可能有差異。因此，符合建構論理念的教學策略能促進概念學習、概念改變的說法，可能需要更多研究加以證明，若能更深入比較符合建構論理念的教學策略與其他教學策略對特定科學概念學習的差異，應該有助於釐清符合建構論理念的教學策略是否真的具有較佳學習成效的問題。

三、植物的養分與能量概念之相關研究

(一)植物的養分與能量之另有概念

過去二十多年來，學生對綠色植物生長、發育的想法一直是生物教育學者所關注的研究領域，其中又以「植物的養分與能量」主題，亦即「植物的營養」、「光合作用」及「呼吸作用」等最受重視，研究也最為透徹，相關的研究內容包括：植物的營養（食物）（Cañal, 1999; Lumpe & Staver, 1995; Simpson & Arnold, 1982; Stavy, Eisen, & Yaakobi, 1987; Wandersee, 1983; Wood-Robinson, 1991）、植物的氣體交換（Cañal, 1999; Lumpe & Staver, 1995; Wandersee, 1983）、光合作用（Amir & Tamir, 1994; Barrass, 1984; Cañal, 1999; Lumpe & Staver, 1995; Stavy et al., 1987; Wandersee, 1983）、植物的呼吸（Barrass, 1984; Cañal, 1999; Seymour & Longden, 1991; Wandersee, 1983）及植物在生態系的角色（Stavy et al., 1987）。這些研究發現了許多另有概念，研究結果如下：

1. 植物營養（食物）來源：學生認為植物是利用根自土壤中吸收養分（食物）；或空氣中的物質可進入植物體，轉變成營養（食物）。有些學生認為植物可自行製造食物，但無法清楚地說明植物如何製造食物。
2. 植物營養（食物）的種類：學生認為：(1)水、(2)礦物（礦物質）、(3)蛋白質、(4)澱粉、(5)糖、(6)維生素、(7)土壤、(8)肥料、(9)陽光和(10)空氣…等都屬於植物的營養（食物）。雖然前述之第一至第六種物質的確屬於植物的營養（食物），但學生認為這六種食物皆是根自環境（土壤）中吸收，無法區分六種食物的差異。
3. 植物營養（食物）的定義：學生習慣利用「是否能吃」或「能否供應能量」的觀點定義食物，以人類或動物的食物概念定義植物的食物，將「營養」和「攝食」視為相同的概念。
4. 植物的氣體交換：學生通常會以光合作用的氣體交換過程（吸氧氣釋放二氧化碳）解釋呼吸作用的氣體交換，或以呼吸作用的氣體交換過程（吸氧氣釋放二氧化碳）說明光合作用。
5. 光合作用：學生認為光合作用就是植物的呼吸，或光合作用和呼吸作用是相反的過程，也有學生認為植物的光合作用和呼吸作用是兩個互補的生理反應。另外，學生認為光合作用的功能是維持綠色或製造氣體（氧氣或二氧化碳），缺乏光合作用是儲存能量及製造養分功能的概念。

6.植物的呼吸：國小中高年級學生認為植物會呼吸，因為生物都必須呼吸才能存活，但國中學生（13~16 歲）卻認為植物不會呼吸，或植物行無氧呼吸，顯示不同年齡的學生對植物是否呼吸的看法有所差異。有關呼吸作用和光合作用的比較，學生認為「植物的呼吸和動物的呼吸不同，植物的呼吸只在晚上進行」，或「植物只有白天才會呼吸」，顯示植物呼吸的概念受光合作用概念的影響。另外，有些學生欠缺呼吸作用功能的概念，無法說明呼吸作用的功能是產生能量。

有關「植物的養分與能量」的研究除了發現許多另有概念外，也提出一些另有概念產生原因的解釋。Kinchin（2000）認為「日常生活用語」、「先存經驗」與「不適宜的先備知識」是造成另有概念的主要原因；而教科書或教師的教學過程所傳達的零碎知識和訊息，會造成學生無法建構完整的概念網絡，因而產生另有概念；或者，學生缺乏「比較的理論（comparing theories）」，無法區分自己的理論和科學家理論的差異，也會造成另有概念。Amir 和 Tamir（1994）的研究指出在光合作用或呼吸作用主題的教學過程太過重視氣體交換，忽略光合作用和呼吸作用的化學反應過程，缺少解釋物質轉換與能量流動的概念，會造成學生混淆光合作用和呼吸作用。

(二)促進植物的養分與能量概念學習之教學策略

「植物的養分與能量」概念研究發現許多另有概念，也瞭解另有概念產生的原因，讓學者能依據研究結果提出一些教學上的建議，如：教授光合作用單元之前，應讓學生具備「食物」、「氣體」和「能量」三個概念（Simpson & Arnold, 1982），也必須讓學生能區別綠色植物和動物在營養型式的差異、能區分有機養分與無機養分的不同、瞭解「營養」是過程而非結果等概念（Cañal, 1999）。另外，有研究則建議教師在教授「植物的養分」、「光合作用」或「呼吸作用」相關概念時，應該使用精確的科學語言，避免使用日常生活用語干擾概念的建構（Kinchin, 2000）。更有研究建議教師應該以「建構論的觀點（constructivist's view）」設計教學策略，透過討論、辯論、澄清或認知衝突等方式幫助學生學習「植物的養分與能量」概念（Seymour & Longden, 1991）。

除了教學建議之外，許多研究針對「植物的養分與能量」主題設計教學策略幫助學生理解「植物的養分與能量」概念，並探究教學策略對「植物的養分與能量」概念學習的功效。Amir 和 Tamir（1994）利用診斷出的光合作用另有概念為基礎，設計教材幫助學生矯正另有概念，結果發現依據另有概念設計的教材能顯著提升學生的概念理解；Lumpe 和 Staver（1995）利用「同儕合作」教學策略教授光合作用單元，結果發現此教學策略能有效地促進學生理解光合作用概念，而林達森（2004b）的研究利用合作學習教授「生物能量」概念，同樣發現合作學習能有效增進概念學習的成果；林達森（2004a, 2005）運用概念圖教學法幫助高中及國小學生學習「生物能量」概念，結果發現概念圖教學法能有效促進學生理解「生物能量」概念。

前述的研究結果證明符合建構論理念的教學策略，的確能幫助學生理解「植物的養分與能量」相關概念，但這些研究的過程僅採用單一教學策略，可能僅代表建構論教學觀的特定面向，若能以建構論的理念為依據，針對不同的概念主題或科學概念設計不同的教學策略（概念改變教學策略、學習環、

建構論教學程序），意即運用多種符合建構論理念的教學策略，或許更能提升概念學習的成效。另外，前述的研究結果僅反應出整體的概念學習成效，對個別概念的學習並沒有深入的分析，但不同的科學概念或另有概念應該具有不同的本質或特性(Chi & Roscoe, 2002），或許不同的教學策略對不同的概念會產生不同的效果？

參、研究方法

本研究採用準實驗研究法，探究「符合建構論理念教學策略（CTS）」對七年級學生學習「植物的養分與能量」相關科學概念的成效，並比較 CTS 與「一般常見的教學策略（TTS）」對促進學生概念理解的差異。

一、研究對象

本研究以台北縣兩所國民中學的四位生物教師及其所任教班級的七年級學生為研究對象，採方便取樣方式選取研究對象。實驗組包括兩位生物教師及其任教之8個班的286位學生，對照組則由另外兩位和實驗組教師來自相同國中的生物教師及其任教的8個班級共297位學生所組成。

實驗組的教師具有十年以上的教學經驗，曾經參與國科會的「生物概念發展研究計畫」達六年之久，也曾參加與「建構論」及「科學概念學習」主題相關的研討會與工作坊，對於「另有概念的診斷」、「符合建構論理念教學策略的發展」、「概念圖的使用」等相關知識有相當程度的瞭解。實驗組教師在本研究的主要任務是設計 CTS，並利用 CTS 進行生物教學。

對照組的教師則同樣具有十年以上的教學經驗，相對於實驗組的教師，對照組的教師對「學生的另有概念」、「建構論」和「符合建構論理念的教學」等相關知識沒有清楚瞭解。研究過程中，對照組的教師採用一般常見的以講述為主的 TTS 幫助學生學習生物概念，講述的過程利用組織好的概念架構為基礎，幫助學生理解科學概念，教師發問的問題則集中在確認學生是否理解科學概念。整個 TTS 的教學過程並未特別重視學生的另有概念，也未刻意營造認知衝突情境，教師的發問也非用以刺激學生思考自身概念與科學概念的差異。

參與本研究的學生來自兩所台北縣的國中，並非隨機樣本，但學生進入國中後會隨機分派到不同的班級。研究進行前，研究者蒐集實驗組和對照組學生的生物科期中考成績，並以 t 考驗比較兩組學生的生物科期中考成績表現，發現成績沒有顯著差異（$t = 0.659$, $p > 0.05$），顯示兩組學生的生物科學業成就沒有顯著差異。

二、研究工具

(一)生物概念診斷測驗—植物的養分與能量（Biology Concept Diagnostic Test – Plant Nutrients and Energy, [BCDT-PNE]）

本研究發展 BCDT-PNE 做為評測學生另有概念與概念學習成效的工具。BCDT-PNE 是依據 Treagust（1988）發展兩階層診斷測驗（two-tier diagnostic test）的程序和步驟為基礎，經小幅度修正發展而成的概念診斷工具，發展過程分為三個階段共十一個步驟：

階段一：確立診斷測驗的概念內容

1.確認命題知識陳述：以國中生物課程為基礎，在「植物的養分與能量」相關單元（養分與能量、光合作用及呼吸作用）選取重要的命題知識陳述（propositional knowledge statement），做為發展診斷測驗的概念內容範圍。

2.發展專家概念圖：以「植物的養分與能量」的科學概念為依據繪製專家概念圖，繪製概念圖過程所使用的命題知識可以幫助研究者瞭解適合用以教學的概念內容。

3.效化命題知識陳述：比對課程中選取的命題知識陳述與概念圖內容，由專家群（兩位生物教育專家及五位具豐富經驗的國中生物教師）討論其一致性，確立適合國中學生的命題知識陳述，做為發展診斷測驗的基礎。本研究共選取九個命題知識陳述做為發展測驗的基礎，命題知識陳述的內容如（附錄一）。

階段二：瞭解學生的另有概念

4.審視相關的研究文獻：分析「植物的養分與能量」主題的研究文獻，瞭解國中學生在此主題所具有的另有概念，以做為設計診斷測驗選項的基礎。

5.進行開放式晤談：以開放式晤談探究學生在「植物的養分與能量」主題的概念（conception）。本研究以開放式問題晤談 50 位七年級學生，晤談過程所使用的開放式問題，如：「植物為什麼要進行光合作用？」、「植物什麼時候會進行光合作用？」、「植物什麼時候會進行呼吸作用？」、「植物體內的養分是從哪裡來的？」，分析學生針對問題的回答，獲得學生的概念，做為設計診斷測驗的參考。

6.實施概念圖晤談：分析國中課程中與「植物的養分與能量」相關單元的內容，選取重要的概念，如：光合作用、呼吸作用、水、二氧化碳、氧氣、澱粉、葡萄糖…等，做為繪製概念圖的依據。利用晤談的方式協助學生建構概念圖，晤談過程提供學生重要的科學概念，協助學生連結不同的科學概念形成命題，而後繪製成完整的概念圖。參酌 Novak 和 Gowin（1984）發展的分析架構分析學生的概念圖，以瞭解學生的概念。

階段三：發展診斷測驗

7.發展兩階層診斷測驗：以（步驟 3）的九個命題知識陳述為基礎發展命題說明，再以命題說明設計概念問題做為診斷測驗的題幹如（附錄一）。接著參酌相關研究文獻（步驟 4）、開放式晤談（步驟 5）及概念圖晤談（步驟 6）所得之另有概念，設計概念問題的答案及選答的理由，完成兩階層的診斷測驗。

8.審視診斷測驗的內容：由專家群討論發展之兩階層診斷測驗的內容涵蓋（步驟 3）的九個命題知識陳述。

9.進行預試：以小樣本學生（74 位七年級學生）進行兩階層診斷測驗的預試。

10.檢視診斷測驗內容：晤談預試的 74 位學生，檢視學生在診斷測驗的回答與晤談的回答是否一致，以確立診斷測驗的結果能真實反應學生的概念。

11.修訂診斷測驗：以預試及（步驟 10）的晤談結果為基準，由專家群適度精鍊及修飾測驗題目，以確立測驗的內容效度。

BCDT-PNE 是以九個命題知識陳述為基礎，發展十一個命題說明，再依據命題說明設計相對應的概念問題，評測學生的概念（附錄一）。發展完成的 BCDT-PNE 共有十一個題目，可評測十一個科學概念，詳細的內容如（表1）。完整的 BCDT-PNE 題目如（附錄二）。

BCDT-PNE 是兩階層式的診斷測驗，題目由一個概念問題及兩階層答案構成，第一階層由二到四個能解釋概念問題的答案組成，第二階層則包含多個能說明第一階層答案的理由。BCDT-PNE 的計分方式為正確回

表 1：BCDT-PNE 評測之科學概念

題號	科學概念	概念說明	編碼
1	光合作用需要光才能進行。	光對光合作用的影響 Influences of Light on Photosynthesis	ILP
2	光合作用的主要功能是合成植物生長所需的養分。	光合作用的功能 Function of Photosynthesis	FP
3	在光反應中，葉綠素吸收光能使水分解產生氧；暗反應是不依賴光即能進行的反應，主要功能為固定二氧化碳，產生葡萄糖。	光對光反應、暗反應的影響 Influences of Light on Light and Dark Reaction	ILLDR
4	植物由外界吸收水和二氧化碳，合成生長與發育所需的養分。	植物的營養方式 Patterns of Plant Nutrition	PPN
5	儲存在植物根部和果實中的有機養分是葉子行光合作用製造的，而無機養分則是由根部吸收而來。	植物體內養分來源 Sources of Plant Nutrient	SPN
6	光合作用產生的糖會進一步轉變成澱粉儲存在植物體內。	植物體內澱粉來源 Sources of Starch	SS
7	植物生長所需的養分主要來自光合作用，水耕營養液只是提供植物生長所需的礦物質。	光合作用對植物生長的影響 Influences of Photosynthesis on Plant Growth	IPPG
8	植物細胞任何時候都需要進行呼吸作用產生能量，以維持個體的活動。	植物行呼吸作用的時間 Occasions of Respiration	OR
9	植物細胞都會進行呼吸作用。	植物行呼吸作用的部位 Locations of Respiration	LR
10	植物的光合作用和呼吸作用之過程不同，植物白天行光合作用，而任何時候都在進行呼吸作用。	光合作用和呼吸作用的比較 Comparison Photosynthesis with Respiration	CPR
11	動物和植物都會吸收氧氣進行呼吸作用，釋放出二氧化碳。	植物的呼吸作用過程 Processes of Respiration	PR

答第一層答案和第二層理由可獲得一分，僅正確回答第一層或第二層或兩層的答案均不正確者則計為零分。

發展 BCDT-PNE 的過程，由專家群確立發展測驗的命題知識陳述並協助修訂診斷測驗的內容，確立 BCDT-PNE 的內容效度。而 BCDT-PNE 的信度部分，以前段所述之計分方式計算參與研究的學生在 BCDT-PNE 的表現並計算 BCDT-PNE 的信度，結果 BCDT-PNE 的內部一致性信度為0.72，以一份僅十一個題目的診斷測驗，此信度尚稱滿意。且 Haslam 和 Treagust（1987）所發展的兩階層診斷測驗之內部一致性信度亦為 0.72，顯示 BCDI-PNE 的信度值能符合評測學生概念的目的。

(二)專家科學教師教育評鑑模式—科學教室觀察準則（Expert Science Teacher Educational Evaluation Model – Science classroom observation rubric, [ESTEEM-SCOR]）

本研究應用專家科學教師教育評鑑模式（ESTEEM）的「科學教室觀察準則

（SCOR）」為工具，檢視實驗組教師的教學策略是否符合建構論理念。ESTEEM 是結合建構論的理念和專家教學哲學（expert teaching philosophy）兩個觀點所發展的工具，強調學生中心的教學，重視有意義的概念學習，適合做為檢測教學是否符合建構論理念的工具（Burry-Stock & Oxford, 1994）。

科學教室觀察準則（SCOR）的設計參照 Dreyfus 和 Dreyfus（1986）提出之「新手—專家」連續發展階段，將教師的教學實務區分為新手（novice）、進階新手（advanced beginner）、勝任者（competent）、精熟者（proficient）和專家（expert）五個階段，包含四大類共18個不同的教學實務（表2），每個教學實務有三個具體的行為標準，分別描繪教師在課室中表現之典型教學行為，每個教學實務以1~5的量尺評分，代表由新手到專家的五個階段，1分代表新手教師的教學行為（缺乏建構論理念），3分代表勝任者階段教師（具有豐富經驗之教師）的教學行為，5分代表專家教師之教學行為（符合建構論理念）（表3）。SCOR 的18個教學實務的總分為90分，內部一致性信度為0.91（Burry-Stock, 1995）。

表 2：ESTEEM-SCOR 教學實務

類別一：從建構論者的觀點促進學習過程
A. 教師是一位促進者。
B. 學生的活動參與。
C. 學生的經驗參與。
D. 新奇事物、事例的運用。
E. 對教科書的依賴。
類別二：特定內容的教學（與學生理解相關的教學）
F. 學生概念理解。
G. 與學生的關連性。
H. 教學法的變化。
I. 高層思考技能。
J. 內容與過程技能的整合。
K. 內容與證據的連結。
類別三：特定情境的教學（流暢地控制師生互動）
L. 對錯誤覺知的解決。
M. 師生關係。
N. 基於學生的理解程度修改教學內容。
類別四：內容知識（教師展現卓越的學科教材知識）
O. 範例的使用。
P. 一致的科學經驗（課程）。
Q. 深度和廣度的平衡。
R. 正確的內容。

ESTEEM-SCOR 是以標準參照模式百分比的方式詮釋問卷得分，將標準參照模式百分比視為準常態分佈，以不同百分比程度區分新手到專家階段的教學，1%~15% 代表新手教師，16%~30% 代表進階新手教師，31%~69% 代表勝任者，70%~84% 代表精熟者，85%~99% 代表專家教師（Burry-Stock, 1995）。

三、符合建構論理念教學策略（CTS）的發展

本研究是以「符合建構論理念教學」之三大特徵，即「重視學生的另有概念」、「營

表 3：摘錄 ESTEEM-SCOR 教學實務

類別一：從建構論者的觀點促進學習過程
A. 教師是一位促進者。
5：學生必須對自己的學習經驗負責，而教師的任務在促進學習過程。（師—生的學習經驗是一種夥伴的關係）
3：學生不總是為自己的學習經驗負責，教師指導學生的學習過程多過促進學生學習的學習過程。（師—生的學習經驗傾向以教師為中心）
1：學生不為自己的學習經驗負責，教師指導學習過程。（師—生的學習經驗完全以教師為中心，例如：教師講解或教師演示。教師從來不和學生產生互動）

註：介於5分和3分間之教學行為計為4分；介於3分和1分間的行為計為2分。

造認知衝突情境」、「重視同儕、師生的討論互動模式」為基礎設計 CTS，由另有概念出發，透過教師引導學生解決認知衝突情境、應用概念解決問題的過程，幫助學生建構科學概念，並考量生物學知識廣泛的（extensive）、高度複雜的（highly complex）、不完整的（incomplete）及結構性不足（ill-structured）的特性（Wandersee, Fisher, & Moody, 2000），以融合不同教學策略的方式設計 CTS，對不同特性的生物概念採用不同的教學策略或教學活動幫助學生學習，期望藉由多元化的設計有效提升學生對生物概念的理解，這樣的設計理念即是 CTS 與先前許多研究所設計之建構論教學的主要差異。

CTS 除了以符合建構論理念教學的三大特徵及生物知識的特性為發展基礎外，並參酌 Driver（1988）「符合建構論理念的教學程序」之教學階段設計理念，將不同的教學活動適當的融合在不同的教學階段，幫助學生建構科學概念。發展完成的 CTS 主要包含六個階段（表4）：

1.引導：教師利用發問、示範實驗、播放影片、動畫或現象觀察的方式引導學生以自己的概念進行思考。
2.定位：利用小組討論、師生問答、測驗的方式，讓學生和教師共同探究學生所具有的另有概念。
3.認知衝突：教師利用發問、示範實驗、影片播放、現象觀察、同儕討論、師生討論、意見發表與分享等方式營造認知衝突情境，引發學生的認知衝突，讓學生知曉另有概念與科學概念的差異。
4.反思澄清：教師利用小組討論、全班討論、意見分享、辯論、教科書閱讀、測驗等方式，幫助學生評鑑自己的概念，讓學生進行自我澄清和反思，以確認自己的概念與科學概念的差異。
5.重建鞏固：教師利用講述、教科書導讀、問答、小組討論、意見分享等方式幫助學生修正不正確、不適宜的概念，建構科學概念，並藉由前述的教學活動幫助學生鞏固其正確的概念。
6.應用：教師利用測驗、作業或問答等方式提供問題解決機會，或設計教學活動，如：角色扮演、類比應用、學生教學、經驗分享等方式，幫助學生應用並精緻化新建構的概念。

研究進行的過程，研究者進入課室觀察實驗組和對照組教師的教學，並以錄影的方式記錄教師的教學過程、採用的教學活動及展現的教學行為，以做為後續分析教學策略的參考。教學策略的分析由兩位研究者以

表 4：CTS 教學階段、教學理念、時間分配、教學活動對照表

教學階段	教學理念	時間分配	教學活動
引導	以先存概念思考	5	問答、示範實驗、影片、動畫、觀察、討論
定位	探究另有概念	5	問答、討論、測驗
認知衝突	引發認知衝突促進概念學習	10	問答、實驗、影片、動畫、觀察、討論、意見分享
反思澄清	幫助釐清另有概念與科學概念的差異	10	討論、意見分享、辯論、教科書閱讀、測驗
重建鞏固	幫助概念建構及鞏固	10	講述、教科書導讀、問答、討論、意見分享
應用	幫助精緻化概念	5	測驗、作業、問答、角色扮演、類比、學生教學、經驗分享

ESTEEM-SCOR 為工具檢視教學過程、教學活動和教學行為，經過討論確認實驗組教師在 SCOR 之不同教學實務的得分。結果發現實驗組教師在 ESTEEM-SCOR 的平均得分為85.5（總分為90），標準參照模式百分比為95%，屬於專家教師階段，顯示實驗組教師的教學符合建構論的理念。反觀對照組教師的 ESTEEM-SCOR 平均得分為45.0，標準參照模式百分比為50%，屬於勝任者階段，表示對照組教師的教學並未符合建構論的理念，且與實驗組教師的教學有明顯的差異。

四、研究過程

(一)實驗處理和資料蒐集

實驗組教師於「植物的養分與能量」相關單元學習前一個月，即以 CTS 進行教學，幫助學生熟悉 CTS，增進實驗處理的成效。「植物的養分與能量」主題的學習分別在三個課程單元，即「養分與能量」、「光合作用」和「呼吸作用」，實驗組教師採用 CTS 幫助學生學習前述三個單元，而對照組教師則以 TTS 教授這三個單元。「植物的養分與能量」主題的學習約三個星期，共九節課（一節45分鐘）。

實驗組與對照組學生於「植物的養分與能量」相關單元學習前兩週，均先接受 BCDT-PNE 前測，於學習後兩週接受 BCDT-PNE 後測。剔除無效問卷後，實驗組的有效樣本共264位學生，對照組則有250位學生。

(二)資料的分析

BCDT-PNE 為兩階層式的診斷測驗，如學生第一階層選答 A，第二階層選答1，則此學生的作答組合為A1，若A1為正確答案，可獲得一分，否則計為零分。整理學生的作答組合並加以分析、合併，形成不同的概念類型，以利後續的數據分析。

為了探究 CTS 與 TTS 對促進學生學習「植物的養分與能量」概念的差異，以實驗組和對照組之 BCDT-PNE 前測分數為共變量，進行獨立樣本單因子共變數分析（ANCOVA），以釐清兩個教學策略的成效。此外本研究進一步計算實驗組與對照組於 BCDT-PNE 單一試題前後測答對率改變的百分比，以 McNemar Test 分別比較實驗組或對照組之單一試題前後測答對率改變是否有顯著差異，瞭解 CTS 或 TTS 對促進學生理解 BCDT-PNE 所評測之科學概念的功效，再以百分比同質性考驗比較兩組學生單一試題前後測答對率改變的差異，以釐清 CTS 與 TTS 對單一科學概念學習的差異。

肆、研究結果與討論

一、CTS 與 TTS 對「植物的養分與能量」概念學習之整體成效的差異

為瞭解 CTS 與 TTS 對學生學習「植物的養分與能量」概念成效的差異，以共變數分析考驗實驗組與對照組的 BCDT-PNE 後測分數是否有顯著差異，結果如（表5）。結果顯示，實驗組與對照組的 BCDT-PNE 後測分數有顯著的差異（$F = 8.979$, $p = 0.003$），表

表 5：實驗組與對照組 BCDT-PNE 後測分數的共變數分析

變異來源	平方合	自由度	平均平方和	F	p
共變量（BCDT-PNE）	1545.680	1	1545.680	344.182	0.000
組間（教學策略）	40.324	1	40.324	8.979	0.003
組內（誤差）	2294.841	511	4.491		

示實驗組對 BCDT-PNE 所評測之概念的整體學習成果顯著優於對照組，代表 CTS 對促進學生理解 BCDT-PNE 的整體成效，顯著優於 TTS。若要進一步瞭解 CTS 和 TTS 的實務顯著性（practical significance）差異，選擇使用 η^2 做為效果量（effect size）的指標，結果發現 η^2 為0.017，屬於低度效果量（η^2 為0.01代表低度效果量，η^2 為0.059代表中度效果量，η^2 為0.138代表高度效果量）（Cohen, 1988）。

研究結果顯示 CTS 比 TTS 更能有效提升學生對「植物的養分與能量」概念的理解，這個結果與：(1)Amir 和 Tamir（1994）以大學生的光合作用先存概念為基礎設計的教材有效提升學生對光合作用概念學習成果；(2)She（2002）以「雙重情境學習模式（DSLM）」教導科學概念，以認知衝突或認知不協調（cognitive dissonance）的方式幫助學生進行概念改變；(3)Lumpe 和 Staver（1995）利用同儕合作的教學方式有效提升學生對光合作用概念的理解等三個研究的結果相符，顯示本研究同時重視「重視另有概念」、「營造認知衝突情境」與「適當運用同儕互動討論」可以有效幫助學生建構科學概念，增進概念學習的成效。

本研究所發展的 CTS 能利用認知衝突的情境，讓學生覺知其生活經驗或先備知識可能無法合理解釋科學現象或科學事件，並透過討論、辯論的方式幫助學生進行自我澄清和反思，釐清自己的概念與科學概念的差異，幫助學生進行概念改變。因此，CTS 能有效促進學生修正或改變受到日常生活用語、先存經驗及不適宜先備知識影響所產生的另有概念。另外，CTS 提供學生應用概念解決問題的機會，而問題解決的過程可以幫助學生更明確地理解科學概念，建構完整的概念架構，避免因片段理解和零碎概念所造成的另有概念。這些理由可以解釋 CTS 比 TTS 更能促進學生理解植物的養分與能量概念的原因。

二、CTS 與 TTS 對「植物的養分與能量」個別概念學習成效的差異

為理解 CTS 是否對十一個科學概念的學習成效都顯著優於 TTS？本研究先以 McNemar Test 分析實驗組和對照組在 BCDT-PNE 單一試題後前測答對率的提升是否有顯著差異，以瞭解兩種教學策略對增進學生單一概念理解的效果，分析結果如（表6）所示，實驗組在「光對光合作用的影響（ILP）」和「光合作用和呼吸作用的比較（CPR）」兩個概念的前後測答對率沒有顯著提升，表示 CTS 對增進學生理解這兩個概念的效果並不顯著。而對照組的前後測答對率在 ILP、「光合作用對植物生長的影響（IPPG）」和 CPR 三個概念沒有顯著提升，表示 TTS 對增進學生理解這三個概念的效果亦不顯著。這些結果顯示 CTS 與 TTS 對促進學生學習 ILP, CPR 兩個概念的效果並不顯著。但實驗組在 IPPG 概念的答對率有顯著提升，而對照組沒有，顯示 CTS 對 IPPG 概念學習的成效顯著優於 TTS。

實驗組和對照組在「光合作用的功能（FP）」、「光對光反應、暗反應的影響（ILLDR）」、「植物的營養方式（PPN）」、「植物體內養分來源（SPN）」、「植物體內澱粉來源（SS）」、「植物行呼吸作用的時間（OR）」、「植物行呼吸作用的部位（LR）」和「植物的呼吸作用過程（PR）」等八個概念的 BCDT-PNE 後測答對率，比前測均有顯著提升，表示 CTS 和 TTS 都能有效增進學生對這八個概念的理解（表6）。但兩種教學策略的效果是否有顯著差異？則需要更進一步比較分析。實驗組和對照組在八個概念的

答對率提升的差異如（表7）所示，實驗組在 PPN、SPN、SS、OR 和 LR 等五個概念答對率的提升顯著高於對照組，表示 CTS 對促進學生理解這五個概念的成效顯著優於 TTS。另外，實驗組與對照組在 ILLDR 這個概念的答對率提升差異雖未達0.05的顯著水準，但已達0.10的顯著水準（p = 0.071），亦反應出 CTS 比 TTS 更能有效增進 ILLDR 的理解。為了提升反應 CTS、TTS 對增進 ILLDR 學習差異的機率，研究者採用0.10的顯著水準做為判斷標準，雖然會提升第一類型錯誤的概率，但因 CTS 和 TTS 皆能有效提升學生對 ILLDR 的理解，所以犯第一類型錯誤的嚴重程度應可被接受，因而採用0.10的顯著水準以提升統計考驗力，增加反應 CTS、TTS 對增進概念理解差異的機率。實驗組和對照組在 FP 及 PR 兩個概念的答對率提升沒有顯著差異，表示 CTS 和 TTS 兩種教學策略對增進這兩個概念的理解並無顯著差異。

表 6：實驗組與對照組 BCDT-PNE 前後測答對率之卡方分析

題號	概念	實驗組			對照組		
		答對率（%）		χ^2	答對率（%）		χ^2
		前測	後測		前測	後測	
1	ILP	53.8	54.5	0.010	56.8	60.4	0.688
2	FP	36.4	56.8	29.260**	30.4	49.6	28.321**
3	ILLDR	24.2	54.9	48.855**	24.0	47.6	31.439**
4	PPN	48.9	65.9	18.438**	48.0	58.8	6.563*
5	SPN	11.4	36.0	43.116**	11.6	27.2	20.338**
6	SS	27.3	48.1	26.270**	31.6	40.0	4.819*
7	IPPG	49.2	58.7	5.486*	48.8	49.6	0.013
8	OR	63.3	76.1	20.942**	66.8	73.6	4.339*
9	LR	30.7	54.2	35.104**	27.2	40.4	10.341**
10	CPR	45.1	50.0	2.215	50.0	55.2	2.526
11	PR	39.0	48.5	6.621*	47.2	55.6	4.819*

*$p < 0.05$；**$p < 0.01$

表 7：實驗組與對照組在 BCDT-PNE 前後測答對率顯著提升試題之卡方分析

題號	概念	答對率提升（%）		χ^2	p	教學成效
		實驗組（E）	對照組（C）			
2	FP	20.5	19.2	0.127	0.722	E = C
3	ILLDR	30.7	23.6	3.249	0.071	E = C
4	PPN	17.0	10.8	4.158	0.041	E > C
5	SPN	24.6	15.6	6.475	0.011	E > C
6	SS	20.8	8.4	15.754	0.000	E > C
7	IPPG	9.5	0.8	19.392	0.000	E > C
8	OR	12.9	6.8	5.309	0.021	E > C
9	LR	23.5	13.2	9.015	0.003	E > C
11	PR	9.5	8.4	0.180	0.671	E = C

綜合前述的結果顯示：(1)CTS 對促進學生七個科學概念（PPN、SPN、SS、IPPG、OR、LR、ILLDR）的學習，成效顯著比 TTS 為佳;(2)CTS 和 TTS 都能有效促進學生對 FP 和 PR 兩個科學概念的學習，惟兩種教學策略的效果並無顯著差異；(3)CTS 與 TTS 都無法有效增進學生對 ILP 和 PR 兩個科學概念的學習。以下針對前述結果進行深入的分析和討論：

(一)CTS 的教學成效顯著優於 TTS 的科學概念

CTS 對 PPN、SPN、SS 和 IPPG 四個概念的學習，顯著比 TTS 有較佳的增進成效。仔細分析這四個概念的內容發現與「植物的養分」相關，而學生在學習「植物的養分」概念時，習慣以「根吸收植物生長發育所需的所有養分」的另有概念加以解釋，由於實驗組教師在教授「植物的養分」相關概念過程中，先介紹 van Helmont 的柳樹實驗（測量種植柳樹之泥土的重量變化），要求學生預測實驗結果，藉此引出學生的先存概念，接著以小組討論、小組發表結果的方式，讓學生組織想法，教師則於討論後提供 van Helmont 的實驗結果，要求學生與其預測相互比對，營造認知衝突的情境，再以全班討論逐步幫助學生建構科學概念。這樣的教學設計可以讓學生經由討論、辯證的過程，修正或改變「植物可以從土壤吸收生長發育所需的所有養分」的另有概念，進而瞭解「水分和礦物質是由植物的根吸收」，建構正確之「植物的營養方式」，亦即「植物利用光合作用製造生長發育所需的養分」的概念。因此實驗組學生對 PPN、SPN、SS 和 IPPG 四個與「植物的養分」相關概念的學習，顯著優於對照組學生。

CTS 對 OR 和 LR 兩個概念的學習顯著比 TTS 有較佳成效的原因，可能是實驗組教師教授「呼吸作用」的相關概念時，設計能幫助學生釐清「呼吸」、「呼吸作用」和「呼吸運動」差異的教學活動，亦設計能營造認知衝突的問題挑戰學生的想法，幫助他們瞭解「呼吸作用的功能是產生細胞活動所需的能量」與「細胞隨時都需要能量維持生理活動」兩個概念，進而使學生理解「植物在任何時間、植物體的任何部位都要持續行呼吸作用」的概念。因而使實驗組學生對 OR 和 LR 兩個概念的學習顯著優於對照組學生。

在 CTS 較 TTS 有較佳成效的概念中，SPN 和 SS 屬於較為複雜的概念，包含三個不同的次概念（sub-concept）：(1)光合作用能製造有機養分（葡萄糖）；(2)光合作用的主要產物（葡萄糖）可轉變成其他種類的有機養分；(3)光合作用製造及轉變成的養分可被運送到植物的不同部位儲存。學生需要理解三個次概念，並整合形成完整的概念架構，才能真正理解 SPN 和 SS 兩個概念。實驗組教師設計的 CTS 以「植物如何使用光合作用的主要產物（葡萄糖）」、「光合作用主要產物和其他有機養分（蛋白質、脂質或維生素）的關係」、「光合作用的主要產物如何被運送到植物體的不同部位」等問題做為討論題目，讓學生經由討論過程思考植物體內養分來源的概念，使學生在學習過程中，藉著與教師或同儕討論、互動的過程，獲得自我澄清、反思、辯論及解決認知衝突的機會，釐清自己的概念與科學概念的差異，進而將不同的概念加以整合形成完整的概念架構。所以 CTS 對 SPN 和 SS 概念的學習比 TTS 具有較佳的成效，這個結果也顯示 CTS 比 TTS 更能有效促進複雜概念的建構和理解。

ILLDR 對七年級學生而言是一個全新的概念，因為概念中包含了「光反應」和「暗反應」兩個全然陌生的名詞（概念），小學的課程中並沒有這兩個名詞（概念）。而實

驗組教師在運用 CTS 教授光合作用的過程，設計了「光合作用劇場」的教學活動，讓學生扮演參與光合作用的原料（二氧化碳、水）、產物（葡萄糖、水和氧氣）、能量（太陽光）和酵素，以角色扮演的方式說明光合作用，幫助學生理解光反應、暗反應的過程。另外，實驗組教師還會要求學生利用他們熟悉的日常生活事物關係，類比光合作用反應過程中的氧氣、二氧化碳、日光、酵素的角色，例如：以工廠的原料、工人、產品…等想法類比光合作用的二氧化碳、酵素和葡萄糖，幫助學生理解光反應、暗反應兩個陌生的概念。這樣的教學設計善用類比和角色扮演的策略，結合日常生活的經驗，應該比 TTS 更能幫助學生理解光反應與暗反應的過程。

(二)CTS 與 TTS 均顯著增進理解的科學概念

CTS 和 TTS 都能有效增進 FP 和 PR 概念的學習，且兩種教學策略的成效並無顯著差異。其原因可能是 FP 和 PR 兩個概念是屬於描述性或定義性的概念，FP 在定義「光合作用」，而 PR 則在描述植物、動物的呼吸作用氣體交換過程的異同。在教授 FP 和 PR 的過程，不論是 CTS 或 TTS，教師只要能清楚說明概念的定義或明確解釋概念描述的過程，就可以幫助學生理解。因此， CTS 和 TTS 對幫助學生理解「定義的」或「描述的」概念，具有相同的成效。

(三)CTS 與 TTS 均無法顯著增進理解的科學概念

不論 CTS 或 TTS 對 ILP 和 CPR 兩個概念的學習都沒有顯著的增進效果。仔細分析學生對 ILP 概念所具有另有概念，結果發現實驗組（CTS）和對照組（TTS）在教學後仍有約25% 和20% 的學生認為「植物需要太陽的光和熱才能進行光合作用」。究其原因，可能是學生對於能量的概念仍缺乏深入理解，導致無法區分「光能」和「熱能」是不同的能量形式。加上學生受到「曬太陽會感覺到熱」的生活經驗影響，使學生認為植物行光合作用不僅需要太陽的光，也需要「熱」。另外，在 CTS 的定位階段，教師在問答、討論的過程中，並未診斷出學生對「太陽能」概念的想法可能包含光和熱兩種能量，因而在認知衝突階段未設計適當的教學活動幫助學生區分光能和熱能的差異，產生認知衝突，進而對其另有概念進行反思和澄清，以達成概念改變，所以學生無法修正「植物需要太陽的光和熱才能進行光合作用」的另有概念。

CPR 是有關光合作用和呼吸作用過程和進行時間是否相同的概念。依據（表5）的結果，不論前測或後測，實驗組和對照組皆有約半數的學生存有另有概念。經由結果分析發現，學生主要具有兩種另有概念，即：(1)光合作用和呼吸作用的過程是不同的，植物在白天行光合作用，在晚上行呼吸作用；(2)光合作用和呼吸作用的過程是相同的，在白天進行稱為光合作用，在晚上進行則稱為呼吸作用。過去國外的研究也曾報導學生具有類似的另有概念（Wood-Robinson, 1991），有些研究甚至揭露大學生也具有類似的想法，也就是將光合作用和呼吸作用視為互補的作用（白天行光合作用，晚上行呼吸作用）或相同的作用（Amir & Tamir, 1994）。這些研究的結果都顯示光合作用和呼吸作用的過程和進行時間的比較，容易讓學生產生不易改變的另有概念。Cañal（1999）曾指出學生將光合作用和呼吸作用視為相同作用的想法，可能來自中學的教學及課程，而在本研究中，教師應用 CTS 還是無法幫助學生改變想法，無法減少學生的另有概念，是否意味我國的國中生物教材的確會讓學生容易對光合作用和呼吸作用產生混淆？或者是 CTS

的設計仍不足以促使學生的另有概念產生概念改變？值得更進一步深入探究。

伍、結論與建議

一、結論

本研究發展的 CTS 具有「重視學生另有概念」、「營造認知衝突情境」和「利用同儕、師生的討論互動模式」三項特徵，研究結果也顯示 CTS 相較於 TTS 能有效促進學生對「植物的養分與能量」整體概念的學習，顯示符合建構論理念的教學策略，對增進學生的概念學習頗為有效。

CTS 和 TTS 對不同的科學概念之學習具有不同的成效，就本研究探究的十一個概念來說，CTS 對與「植物的養分」相關的 PPN、SPN、SS 及 IPPG 四個概念和「植物的呼吸作用」相關的 OR 和 LR 兩個概念，顯著比 TTS 更能增進學習成效。學生在「植物的養分」相關的四個科學概念具有一個重要的另有概念，即「根是植物取得養分的主要器官」，在「植物的呼吸作用」相關的兩個科學概念，則因無法理解「呼吸作用是維持細胞生理活動的生理反應」概念而產生另有概念，因為 CTS 能針對重要的另有概念與不易理解的科學概念，利用討論、辯論、類比、角色扮演等教學活動幫助學生修正另有概念並建構科學概念。所以 CTS 能比 TTS 有效地幫助學生理解與「植物的養分」和「植物的呼吸作用」兩個主題相關的科學概念。

由於 CTS 對學生學習不同特性的概念具有不同的成效，因此，符合建構論理念的教學策略，對促進學生學習不同性質的概念可能有不同的功效，科學教師瞭解這個現象，對於科學教學與學習的實務應極具啟發性。此外，本研究發現 CTS 對促進學生建構 SPN 和 SS 兩個複雜的、具有多個次概念之科學概念，顯著比 TTS 有效，此結果顯示教師在教學的過程中，讓學生有較充足的時間和機會建構自己的概念，透過與同儕或教師的互動將不同層次的次概念加以整合，組織自己的概念架構，將可有效幫助學生建構較為複雜的科學概念。

本研究的結果也發現 CTS 和 TTS 都能有效幫助學生理解 FP 和 PR 兩個屬於定義性或描述性的概念。顯示對定義性或描述性概念的學習，不論是使用符合建構論理念的教學策略或是一般常見的傳統教學策略，只要教師能清楚的、正確的闡述概念的內容，就足以幫助學生建構正確的科學概念。

二、建議

整體而言，本研究所發展的符合建構論理念的教學策略，對增進「植物的養分與能量」概念的學習，顯著較一般常見之傳統教學為佳，依據本研究的結果，作者提出下列對改進教學與師資教育的建議：

1. 科學教師應該精鍊發展符合建構論理念教學策略（CTS）的能力，以有效幫助學生學習科學概念。
2. CTS 和 TTS 對不同特性或屬性之科學概念的學習具有不同效果，建議教師可利用 CTS 來幫助學生建構複雜的、具有多個次概念的科學概念；而 CTS 和 TTS 皆適合幫助學生學習定義性、描述性的科學概念。
3. CTS 對不同本質（特性或屬性）之科學概念具有不同學習效果的結果值得特別重視，因為若能釐清 CTS 和概念本質間的關係，對 CTS 的發展可提供更明確的方向，對 CTS 的推廣應用也能提供更堅實的證據。
4. 本研究發展的 CTS 利用「角色扮演」、「生活經驗類比」的方式能有效增進學

生理解陌生、不熟悉的科學概念，建議科學教師在教授陌生的或學生缺乏先存概念的科學概念時，可設計「角色扮演」或「生活經驗類比」的教學活動，幫助學生建構科學概念。

5.CTS 無法有效增進學生理解「光對光合作用的影響」的科學概念，可能因為學生在學習光合作用單元之前，缺乏完整的「能量型式」概念，因此教師應該如 Simpson 和 Arnold（1982）所建議的，在教授光合作用單元之前，先教授能量概念，以減少能量概念對光合作用概念學習的影響。

6.CTS 無法有效幫助學生釐清光合作用和呼吸作用的過程和進行時間的概念，所以生物教師在設計 CTS 時應重視光合作用和呼吸作用生理功能的比較，減少氣體交換過程的說明和兩者進行時間的比較。而課程設計者也應加強描述光合作用和呼吸作用的生理功能，避免過度強調兩個生理反應的氣體交換過程。

致　　謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會資助經費方得以完成，計畫編號為 NSC 90-2511-S-003-040，謹此敬致謝忱。

參考文獻

1. 吳穎沺和蔡今中（2005）：建構主義式的科學學習活動對國小高年級學生認知結構之影響—以「電與磁」單元為例。**科學教育學刊**, **13**(4), 387-411。
2. 林達森（2004a）：運用「概念構圖科學教學模式」在高中生物科生物能量教學的實徵研究。**南大學報：教育類**, **38**(2), 45-67。
3. 林達森（2004b）：併用概念圖於國中學生合作學習歷程之研究。**南華通識教育研究**, **2**, 39-67。
4. 林達森（2005）：不同導入訓練歷程之「概念構圖教學法」對國小階段生物能量概念學習與態度影響之實徵研究。**高雄師大學報**, **19**, 105-122。
5. 邱耀德和耿正屏（1994）：國二學生之人體循環系統另有架構的探究。**科學教育**, 53-71。
6. 梁志平和佘曉清（2006）：建構主義式的網路科學學習對國中生力的概念學習之研究。**科學教育學刊**, **14**(5), 493-516。
7. 許瑛玿和謝惠珠（2004）：應用概念改變教學策略在颱風常識的學習。**師大學報：科學教育類**, **49**(1), 15-40。
8. 郭金美（1999）：建構主義教學方法—影響學童光學概念學習教學模式的研究。**嘉義師院學報**, **13**, 157-201。
9. 游淑媚（2003）：中、小學學生對生物腐化原因的想法類型。**師大學報：科學教育類**, **48**(2), 165-196。
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. 黃台珠（1993）：中學生遺傳學習的現況及問題。**高師大學報**, **4**, 269-300。
12. 盧秀琴（2003）：顯微鏡下的世界兩階層診斷測驗式紙筆測驗的發展與效化。**國立臺北師範學院學報：數理科技教育類**, **16**(1), 127-166。
13. 盧秀琴和林玟均（2006）：高中生細胞膜生理現象概念改變教學之發展研究。**國立臺北教育大學學報：數理科技教育類**, **19**(1), 67-93。
14. Amir, R., & Tamir, P. (1994). In-depth analysis of misconceptions as a basis for developing

research-based remedial instruction: The case of photosynthesis. *The American Biology Teacher, 56*(2), 94-100.

15. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. San Francisco: Holt, Rinehart, & Winton.
16. Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education, 33*(2), 84-86.
17. Barrass, R. (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. *Journal of Biological Education, 18*, 201-206.
18. Bigge, M. L., & Shermis, S. S. (1999). *Learning theories for teachers*. New York: Longman.
19. Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science, 18*, 237-261.
20. Burry-Stock, J. A., & Oxford, R. L. (1994). Expert science teaching educational evaluation model (ESTEEM) for measuring excellence in science teaching for professional development. *Journal of Personnel Evaluation in Education, 8*(3), 267-297.
21. Burry-Stock, J. A. (1995). *Expert science teaching evaluation model (ESTEEM): Theory, development, and research.* Kalamazoo, MI: The Evaluation Center, Western Michigan University.
22. Cañal, P. (1999). Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: An inevitable misconception? *International Journal of Science Education, 21*(4), 363-372.
23. Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 3-28). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
24. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2 ed.)*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
25. Cosgrove, M., & Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in science: The implications of children's science* (pp. 100-111). Auckland, London, Portsmouth: Heinemann.
26. Dreyfus, H. L., & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine*. New York: Free Press, a division of Macmillan Inc.
27. Driver, R. (1988). Theory into practice 2: A constructivist approach to curriculum develop-ment. In P. Fensham (Ed.), *Development and dilemmas in science education* (pp. 133-149). London, New York, Philadelphia: The Falmer Press.
28. Duit, R. (2007). *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel, Germany: IPN - Leibniz Institute for Science Education (http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse).
29. Duit, R., & Treagust, D. F. (1995). Students' conceptions and constructivist teaching approaches. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (Eds.), *Improving science education* (pp. 46-69). Chicago: The University of Chicago Press
30. Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in science - From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education, Part 1* (pp. 3-25). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press.
31. Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving

science teaching and learning. *International Journal of Science Education, 25*(6), 671-688.

32. Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: constructing conceptual models. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 3-33). New Jersey: Law-rence Erlbaum Associates.
33. Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education, 21*(3), 203-211.
34. Hazel, E., & Prosser, M. (1994). First-year university students' understanding of photosynthesis, their study strategies & learning context. *The American Biology Teacher, 56*(5), 274-279.
35. Hewson, P. W. (1996). Teaching for conceptual change. In D. F. Treagust, R. Duit & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 131-140). New York: Teachers College Press.
36. Hewson, P. W., & Hewson, M. G. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science, 13*, 1-13.
37. Huang, D.-S. (1996). A study of children's conceptions of life, animals, and plants as well as their alternative conceptions. *PNSC, Part D, 6*(1), 39-46.
38. Kao, H.-L. (2007). A study of aboriginal and urban junior high school students' alternative conceptions on the definition of respiration. *International Journal of Science Education, 29*(4), 517-533.
39. Kinchin, I. M. (2000). Confronting problems presented by photosynthesis. *School Science Review, 81*(297), 69-76.
40. Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). *A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills*. National Association for Research in Science Teaching.
41. Lawson, A. E., & Rissing, S. W. (1990). An inquiry approach to nonmajors biology. *Journal of College Science Teaching, 19*(6), 340-346.
42. Lin, S.-W. (2004). Development and application of a two-tier diagnostic test for high school students' understanding of flowering plant growth and development. *International Journal of Science and Mathematics Education, 2*(2), 175-199.
43. Lord, T. R. (1994). Using constructivism to enhance student learning in college biology. *Journal of College Science Teaching, 23*(6), 346-348.
44. Lumpe, A. T., & Staver, J. R. (1995). Peer collaboration and concept development: Learn-ing about photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching, 32*(1), 71-98.
45. National Research Council. (1990). *Fulfilling the promise: Biology education in the nation's schools*. Washington, DC: National Academy Press.
46. Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
47. Odum, E. P. (1989). *Ecology and our endangered life support systems*. Sunderland, MA: Sinauer.
48. Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 32*(1), 45-61.
49. 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.

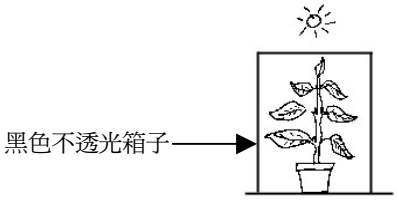
50. Seymour, J., & Longden, B. (1991). Respiration - that's breathing isn't it? *Journal of Biological Education, 25*(3), 177-183.
51. She, H.-C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: A study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education, 24*(9), 981-996.
52. She, H.-C. (2004). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of Research in Science Teaching, 41*(2), 142-164.
53. Simpson, M., & Arnold, B. (1982). Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level. *Journal of Biological Education, 16*(1), 65-72.
54. Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education, 9*(1), 105-115.
55. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10*(2), 159-169.
56. Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J. (1996). Overview: Research on students' preinstructional conceptions - the driving force for improving teaching and learning in science and mathematics. In D. F. Treagust, R. Duit & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 1-16). New York: Teachers College Press.
57. Wandersee, J. H. (1983). Students' misconceptions about photosynthesis: A cross-age study. In H. Helm & J. D. Novak (Eds.), *Proceedings of the international seminar ''misconceptions in science and mathematics''* (pp. 441-466). Ithaca, N. Y.: Cornell University.
58. Wandersee, J. H., Fisher, K. M., & Moody, D. E. (2000). The nature of biology knowledge. In K. M. Fisher, Wandersee, J. M., Moody, D. E. (Ed.), *Mapping biology knowledge* (pp. 25-38). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
59. Wang, J.-R. (2004). Development and validation of a two-tier instrument to examine understanding of internal transport in plants and the human circulatory system. *International Journal of Science and Mathematics Education, 2*(2), 131-157.
60. Wood-Robinson, C. (1991). Young people's ideas about plants. *Studies in Science Education, 19*, 119-135.

附錄一 「生物概念診斷測驗—植物的養分與能量（BCDT-PNE）」之命題知識陳述、命題說明、問題設計與科學概念對照表

命題知識陳述	題號	命題說明	問題設計	科學概念
光合作用必須在有光的情況才能進行。	1	光對光合作用的影響	在黑色不透光箱子中的植物可否進行光合作用？	光合作用需要光才能進行。
	3	光對光反應、暗反應進行的影響	在有光時，植物會不會進行光反應或暗反應？	在光反應中，葉綠素吸收光能使水分解產生氧；暗反應是不依賴光即能進行的反應，主要功能為固定二氧化碳，產生葡萄糖。
光合作用的主要功能是合成植物生長發育所需的有機養分。	2	光合作用的功能	光合作用對植物來說最主要的功能是什麼？	光合作用的主要功能是合成植物生長所需的養分。
植物由外界吸收水和二氧化碳進行光合作用，合成所需的養分。	4	植物的營養方式	為何水稻可以生長發育？	植物由外界吸收水和二氧化碳，合成生長發育所需的養分。
儲存在植物體的有機養分是葉行光合作用製造的，而無機養分則是由根部吸收而來。	5	儲存於植物不同部位之養分的來源	甘薯的塊根和龍眼的果實內所含的養分，來源是否相同？	儲存在植物根部和果實中的有機養分是葉子行光合作用製造的，而無機養分則是由根部吸收而來。
	6	儲存於植物體內之澱粉的來源	甘薯裡的澱粉是哪裡來的？	光合作用產生的糖會進一步轉變成澱粉儲存在植物體內。
植物需要進行光合作用合成生長發育所需的養分，以維持正常生長。	7	光合作用與植物生長的關係	水耕蔬菜生長於含有足夠且適量養分的營養液中，是否還會進行光合作用？	植物生長所需的養分主要來自光合作用，水耕營養液只是提供植物生長所需的礦物質。
動植物任何時候都在進行呼吸作用產生能量以維持生命。	8	植物進行呼吸作用的時間	在陽光下，一棵植物可直接照到陽光，另一棵植物無法照到陽光（位於黑色不透明的箱子中），哪一棵植物會行呼吸作用？	植物細胞任何時候都需要進行呼吸作用產生能量，以維持個體的活動。
生物細胞會進行呼吸作用，分解養分產生細胞活動所需的能量。	9	植物進行呼吸作用的部位	植物的根毛細胞會不會進行呼吸作用？	植物細胞都會進行呼吸作用。
植物只在白天有光時會行光合作用，而任何時候都在進行呼吸作用。	10	光合作用與呼吸作用的比較	植物白天只進行光合作用，晚上只進行呼吸作用嗎？	植物的光合作用和呼吸作用之過程不同，植物白天行光合作用，而任何時候都在進行呼吸作用。
動物和植物都會吸收氧氣進行呼吸作用，釋放出二氧化碳。	11	植物的呼吸作用與氣體交換過程	植物是否和動物一樣會呼吸，消耗氧氣，產生二氧化碳？	動物和植物都會吸收氧氣進行呼吸作用，釋放出二氧化碳。

附錄二　生物概念診斷測驗—植物的養分與能量（Biology Concept Diagnostic Test – Plant Nutrients and Energy, [BCDT-PNE]）

1、將一棵植物放在黑色不透光的箱子裡如下圖所示，這時這棵植物可不可以行光合作用？



(A)可以

(B)不可以

理由：

(1)只要是白天植物就可以行光合作用。

(2)沒有照光植物不能行光合作用。

(3)植物需要太陽的光和熱才能行光合作用，少一樣就不行。

(4)如果植物缺氧氣，它就會行光合作用製造氧氣，如果不缺氧就不會行光合作用。

(5)沒有氧氣，植物無法存活。

(6)其他：

2、光合作用對植物來說最主要的功能是什麼？

(A)使地球上的空氣變得更新鮮。

(B)提供氧氣讓其他生物呼吸。

(C)讓綠色的植物維持翠綠。

(D)合成生長、發育所需要的養分。

理由：

(1)光合作用吸入和呼出的氣體和呼吸作用正好相反，可以吸入動物不要的二氧化碳，使空氣變得更新鮮。

(2)光合作用可以呼出氧氣，可以提供給其他生物行呼吸作用。

(3)植物體內的葉綠體必須吸收陽光進行光合作用才能維持綠色。

(4)光合作用可以利用二氧化碳和水合成植物體內所需的養分。

(5)其他：

3、光合作用的過程包含「光反應」和「暗反應」兩個階段，在有光時，植物會不會進行「暗反應」？

(A)會

(B)不會

理由：

(1)植物在有光時進行「光反應」，沒有光時才進行「暗反應」。

(2)不管「光反應」或「暗反應」都要在有光的情形下進行。

(3)「光反應」一定要在有光的情形下進行，「暗反應」就不一定。

(4)其他：

4、田裡的稻米靜靜地站著，默默的成長，請問它為何可以生長發育？

(A)由外界直接吸收養分。

(B)由外界吸收原料，自行製造養分。

理由：

(1)農夫施肥，供應稻米生長發育時所需的所有營養，這樣稻米才能長大。

(2)水和土壤所提供的養分和植物生長所需的養分不同，所以水稻還是需要由外界吸收原料，來自行製造養分。

(3)水稻可以從土壤中獲得所有生長所需的養分，不必花力氣自己製造。

(4)太陽能能夠直接供應植物體內所需的能量，植物只要吸收太陽能，不必養分就可生長。

(5)其他：

5、甘藷的塊根和龍眼果實內的養分來源是一樣的嗎？

(A)一樣的

(B)不一樣的

理由：

(1)甘藷的養分是根吸收來的，龍眼的養分則是葉製造的。

(2)甘藷和龍眼的養分都是葉製造的。

(3)甘藷和龍眼的養分都是根吸收來的。

(4)其他：

6、甘藷裡的澱粉是哪裡來的？

(A)土壤吸收來的。

(B)葉子行光合作用製造的。

(C)有些是土壤吸收來的，有些是葉子行光合作用製造的。

理由：

(1)種植甘藷的土壤中本身就含有較多的澱粉，由甘藷的根部直接吸收然後儲存起來。

(2)植物的根部可從土壤裡吸收我們所施的肥料，再把它轉變作澱粉，送到甘藷(塊根)儲存。

(3)葉子光合作用可以產生糖分，再運送到塊根部位轉變成澱粉儲存。

(4)植物體內的澱粉有些是由根部吸收來的，有些是行光合作用自行製造的。

(5)其他：

7、栽種水耕蔬菜時，如果在水中添加足夠且適量的營養液，這蔬菜可否不照光，不行光合作用？

(A)可以。

(B)不可以。

理由：

(1)營養液中的成分和光合作用產生的養分不同，蔬菜無法只靠水中的營養液而生存。

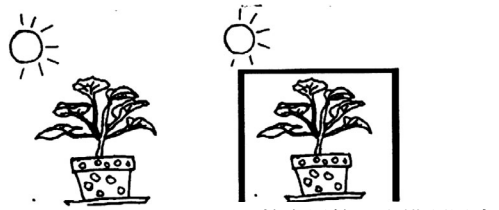
(2)營養液中可獲得足夠的養分，不需要再進行光合作用。

(3)如果所有的養分都是從根部吸收，根的負擔太重，所 以還需要行光合作用。

(4)其他：

8、如下圖兩組實驗處理，你認為哪些組別的植物在行呼吸作用呢？

(A)只有甲。
(B)只有乙。
(C)甲、乙都會。
(D)甲、乙都不會。
理由：
(1)植物在陽光照射下才能進行呼吸作用。
(2)植物在沒有陽光照射的情形才進行呼吸作用。
(3)不論白天或黑夜，植物都在進行呼吸作用。
(4)只有動物會行呼吸作用，植物並不進行呼吸作用。
(5)其他：


甲、放在陽光下　乙、放在黑箱子中模擬黑夜

9、植物的根毛細胞會不會進行呼吸作用？
(A)會
(B)不會
理由：
(1)植物全身細胞都會進行呼吸作用。
(2)葉部細胞只行光合作用，根毛細胞只行呼吸作用。
(3)根毛細胞負責吸水，和呼吸作用無關。
(4)葉子有氣孔，才會進行呼吸作用，根毛細胞不會。
(5)植物全身細胞都不會行呼吸作用。
(6)根在土裡，接觸不到空氣，不會進行呼吸作用。
(7)其他：

10、對於「植物在白天只進行光合作用，晚上只進行呼吸作用」的說法，你同意嗎？
(A)同意
(B)不同意
理由：
(1)植物會進行光合作用，不會進行呼吸作用。
(2)光合作用和呼吸作用的過程是相同的，在白天稱為光合作用，在晚上則稱為呼吸作用。
(3)光合作用和呼吸作用的過程是不同的，植物在白天行
光合作用，在晚上才行呼吸作用。
(4)光合作用和呼吸作用的過程是不同的，植物在白天行
光合作用，但白天和晚上都要進行呼吸作用。
(5)其他：

11、動物會呼吸，消耗氧氣，產生二氧化碳。植物也會嗎？
(A)會。
(B)不會。
理由：
(1)只要是生物，身體的每個細胞都要呼吸才能維持它的活動。

(2)植物也會呼吸，但是吸二氧化碳吐出氧氣。
(3)植物只有晚上才會呼吸，白天有光時不會。
(4)植物只有氣孔的部分在呼吸，其他部分不會。
(5)植物只有綠色部分在呼吸，其他部分不會。
(6)植物只要行光合作用就可以了，不必行呼吸作用。
(7)其他：

Effects of Constructivist Teaching Strategies on Seventh Graders' Learning of Plant Nutrient and Energy Concepts

Chih-Ming Tu[1], Show-Yu Lin[2],

Miao-Li Changlai[3] and Yeong-Jing Cheng[1]

[1]Department of Life Science, National Taiwan Normal University

[2]Department of Natural Science, Alethesia University School of General Education

[3]General Education Center, Chung Kuo Institute of Technology

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of "constructivist teaching strategies [CTS]" and "traditional teaching strategies [TTS]" on students' understanding of plant nutrient and energy concepts. Four experienced teachers were involved in this study as the collaborating teachers. Two of them were assigned to the experimental group using CTS to teach biology, while the other two employed TTS to teach biology to the subjects in the control group. The subjects, both in the experimental group (286 students) and the control group (297 students), received instructions on plant nutrients and energy for nine 45-minute class periods. Students' understanding of plant nutrient and energy concepts were assessed by the Biology Concept Diagnostic Test – Plant Nutrients and Energy (BCDT-PNE), developed in this study. By analyzing the differences in pretest-posttest scores of BCDT-PNE between the experimental group and the control group, the effects of CTS and TTS on learning of plant nutrient and energy concepts were investigated. The results of the study indicated that the CTS produced significantly better result than did TTS on facilitating students' learning of PNE concepts as assessed by the BCDT-PNE; particularly on the learning of concepts related to "the patterns of plant nutrition," "the sources of plant nutrient," "the sources of starch," "the influences of photo-synthesis on plant growth," "the occasions of respiration," "the locations of respiration" and "the influences of light on light and dark reaction."

Key words: Concept Learning, Constructivist Teaching Strategies, Plant Nutrients and Energy