

第貳章 文獻探討

本章共分為四節，分別從「概念的改變」、「光合作用概念的學習」、「數位學習與概念改變」與「動態評量與概念改變」四個主題來進行文獻探討。第一節將說明迷思概念與學習之間的關係，接著敘及概念改變的相關理論及實徵性研究；第二節將針對光合作用的概念與國內外所發現之學童持有的迷思概念進行說明；第三節則著手探討數位學習之理論與教學特性，以及其應用於科學學習之實徵性研究；第四節則針對動態評量及其應用於概念改變之相關性研究進行介紹。

第一節 概念的改變

本節將針對概念的改變進行深入介紹。首先介紹「迷思概念」，然後針對「概念改變之相關理論」與「促進概念改變之實徵性研究」進行探討。「迷思概念」的部份，將敘及迷思概念的定義及其對於學習的影響；「概念改變之相關理論」的部份，會介紹 PSHG 模式、Chi 的概念改變理論以及 Vosniadou 的概念改變理論；「促進概念改變之實徵性研究」的部份，則將針對應用上述概念改變之相關理論開發教材應用於教學的相關實徵性研究，進行深入介紹。

一、迷思概念

許多研究指出學童在進到教室之前即擁有許多自己的想法，其心靈不若「白板 (tabula rasa)」亦非「空的花瓶 (not an empty vessel)」，全然接受學校教師所灌輸的知識，這些在教學前所持有的想法、概念稱之為教學前概念

(pre-instructional conception)、先存概念或先前概念 (preconception) (Solomon, 1994; Treagust, Duit, & Fraser, 1996; 邱美虹, 2000)。

然而，學生在教學前對於自然現象所擁有的這些概念、想法與解釋，往往都與科學社群所公認的科學知識不同，學者們對於學童的這些先前概念隨著其見解

的不同而有不同的命名，例如：迷思概念（misconception）、另有概念（alternative conception）、另有架構（alternative framework）或兒童科學（children's science）等（熊召弟、王美芬、段曉林和熊同鑫譯，1996）。而依據 Andersson（1990）與 Hewson（1985）等學者的觀點認為，大多數學生對於某些學科或現象抱持的概念與解釋，有一些比較相近的想法，但是，這些想法卻與目前該學科或現象的社會共同認知體系有著不同的概念架構，或與科學社群所接受的概念不符合，因而將之稱為迷思概念。學童在這些學科領域所持有的迷思概念往往具有堅固、一致、持久等特徵（Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994），且會抗拒或阻礙學童進行相關概念的學習。但是，科學學習的目的之一即是讓學童持有的迷思概念，經過教學後產生認知結構的重組，而漸趨科學社群所公認的知識，或與社會共同認知的體系有相近或相似的概念架構；這個認知重組的過程即稱之為概念改變。

隨著 1980 年代對於學童所持有之迷思概念研究的蓬勃發展，我們已獲知大量學童於各科學概念上的相關迷思概念，但是，如何讓學童能在學習的過程中產生概念改變便是眾多學者所關切的議題，因此，陸續有學習提出一些概念改變的理論與相關教學策略，作為教育研究者之參考，以輔助學童在科學概念上的學習，以下將簡述概念改變的相關理論與教學策略。

二、概念改變之相關理論

（一）PSHG 模式

該模式是 Posner, Strike, Hewson, & Gertzog 於 1982 年，基於 Kuhn、Toulmin 和 Lakatos 的認識論基礎與迷思概念研究之大量文獻的歸納整理所提出，嘗試解釋人們核心的概念是如何被置換與改變的，他們認為學習是一種探究、理性的活動，學生必須基於可利用的證據來進行判斷，並主張以 Piaget 之同化與調適的觀點來看待概念改變，因而提出概念改變的四個機制（Strike & Posner, 1992），整理如下：

1. **對於原概念的不滿足：**除非舊概念已無法再透過小範圍修正來解釋衝突點，否則人們是不會輕易放棄舊概念而採納新概念的。
2. **新概念必須是可以被理解的：**人們要能夠採納新概念前必須對其有部份的瞭解，不然新概念是不可能成為取代舊概念的候選者，因為新概念相較於舊概念而言，通常是非直觀且難以理解的。
3. **新概念必須是合理的：**一個新概念要成為取代舊概念的候選者，倒不必然一開始看起來就是個事實，但一定要具有潛力可以解決舊概念的顯著衝突與問題，並且和其他已建立的良好信念一致。
4. **新概念必須是有效的：**新概念必須具有潛力去解決現有的問題，並具有啟發的意義。

由上述機制可以看出作者的假定是，學習發生在概念的脈絡中，而舊概念和可能取代它們的概念是能夠被學習者以他們所擁有的概念所瞭解和評價的。然而，作者於1982年提出之原概念改變理論，因其所隱含的假設而遭受了一些批評，Strike & Posner（1992）也體認到原理論過於強調理性與線性，而忽略了情感與社會議題，故對此提出修正，並更擴大原有對於「概念生態」的闡明，其不但將學習者的動機、目的與教學和社會資源等因素納入「概念生態」中，並更強調了科學概念與迷思概念本來即屬於概念生態的組成，不斷地與其他組成進行交互作用，故學習者之概念生態是以動態、持續交互作用的方式發展的。

(二) Chi的概念改變理論

此為Chi於1992年基於個體認知結構與過程所提出之概念改變理論，其從本體論的觀點來分析個體的概念結構，並以認識論、形而上學與心理學三個假設為其理論背景（Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994），提出不相容理論（incompatibility hypothesis）來闡述為何概念改變是困難的？

Chi (1992) 與 Chi, Slotta, & de Leeuw (1994) 基於本體論的觀點，將個體的認知結構分為物質 (matter)、過程 (process) 與心智狀態 (mental state) 三個類別，物質是指具有特定屬性的東西，過程指的是事件的發生，可能具有順序、因果等特質，而這些特質便反映出該類別的屬性，而心智狀態則指情意的部分。這三個類別的本體屬性與本質是迥異且互相獨立的，其下還包含多種分類，例如物質包含有自然種類與人造物質兩大類別，過程包含步驟、事件與滿足限制條件為主的交互作用 (Constraint-Based Interaction, CBI) 三類，心智狀態則包含有情緒的與意圖的兩類。其中，過程的本體樹已經過多次修正，CBI 類別曾更名為平衡過程 (equilibration process, EP) 與突現過程 (emergent process) 類別。由於此三類別具有迥異之屬性、互不隸屬且各自獨立，因此，一旦個體的認知將概念錯置在不同於科學概念所隸屬之類別中，則會產生迷思概念，倘若個體經過某些因素而將概念重新歸回其應屬之類目內，則產生了概念改變。

Chi (1992) 將概念改變的過程分為「類別內的概念改變 (within ontological conceptual change)」與「類別間的概念改變 (across ontological conceptual change)」，而此本體樹內或本體樹間的概念轉換，可能是瞬間、突然地改變，亦有可能是一個緩慢進行的過程。「類別內的概念改變」是指在同一本體樹下之概念的重新分派，此類改變多因缺乏知識或練習所致，可視為一種信念修正 (belief revision) 或非根本的概念改變 (nonradical conceptual change)；而「類別間的概念改變」則屬跨越本體樹之類別的重新分派，基於不相容理論的假設，跨越兩個不同本體屬性類別之重新分派的難度較「類別內的概念改變」來得高，故稱之為根本的概念改變 (radical conceptual change) (邱美虹，2000)。

然而，Chi (2005) 更進一步將過程類別中的突現過程 (emergent process) 詳細定義，其認為過程類別有「直接過程 (direct process)」(例如：血液循環) 與「突現過程」(例如：擴散作用)，兩者在本體上的屬性是迥異的，「直接過程」

不管在巨觀或微觀上都較「突現過程」來得容易理解，故較不會產生迷思概念，但「突現過程」則基於學生對其因果機制與微觀層次缺乏深層的瞭解，而常將其歸為「直接過程」類別，不但造成了迷思概念，且難以進行類別內的概念改變，且學生亦可能不具有此「突現過程」類別，而有學習上的困難。

基於上述本體論的觀點 Chi et al. (1994) 指出，教師應明確地從概念間的本體差異著手來進行直接教學，或許是一個可以改善教學的策略，此外，Chi (2005) 也特別針對「過程類別」之概念改變的學習提出一些看法，指出「建立」與「本體樹的轉換」是教師協助學生改善「突現過程」之迷思概念的可能方式，也就是幫助學生建立一個一般的本體樹架構或「突現」的基模，然後再讓學生透過對新概念的同化或整合來促進其學習，Slotta 和 Chi (2006) 更嘗試以概念之本體訓練 (ontology training) 的方式來印證該想法，並提供教師一個促進「突現過程」概念學習的教學法。

(三) Vosniadou 的概念改變理論

Vosniadou (1994) 透過一系列有關兒童對於地球形狀、日夜循環、熱與力之心智模式的研究，而提出有關學童對於物理世界概念改變的模式。其主張知識獲得的過程是有一個複雜的大架構牽引著小概念鑲嵌其中，因此，其理論架構主要包含三個重要的元素—素樸架構理論 (naïve framework theory)、特殊理論 (specific theory) 和心智模式 (mental model)。素樸架構理論建立在幼兒早期，並構成某些功能性本體論和知識論的預設 (presupposition)；特定理論是指被描述成概念所嵌入之概念領域 (domain) 的內部結構 (internal structure)，是由一組有相互關係的命題或描述物件之屬性和行為的信念所構成；信念是建基於素樸架構限制下對觀察和文化資訊的解釋；心智模式是個體在認知運作時所產生之心智的類比表徵，是動態和衍生的表徵 (generative representations)，可巧妙地用以提供物理現象之因果的解釋，並預測物理世界的各種事件，該觀點假設了大多數

的心智模式被創造來處理特定問題解決的情境，其理論架構如下圖所示。

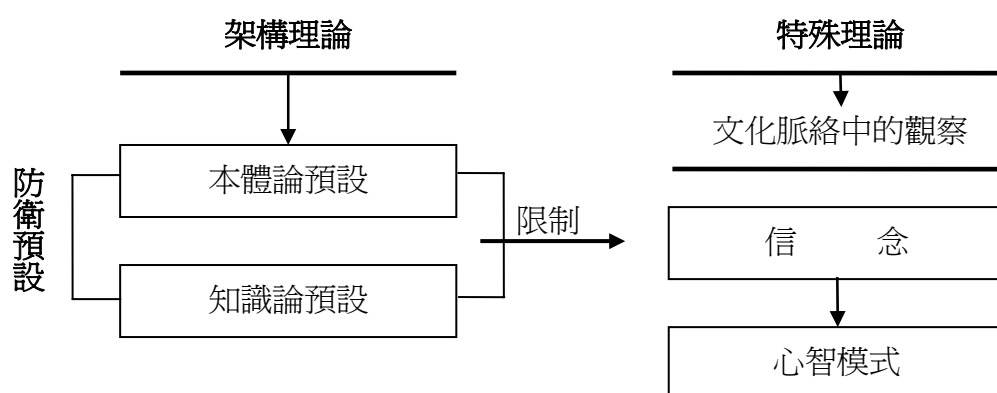


圖 2-1-1 Vosniadou 之概念改變的理論架構圖 (Vosniadou, 1994)

依據上述之理論架構，Vosniadou 主張概念改變是沿個人對物理世界心智模式的緩慢修飾來達成，修飾包含豐富（enrichment）和修正（revision）。豐富涉及將資訊以附著的機制，簡單地加到既存的理論架構下，可以說是最簡單的概念改變類型；修飾則發生在所要獲取之資訊和既存的信念、預設或與理論相關的結構不一致時，且修正可能發生在特定理論或架構理論層次上，架構理論的修正比特殊理論的修正來得困難，但若特殊理論的信念被架構理論所限制時，概念改變亦相當困難，架構理論的改變之所以困難是因為其預設呈現出解釋上的相對融貫性，且建基於每天的經驗之上，若要改變則面臨長期經驗的矛盾與衝突，故此類概念改變相當地困難，當知識獲取的過程中需要架構理論之預設進行修正，但它卻沒有達成時，便會造成學習上的困難並創造出迷思概念。此外，本體論和知識論的預設則形成了我們知識基礎的功能，而他們的修正對後續建構於其上的知識有相當重大的意涵，故其對內含之特殊理論具有限制性。

Vosniadou 認為學生強烈保有的預設是科學學習迷思概念的根本，不但會限制其學習且無法自行衰弱，故教學設計應將學生的架構理論、預設納入考量並具

有結構性之外，在教學的過程中也應培養學生後設概念的發展，使其能知覺到自己概念的不適切，以協助其建立一個更一致、更完善且更具解釋力的理論架構。

三、促進概念改變之實徵性研究

基於上述之概念改變理論，一直以來都有相當多的學者嘗試依據這些理論，發展相關的教學策略來改善學童之迷思概念，也獲得不錯的效益，以下將針對學者們所發展之相關教學策略的實徵性研究進行整理。

Wang 和 Andre (1991) 依據認知衝突的理念設計電學單元之概念改變文本並將之用於教學，研究發現，概念改變文本能增進學生有關簡單電路質性概念的獲得。而 Mikkilä-Erdmann (2001) 則基於文獻中所提及之迷思概念、認知衝突的理念與 Vosniadou 對於概念改變教學的建議——培養學生後設知覺的觀點，嘗試設計一個光合作用概念改變的文本，並探討其對於國小五年級學童光合作用理解的效益。該研究採準實驗設計，研究發現閱讀概念改變文本設計的學童，於需要適當光合作用心智模式建構之題目上表現較傳統文本組好。Çepni 和 Köse.(2006) 亦嘗試發展一個「光合作用」單元之 CAIM (Computer-assisted Instruction Material) 並將之用於高中生物的教學，該 CAIM 的設計亦是採用概念改變的策略，研究發現 CAIM 組的學生，學習顯著較傳統教學組的學生佳。

Slotta 和 Chi (2006) 則以電腦軟體設計一個突現過程教學，對於非科學主修之大學生進行本體訓練之後，再讓其自學電流單元，研究採準實驗設計，結果發現經過本體訓練的大學生，其學習效益較未經本體訓練者佳。黃佳杏 (2007) 也參考本體訓練的策略，設計含有突現本體屬性的多媒體教材，將之應用於國中自然與生活科技之恒定單元的教學，發現利用含有突現本體屬性之多媒體教材教學後的實驗組學童，其學習成就表現與概念本體的改變顯著優於對照組學童。

四、小結

學童在進到教室之前，便從日常生活中獲得許多的迷思概念，這些迷思概念往往具有堅固、一致、持久等特徵（Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994），並且會抗拒或阻礙學童進行相關概念的學習；而科學學習的目的之一即是讓學童持有的迷思概念，透過教學後產生認知結構的重組，來達成概念改變的結果。本節所介紹的概念改變理論整理如下：PSHG 模式的四個概念改變機制指出，啟動概念改變的先決條件即是讓學生產生認知衝突，而透過實徵性的研究亦可以發現，製造學童認知衝突之策略設計，可以有效促進學童的概念改變；而 Chi 提出的觀點則是以概念之本體樹的觀點提出直接教學與本體訓練的方式，來改善學童的迷思概念（Chi et al., 1994; Slotta & Chi, 2006），該策略經實徵性研究後亦具有相當的成效；Vosniadou 則認為學童所持有的迷思概念深受日常生活經驗的影響，且囿於本體論與認識論的預設，因此，唯有培養學童的後設知覺，使其發現自己概念的不適切，才能促進概念改變的發生。

而本研究採用 PSHG 模式的「認知衝突」觀點，設計本研究的數位教材，並參考 Mikkilä-Erdmann（2001）所發展之光合作用的概念改變文本，以及國內外相關之光合作用的迷思概念，將該概念改變文本進行修改、數位化之後，搭配相關動畫成為數位教材，實施於國小六年級學童，並深入探究該概念改變數位教材，對於國小六年級學童之學習效益的情形。

第二節 光合作用的概念學習

本節將針對光合作用的概念學習進行深入介紹。首先介紹「光合作用的概念」，然後針對「光合作用之相關迷思概念」進行說明。「光合作用的概念」部份，將敘明光合作用的意義及其在科學與生物課程上的重要性；「光合作用之相關迷思概念」的部份，則針對國內外有關光合作用概念學習的研究進行深入探討，並歸納整理學童對於「光合作用」相關概念所持有的迷思概念，以作為本研究之光合作用數位教材設計的參考。

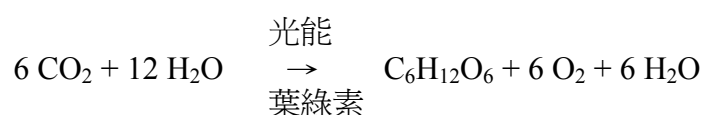
一、光合作用的概念

陽光孕育了地球豐富多彩的生命，地球上所有的能量都源自於太陽，而綠色植物的葉綠體便能捕捉從太陽射出一億六千公里的光能，並將之轉換成化學能，儲存於葡萄糖與其他有機分子中，該能量轉換的過程即稱為光合作用

(photosynthesis)。光合作用乃是綠色植物的葉綠體利用光能，透過一連串氧化還原的過程，將二氧化碳與水轉變為葡萄糖和氧氣的過程，由葉綠體透過光合作用所合成之碳水化合物與氧氣，是維持地球生物世界繁盛的基礎。若以全球的量來說的話，光合作用每年約可製造 160 億噸的碳水化合物，而其所消耗之二氧化碳更帶動了地球上碳素的循環，因此，光合作用不但是生物圈代謝的基礎，亦是生命世界與無生命世界間的橋樑，地球上沒有任何一種化學反應在生命的作用中比光合作用來得重要 (Campbell & Reece, 2005)。基於其在生物學上的重要性，光合作用一直被視為生物課程中的重要議題之一，然而，也因為其涵蓋大量概念的面向，橫跨生理、生態、能量、營養等概念，而被認為是學生最困難學習的單元之一 (Marmaroti & Galanopoulou, 2006)，以下將就光合作用的相關概念作一說明。

光合作用是合成養分的生化過程，在說明光合作用相關概念之前，將先界定本研究所討論之光合作用的範圍。地球上的生物主要以自營營養（autotrophic nutrition）與異營營養（heterotrophic nutrition）兩種方式，來獲取所需之能量與碳源。其中，自營生物（autotrophs）可從環境中獲取無機物來製造有機分子，不需依賴吃或分解其他生物來維持生命，而異營生物（hetetrophs）則否；自營生物又因其利用能源製造有機物質的方式分為光自營生物（photoautotrophs）與化學自營生物（chemoautotrophs），光自營生物是利用日光作為能量來源，來合成碳水化合物、脂質等有機物質，化學自營生物則是藉由無機物質的氧化來獲取能量。植物便是一種光自營生物，其所需的營養來源僅有空氣中的二氧化碳、泥土中的水與礦物質，其便可透過光合作用將之轉換成有機物質作為自己的養分。然而，光合作用不僅發生於植物體內，某些原生生物與原核生物亦可以進行光合作用，而本研究中僅將針對植物的光合作用進行討論。

葉綠體是植物進行光合作用的場所，其會將內含之葉綠素所捕捉到的光能，透過一連串的化學反應過程，將二氧化碳與水轉變為葡萄糖和氧氣；因此，葉綠體可說是陽光傳遞生命能量的媒介。若以化學方程式摘要光合作用的過程則為：



雖然光合作用的方程式是一連串複雜過程的摘要，但事實上光合作用並非一個簡單的步驟，而是由兩個各含有多種步驟的階段所組合而成，這兩個階段分別為「光反應（light reaction）」與「卡氏循環（Clavin cycle）」（為了與光反應相對應，卡氏循環又被稱為暗反應）。光反應在葉綠體的類囊體中進行，主要在將葉綠素所捕捉之光能轉換成化學能，同時，水分子也在該過程中被氧化並釋放出氧氣；卡氏循環則在葉綠體的基質中進行，主要是利用光反應所形成之化學能，將二氧化碳還原形成葡萄糖。葉綠體中光合作用進行的主要過程圖示如下：

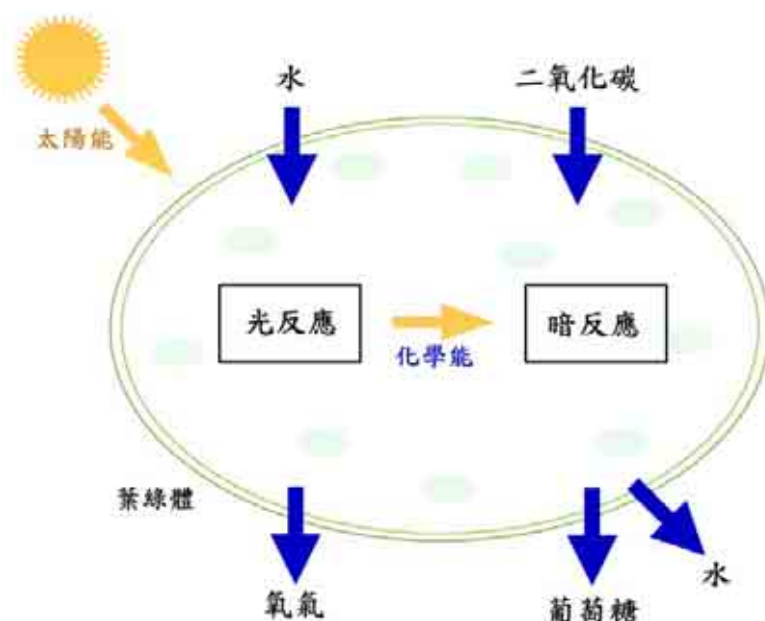


圖 2-2-1 葉綠體中光合作用進行的主要過程

綠色植物體中僅含有葉綠體之綠色細胞能夠進行光合作用，其他部分則需仰賴綠色細胞所輸送而來的有機分子。大多數植物所合成之碳水化合物都會以蔗糖的形式輸出，當到達非光合作用的細胞部位時，蔗糖則可作為細胞呼吸與合成其他物質—蛋白質、脂質等的原料，通常植物會將 50% 的光合作用產物於粒線體中進行呼吸作用、釋放能量來維持生命，一部份產物則可能於光呼吸作用的過程中流失掉，剩下多餘的產物則會被轉換成澱粉、脂質及蛋白質等形式，儲存在根、莖、種子、果實等儲存細胞內，待植物需要利用時再被轉換成其他糖類的形式，此外，異營生物也會攝取這些有機質來作為營養來源 (Campbell & Reece, 2005)。

光合作用因其在科學上的重要性與其涵蓋多重概念的面向，因而在生物課程中受到相當的重視，並列入許多學校層級 (school level) 的課程綱要中。但由於本研究之研究對象為國小六年級學童，因此，將僅針對光合作用中適合國小六年級學童學習之概念進行探討，包含植物利用光合作用製造養分、光合作用進行的場所、太陽在光合作用的角色、光合作用的原料、光合作用的產物、光合作用是

動植物營養方式之差異來源等。本研究所探討之光合作用概念的概念圖如圖 2-2-2，該概念圖所呈現是較為完整之光合作用的概念架構，但本研究為顧及六年級學童的學習承載，呼吸作用的部份將不作討論。

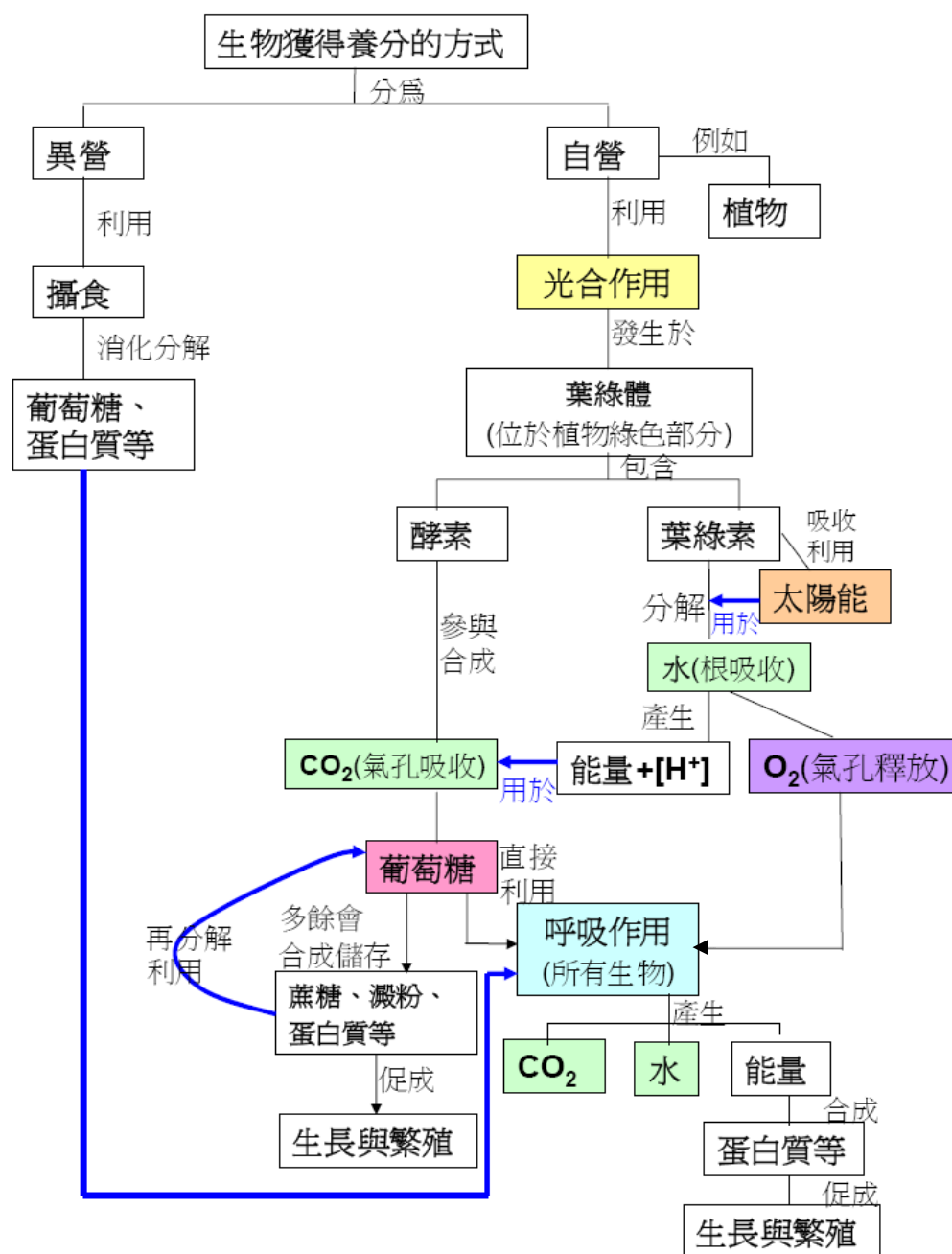


圖 2-2-2 本研究之光合作用概念圖

二、光合作用之相關迷思概念

光合作用基於其在科學上的重要性，而被學校生物課程視為主要的議題之一，並列入相關課程綱要中。然而，光合作用一直以來卻被認為是學生最困難學習的主題之一，且為科學教育研究者長期關注探究的焦點。光合作用對於學生學習之所以困難，事實上是因為光合作用是一個含有大量概念面向，包括生態、生理、生化、能量與自營營養等概念的複雜生物主題（Marmaroti & Galanopoulou, 2006），而過去三十年來針對學生於光合作用主題之概念研究中，也都記錄著許多學生在這些概念面向上的錯誤理解與迷思概念。而這些研究正提供了我們瞭解學生學習困難與發展輔助學生學習該概念的基礎，因此，以下將針對國內外有關光合作用主題學習之相關研究進行整理，並歸納其所調查到之學童持有的光合作用迷思概念。

（一）國內相關研究

國內有不少學者針對學童於光合作用所持有之迷思概念，以及改善教學之策略進行研究。以下將摘要其研究結果並整理出學童之光合作用的迷思概念。

裘維鈺（1995）以中部地區國小二、四、六年級學童共 412 位為研究對象，採用紙筆測驗與個別晤談，進行跨年級學童之植物概念及其相關迷思概念進行探究，研究結果發現，學童對於植物概念的表現隨年級增加，但在植物維生方式與光合作用的概念上卻具有城鄉差異，且學童對於植物根、莖、葉功能的瞭解並不完整，特別是葉的概念，而學童對於光合作用所持有之迷思概念主要有：

1. 植物的光合作用是植物的呼吸作用或植物只在晚上呼吸。
2. 植物體製造養分的原料是植物體的養分，另外學童對於光合作用的必需物與原料不太清楚，對產物瞭解較佳，但又無法與養份—澱粉做一連結。
3. 植物養分的來源包含有來自外界及自身製造兩種。

4. 光合作用的目的在使植物長得更綠、更加強壯、可製造養分和氧氣，但學生對於何者才是主要的目的卻不太清楚。

林家平(2001)以我國四~六年級國小學童 1955 位為研究對象，發展一「光合作用概念二階層診斷式問卷」，用以瞭解學童對於光合作用持有之另有概念與轉變，並將之與科學史做比較。研究發現學生持有之光合作用的另有概念有 33 個(如表 2-2-1)，可歸類為「植物之維生方式」、「陽光在光合作用中的角色」、「光合作用之場所」、「光合作用與大氣循環」、「光合作用之產物與目的」以及「呼吸作用與光合作用」六大面向，簡要如下：

1. 學童普遍不太清楚食物的定義，誤認為環境中的泥土、陽光、水分、空氣等物質是植物維生養分之來源，且忽略動、植物營養方式的差異。
2. 學童雖瞭解太陽在光合作用中扮演啟動者角色，卻無法察覺光合作用在整個生態系上的重要性。
3. 學童僅能以植物的器官—葉來判斷光合作用的場所，無法以葉綠素的有無來判斷。
4. 學童雖知道光合作用能造成大氣循環、淨化空氣，卻不瞭解其中的因果。
5. 學童不瞭解光合作用與呼吸作用發生的時間與氣體交換之情形。
6. 學童對於光合作用的產物與目的不太清楚。

吳麗娟(2002)發展一個二階層診斷式工具，並以屏東縣市四所學校國小五年級學童 580 位為研究對象，探討其光合作用的迷思概念與成因。其發現學童持有之迷思概念共有 37 個，可歸類為「光合作用的定義」、「光合作用反應的場所」、「光合作用能量的轉換」、「光合作用養分的作用」與「光合作用物質的交換與運輸」五大主題，整理如下：

表 2-2-1 國小五年級學童對於光合作用持有之迷思概念表

主題	學生的迷思概念
光合作用的定義 (含目的、重要性)	植物需要吸取外界環境的養分來維持生命^a。 植物生長增加的重量部分來自植物自己製造，部分來自外在環境^a。 植物光合作用的目的是吸收二氧化碳製造氧氣提供動物呼吸^a。 植物光合作用的目的是吸收二氧化碳，製造氧氣來清淨空氣^a。 植物光合作用的目的是使植物變綠並且長大。 植物會生產氧氣供生物或動物呼吸所以是生產者^a。 植物會生產氧氣和營養供生物呼吸和生長，所以是生產者^a。 植物會生產食物，提供熱量給生物，所以是生產者。 植物需要依賴動物的養分而生存^a。 植物需要依賴動物的二氧化碳而生存^a。 植物需要靠動物傳宗接代而生存^a。 植物行「光合作用」，動物行「呼吸作用」，而光合作用是植物利用光的呼吸作用之過程^a。 植物行「光合作用」，動物行「呼吸作用」，而光合作用是植物自製養分的過程^a。 植物行「光合作用」，動物行「呼吸作用」，而光合作用是植物在白天的呼吸作用。 植物行「光合作用」，動物行「呼吸作用」，而植物的光合作用就是呼吸作用。
光合作用反應的場所	樹葉茂盛的樹可活得好因有葉子可以幫忙散發水分，樹才不會爛掉。 光禿禿的樹可活得好因沒有葉子，水分不會散發掉，樹木不會枯死。 植物葉子是綠色的乃是為了幫助人類使人類眼睛好^a。 植物葉子多呈扁平，是為了散發水分，植物才不會爛掉^a。 植物葉子多呈扁平，是為了散發水分，因為扁平葉狀易接收雨水。 植物葉子多呈扁平，是為了容易接收雨水。
光合作用能量的轉換	人們一直砍樹會使空氣中的氧氣用完^a。 動物呼吸或空氣污染使氧氣減少，空氣中的氧氣會用完^a。 二氧化碳越來越多，空氣中的氧氣會用完^a。 植物利用光合作用產生葉綠素^a。 植物利用光、空氣、水在自己體內製造食物，而光擔任讓植物葉綠素增加的角色^a。 植物跟動物一樣需要太陽的熱才能生存。 植物利用光、空氣、水在自己體內製造食物而光擔任提供植物溫度的角色。
光合作用養分的作用	種子發芽時的養分來自土壤，因為種子一定要吸收土壤的營養才能發芽^a。 種子發芽時的養分來自水，因為種子一定要吸收水的營養才能發芽^a。 種子發芽時的養分來自土壤或水分，因為種子本身不會製造養分，一定要利用外在環境的養分^a。

光合作用養分的作用 (承上)	種子發芽時的養分來自土壤或水分，因為種子一定要吸收土裡或水的營養，才能發芽。 植物是動物的食物所以動物需要靠植物而生存 ^a 。 動物可以自給自足，不需靠植物而生存。 動物不一定需要植物給它氧氣。
光合作用物質 的交換與運輸	植物所需水分由莖部滲透進去 ^a 。 植物所需水分由根和莖部進入。

^a：學生作答二階層診斷式問卷比率大於 10 %者

資料來源：整理自吳麗娟（2002）

學童多能理解光合作用反應場所的概念，故綜合上述其他分類之迷思概念主要有：

1. 植物必須仰賴外界環境中的養分才得以生存。
2. 光合作用的目的是為了製造氧氣供生物呼吸或為了淨化空氣。
3. 陽光在光合作用的角色主要在讓植物的葉綠素增加。
4. 空氣中的氧氣會因植物減少與空氣污染而被用完。
5. 種子發芽的養份來自於土壤，而非光合作用所儲存的養份。
6. 光合作用與呼吸作用間氣體交換的情形與時機不清楚。

顏麗娟（2003）以台北市三所國小三~六年級學童共 362 位為研究對象，採紙筆測驗與晤談法，針對其對於植物相關概念與迷思概念進行探究。結果發現學生對於光合作用的必要條件中，對於陽光與水較有概念，二氧化碳則隨年級增加而加入，另外，學生對於葉綠體的概念較少，產物的部分僅注意到氧氣而忽略澱粉。上述研究結果中，關於學生持有之光合作用的相關迷思概念，整理如下：

表 2-2-2 國小三~六年級對於光合作用所持有之迷思概念表

主題	學生的迷思概念
葉片的功能	葉的作用為吸收陽光讓植物的身體溫暖。 葉的作用為擋住陽光讓植物不會中暑。
植物的維生方式 與要素	綠色植物生長所需要的養分，是吸收空氣中的養分。 綠色植物生長所需要的養分，是吃食物所獲得。 光合作用可使植物變成綠色。 光合作用的場所在莖。 光合作用的條件需要肥料和泥土。 光合作用的產物是水分 魚缸中的水草所產生的氣泡是一般的空氣或二氧化碳。 魚缸中的水草產生的氣體是呼吸作用所製造。 水族箱中的植物生長所需的養分是由水中的沙子提供。 水族箱中的金魚所呼吸的氣體是由水所提供。 植物只有白天進行呼吸作用（將呼吸作用與光合作用混淆）。

資料來源：研究者自行整理

(二) 國外相關研究

過去三十年來關於綠色植物營養的教與學一直被投以大量的關注，從相關研究所指出之迷思概念包含有植物如何獲得養分、光合作用、呼吸作用以及光合作用與呼吸作用間的關係等面向。以下將摘要國外相關研究結果以及學童對於光合作用之迷思概念。

Wandersee (1985) 以五年級、八年級、十一年級與大二學生共 1405 位為研究對象，採用問卷進行跨年齡的研究，以瞭解其所持光合作用的過時概念與年齡間的相關性，以及概念發展與科學史發展間的關係。研究結果發現，科學史上的過時概念仍可在今日學生的概念架構中發現，因而可以用來預測部分學生的迷思概念，作者也建議某些主題之科學史的教學可以用於輔助教學，改善學生的迷思概念。而從研究者給予學生執行的光合作用概念測驗的作答情形，可以歸納出學生對於光合作用所持有的迷思概念有：

1. 植物從土壤中獲得養分。
2. 植物生長時將食物放入土壤中。
3. 只有動物、人類需要呼吸。
4. 葉子的功能是遮蔽陽光與吸收太陽的熱。
5. 水、空氣和土壤等是植物的食物來源。

Treagust & Haslam 自 1986 年起著手開發光合作用之二階層診斷式測驗工具來調查西澳中學學生對於植物之光合作用與呼吸作用的迷思概念，在開發該二階層診斷式問卷的過程中，Haslam 對於大批中學生進行跨年級之一系列的施測，以蒐集其對於植物之光合作用與呼吸作用的迷思概念，其研究發現學生持有之迷思概念，依據「植物對於光能的利用」、「葉綠素的本質與功能」、「水和氣孔的角色」、「二氧化碳的角色」、「氧氣的角色」、「光合作用」與「呼吸作用」八大主題進行分類，可以歸納如表 2-2-3（Treagust & Haslam, 1986）所示：

表 2-2-3 西澳中學生對於植物之光合作用與呼吸作用之迷思概念或素樸概念

主題	學生的迷思概念
植物對於光能的利用	光線餵給葉子能量。 植物將光能變成食物。 植物需要熱才能成長。 植物從陽光產生能量。 植物在光合作用中燃燒能量來製造澱粉。 葉子在行光合作用時，會吸收太陽的熱。 植物在夜間沒有吸收能量，會製造他們自己的能量。
葉綠素的本質與功能	葉綠素可變成澱粉。 葉綠素是植物的食物。 葉綠素在光合作用的過程所產生。 葉綠素混合水和二氧化碳來製造食物。 葉綠素是一種液體。 細胞壁是綠色。 纖維是綠色。
水和氣孔的角色	在光合作用時，水經由葉片被吸收。 在光合作用時產生水。

水和氣孔的角色 (承上)	水經由氣孔進入葉。 當根不能吸收水時由氣孔吸收（反向蒸散）。 氣孔儲存食物。 當氣孔吸收雨水時，植物停止呼吸。
二氧化碳的角色	當人類呼出二氧化碳時，植物就吸入。 植物不會釋出二氧化碳，只會使用它。 植物不會呼吸，它們不需要從二氧化碳和水製造出來的氧氣。
氧氣的角色	植物從二氧化碳得到所需的氧氣。 氧氣是植物製造的。 沒有光能時光合作用停止且呼吸作用開始。 植物不能同時進行呼吸作用和光合作用。 綠色植物總是吸入二氧化碳放出氧，而動物總是吸入氧。 動物經由肺呼吸，植物由葉子呼吸。
光合作用	動物獵取食物，植物從土壤和雨水獲得自己的食物。 植物由根吸收食物。 根吸收礦物質和水作為食物。 植物的食物是澱粉，儲存在葉。 植物在有光時吸入氧氣製造食物。 光合作用提供植物成長的能量。 植物只有光合作用。 植物光合作用在白天，呼吸作用只在夜間。 非綠色植物像真菌也能行光合作用。 光合作用釋出二氧化碳。 光合作用的產物是糖和水。 光合作用製造澱粉。
呼吸作用	植物在有光能時不呼吸。 植物只在白天呼吸。 植物只在夜間呼吸，因為沒有光能。 光合作用是植物的呼吸作用。 植物不會呼吸，它們行光合作用。 呼吸作用就是呼吸。 呼吸作用只在植物的葉。 只有動物會呼吸，植物不會。 植物行光合作用，動物呼吸。 呼吸作用時分解葡萄糖，氧氣釋入細胞。 綠色植物的呼吸作用是植物從水和二氧化碳製造食物的化學過程。 呼吸作用是從氣孔吸入二氧化碳和釋出氧。

資料來源：整理自 Treagust & Haslam (1986)

依據上表，Haslam & Treagust 再以之形成二階層診斷式測驗，並以西澳中學八~十二年級學童共 438 位研究對象進行大規模施測調查，以瞭解其對於「植物之光合作用與呼吸作用」的迷思概念，結果發現，跨年級的學童持有相同的迷思概念，而其中最常見的迷思概念是學童會將呼吸作用與光合作用混淆，且不清楚兩者進行的時間等，以下將整理超過 10%學童所持有之迷思概念，如表 2-2-4（Haslam & Treagust, 1986,1987; Treagust,1995）：

表 2-2-4 西澳中學生對於光合作用持有之迷思概念表

題項	迷思概念
1	綠色植物的呼吸作用僅在白天發生。 呼吸作用無法在光能存在時進行。 綠色植物在陽光存在時，會大量釋放二氧化碳。
2	綠色植物會隨時進行光合作用。 光合作用能發生於沒有光能時。 當沒有光能可以進行光合作用時，二氧化碳就會被用來進行呼吸作用。 僅當沒有光能可以進行光合作用時，氧氣就會被用來進行呼吸作用。
3	當完全沒有光能時，綠色植物會停止光合作用，所以他們會持續呼吸並放出氧氣。 沒有光能時，綠色植物只會進行呼吸作用。
4	綠色植物在光能存在時利用氧氣製造食物。
5	唯有葉子具特殊的孔洞可交換氣體，故植物的呼吸作用僅發生在葉的細胞上。
6	綠色植物的呼吸作用是一種獲得能量的化學過程，僅發生於植物的細胞中。
7	綠色植物的呼吸作用提供生存的能量，是植物從水和二氧化碳製造食物的化學過程。 綠色植物的呼吸作用是透過氣孔吸入二氧化碳並呼出氧氣。
8	綠色植物僅在晚上（沒有光能的時候）進行呼吸。
9	在呼吸作用的過程中，二氧化碳與水被綠色植物用來生產能量，同時葡萄糖與不要的氧氣被製造出來。
10	稱為葉綠素的綠色色素在光能存在時會結合二氧化碳並產生葡萄糖和氧氣。
11	非綠色植物不含葉綠素或相似色素者如真菌，也會進行光合作用。
12	綠色植物行光合作用最重要的好處是，能量的產物可以供給植物生長。 光合作用的過程中最重要的好處，是透過葉片的氣孔從空氣中移除二氧化碳。
13	所有植物僅在沒有光能時會進行呼吸作用，動物則時隨時進行。

資料來源：整理自 Haslam & Treagust（1986,1987）、Treagust（1995）

Marmaroti & Galanopoulou (2006) 開發一套單選題測驗型式為主，是非題與簡答題為輔的問卷，並以 292 位希臘中學一年級學童為研究對象，透過題目之交叉分析來瞭解學童對於光合作用所持有的迷思概念，研究中所發現的迷思概念，簡要如下：

1. 光合作用只發生在植物的葉子上。
2. 光合作用與葉綠素位於不同地方，推知其不瞭解葉綠素是光合作用的必要條件。
3. 學生瞭解太陽提供光合作用能量，但其無法理解植物所需要的能量型式。
4. 學生認為植物在光合作用中捕捉能量，而非製造出能量，推知其在瞭解能量的轉換上有困難。
5. 學生將光合作用與呼吸作用搞混，且分不清楚進行的位置與時間，有些學生則認為光合作用就是植物的呼吸作用。
6. 有些學生認為氧氣是植物用來建構身體的物質之一
7. 學生在產物辨識的表現較反應物佳，但有學生認為葉綠素是產物或與光合作用無關，或葉綠素會在光合作用的過程中消耗。
8. 雖然多數學生都可回答出「植物是自營生物因其會自製養分」，但真正回答出植物是由二氧化碳與水來製造養分的學生僅 1/3，還是有學生認為植物是從土壤或外界獲取養分，推知學生無法真正理解所謂的養分的意思。
9. 多數學生回答植物提供氧氣給人類與動物，以人為思考的核心，同時忽略了葡萄糖的角色。

由於本研究之研究對象為國小六年級學童，基於學童之學習承載，參考了前述國內外學者關於植物光合作用概念之相關研究後，本研究將聚焦於「植物如何獲得養分」、「植物行光合作用的目的」、「植物對光能的使用」、「葉綠素的本質與功能」、「光合作用的場所」、「光合作用所需原料」、「光合作用的產物」與「光合作用對生態系統的重要性」八個主題，並將上述國內外研究結果中針對此八個主

題之光合作用的迷思概念，加以綜合整理成表 2-2-5，以作為設計本研究之數位學習環境的基礎，期望藉由本研究之數位教材的開發，來達成促進國小六年級學童對於光合作用概念的學習及改善其迷思概念的目的。

表 2-2-5 國內外針對光合作用相關文獻之迷思概念表

主題	迷思概念
植物如何獲得養分	植物從外在環境直接獲取食物（肥料、陽光、水、空氣、土壤等）。 植物由根吸收食物。 植物白天接受氧氣以製造食物。 植物需要依賴動物的養分而生存。 植物需要依賴動物的二氧化碳而生存。
植物行光合作用的目的	光合作用的主要目的是製造氧氣，供動物呼吸。 光合作用的主要目的是製造氣體，使空氣更新鮮。 光合作用的目的在吸收或消耗二氧化碳 （因人類將二氧化碳呼出，所以植物必須行光合作用接受二氧化碳）。 光合作用的目的是使植物變綠並且長大。 光合作用使植物保持綠色。
植物對光能的使用	植物吸收陽光作為食物。 植物將太陽能轉變為食物。 光合作用時，葉經由光能吸收熱。 太陽的熱能是光合作用的能量來源。 植物需要太陽的光和熱來生存、成長。 光是植物的維他命。 無光能時，光合作用停止；有光能時，光合作用開始。 植物只在白天進行光合作用。
葉綠素的本質與功能	葉綠素是食物（澱粉）的儲藏地。 葉綠素可以吸收二氧化碳。 葉綠素是植物的食物。 葉綠素可以吸引光。 光合作用可產生葉綠素。 葉綠素與水、二氧化碳混合，以生產食物。
光合作用的場所	光合作用只在葉子中進行。 光合作用在種子裡運作。 光合作用在根或莖裡運作
光合作用所需原料	光合作用時，水是經由葉來吸收的。

光合作用的產物	光合作用產生澱粉。 光合作用產生葉綠素。 光合作用製造蛋白質。 光合作用的產物是糖及水。 光合作用的產物是氧和水。 光合作用把水變成糖。 光合作用是植物接受二氧化碳，並將其變為氧氣。 光合作用是植物將陽光和二氧化碳變為葉綠體。
光合作用對生態系統的重要性	動物能在無植物的環境中生存。 若地球無植物的存在，則地球大氣裡的氧氣仍不會消耗殆盡。

資料來源：研究者自行整理

三、小結

從上述之文獻分析可以瞭解到，光合作用不但在科學上具有相當的意義與重要性之外，對於學校之生物課程亦具有相當的重要性，然而，因其所包含的面向相當地廣泛且複雜，故一直以來是學生相當困難學習的主題，也是科學教育研究者所關切的議題之一。而從國內外學者對於不同年齡層學童之光合作用的相關概念進行研究，均可以發現到許多相似的結果，學童多認為植物從外界獲取養分、光合作用的目的在於製造氧氣、光合作用就是植物的逆呼吸（inverse respiration）、葉綠素與水和二氧化碳混合後可以產生食物、光合作用只在葉子裡進行、對於光合作用進行的時間以及其對於生態上的重要性等概念多不太清楚。本研究將在開發概念改變數位教材時，以本節所整理之學童於「植物如何獲得養分」、「植物行光合作用的目的」、「植物對光能的使用」、「葉綠素的本質與功能」、「光合作用的場所」、「光合作用所需原料」、「光合作用的產物」與「光合作用對生態系統的重要性」八個主題所持有之迷思概念（歸納整理如表 2-2-5）基礎，嘗試透過認知衝突策略來改善學童所持有之相關迷思概念。

第三節 數位學習與概念改變

本節將針對數位學習與概念改變進行深入介紹。首先介紹「數位學習」，然後針對「數位學習促進科學學習之實徵性研究」進行說明。「數位學習」的部份，將敘明數位學習的理論基礎，以及數位學習環境中之教學與學習的特性，此外，亦將說明數位學習與傳統教學間的優勢與差異；而「數位學習促進科學學習之實徵性研究」的部份，則針對國內外應用數位學習策略來促進科學學習的相關實徵性研究進行探討，以說明近年來數位學習於科學概念學習上的應用情形與成效。

一、數位學習

隨著電腦科技與網際網路技術的快速發展，不但加速了人類科技知識的量產，也改變了人類學習的型態。此外，網路環境所具備的特性對於教師的教學與學生的學習有很大的影響（王子華，2005；Flake, 2001），也因此在近幾年成為相當熱門的研究議題。以下將分別針對數位學習的理論基礎以及數位學習的教與學進行深入介紹。

（一）數位學習的理論基礎

過去以來，凡與電腦輔助教學相關之設計多常被誤解為行為主義的教學工具，因此，只要談到數位學習理論便聯想到行為主義。然而，若能擅用媒體的本質，行為主義、認知學習理論、建構主義等理論均可以應用於數位學習環境之中（Conole, Dyke, Oliver, & Seale, 2004）。以下將分別介紹以行為主義、認知學習理論、建構主義等為理論基礎，所設計出來之數位學習環境（表2-3-1）。

表2-3-1 學習理論於數位學習環境中之應用

理論	主要特徵	潛在數位學習的應用
行為主義	● 藉由刺激-反應聚焦在行為的修正 ● 試誤學習 ● 透過聯結與增強來進行學習 ● 教學焦點在於控制與適性反應 ● 聚焦在可觀察的結果	● 許多現代數位學習的發展，幾乎都是直接轉換傳統教學為線上型態，網頁會直接連接到評量與回饋上
認知主義	● 聚焦在內部認知結構上，視學習為這些認知結構之轉型 ● 聚焦在人類的發展 ● 教學聚焦在資訊透過溝通、解釋、重組和問題解決的過程與傳達上 ● 設計建構於既存訊息架構上之序列性的概念素材是最有用的	● Salomon之分散式知能的概念，能引導出一個界於個體與資源和接觸之周圍訊息豐富環境中更多分享知識的結構 ● 智能和學習系統的發展，以及啟發性之個人化代理人的概念
建構主義	● 聚焦在學習者與環境互動時，建構自己之心智結構的過程 ● 教學的焦點是任務導向的 ● 偏愛動手做、自我指導之活動 ● 具有結構的學習環境，像模擬世界，以及透過參與自我指導任務建構概念的結構	● 透過能被用來使建構主義法則嵌入或更有效益之活動的過程，來引導並通知學習者之工具箱和其他支持系統的概念 ● 藉由資源和專業知能提供的潛力來發展更多之有魅力的、以學生為中心的、有活力的與實作的學習環境 ● 微世界（microworlds）與模擬

資料來源：整理自 Conole、Dyke、Oliver 和 Seale（2004）

由此可知，經過良好的資訊通訊技術（information communication technology, ICT）的設計，是可以在數位學習環境中融入多種教育理論的，該數位學習環境的特色，是傳統教學環境所難以達成的，此外，藉由ICT所營造出來的數位學習環境，不但可以提供更多的學習資源，而且還可以突破時間與空間上的限制（Wang, 2007），因此，數位學習環境已經逐漸成為一種重要的另類學習環境，以下將針對數位學習環境之教學與學習的特性進行介紹。

(二) 數位學習環境的教學與學習

隨著網際網路與電腦科技之快速發展，對於人類的學習型態與教育派典造成了巨大的影響與改變。然而，究竟數位學習環境具有何種的特性與優勢？

Egbert & Thomas (2001) 將數位學習環境與傳統教學環境相比較之後，指出數位學習環境較傳統環境對於學生學習所具備的優勢為：提供學習者更多的反省時間、增加個人的參與、獲得更多來自於教學者的個人化回饋、更廣泛的意見與觀點、小組學習與合作、自己決定學習步驟、資源為基礎的學習而非教學為基礎的學習。而Flake (2001) 更具體指出數位學習環境對於教學與學習所造成的改變為「教學/學習過程的改變」、「評量/評鑑過程的改變」與「學習環境的改變」等三個面向，研究者將依據Flake (2001) 提出之數位學習環境與傳統教學所具備的特色比較表為主要架構，綜合整理成表2-3-2：

表2-3-2 傳統教學與數位學習之比較表

	傳統教學	數位學習
教學/學習過程的改變	課程內容被切割成小的子目標，並以邏輯排列的方式線性連接，且教學採系統化方式進行 學習來自於外在的資源 教師被視為交響樂團的指揮，編織與安排學習 課堂上是以教師為中心 學生是依賴教師的學習者 學習由外界控制，例如：每週的考試或是/以及經常性的考試 盡量減少衝突與學生失誤 學習發生在提供訊息的回饋 學習為線性的	學生經由問題導向的活動接觸課程內容，且這些活動允許學生自己組織課程 學習來自於學生的內在，由他們自己找出外界的資訊 教師為學習的促進者 課堂上是以學生為中心 學生是獨立的學習者 學習是被組織的，所以學生可以控制學習，允許自我控制 學生學習去處理衝突，並由自己的錯誤中學習，也就是錯誤被視為回饋系統的一部分 學習發生於沉思的抽象過程、認知的再組織，有時是突發的靈感 學習為非線性的
評量/評鑑過程的改變	評鑑是線性的，如：每週的考試或是/以及經常性的考試 沒有針對已有標準進行直接解釋 沒有對學生學習起點的包袱負責 其於教師的行為進行教學的效益評鑑	評鑑的目標是朝向學習終點進行的，允許學生獲得最多的好處 針對已有標準直接解釋，學習者須重作直到達成標準為止 對學生學習起點的包袱負責 其於學生最終的表現進行教學的效益評鑑
學習環境的改變	封閉的學習空間與課程設計	開放式的學習空間與課程設計

資料來源：整理自Flake（2001）

由表2-3-2可知，數位學習環境與傳統教學環境，在教師教學與學生學習的許多面向上都有很大的差異，然而，有關數位學習是否會因為這些差異而對學習者帶來更好的學習效益，在近幾年來受到許多研究者的重視，以下將針對數位學習促進科學學習之相關實徵性研究進行探討。

二、數位學習促進科學學習之實徵性研究

關於數位學習促進科學學習之相關研究很多，研究者依據數位學習應用之科學科目/概念、研究樣本與研究結果分別進行整理，如表 2-3-3 所示：

表 2-3-3 數位學習優於傳統教學之相關實徵性研究

研究者	研究對象	應用科目	研究方法與結果
李金泉（2001）	大學生	工業安全	發展一個與工業安全課程有關的數位學習環境並將之用於教學，發現數位學習組的學習成效優於傳統教學組，特別是在「機械安全與防護」及「電器安全」模組的單元。
林勇成（2002）	國小生	自然科	設計一自然科實驗數位學習環境並將之應用於教學，發現數位學習組學生之自然科學習成就優於傳統教學組學生。
葉艷靜（2003）	國中生	自然與生活科技	開發「生物界分類」單元的數位學習環境並將之用於教學，發現數位學習組的學生，學習成績進步情形顯著較傳統學習組好。
吳沂木（2004）	國小生	自然與生活科技	設計一個融入 3D 虛擬實境之「電與磁」的數位學習環境並應用於教學，發現數位學習組學生的學習效益較傳統教學組佳。此外，該數位學習環境不但能減弱學生學習型態對於學習成效的影響外，還能引發學生之學習興趣。
湯幸娟（2006）	國小生	自然與生活科技	發展「形形色色的生物-植物篇」單元之網路學習環境並將之用於教學，發現網路學習組的進步情形優於傳統教學組。
Lockyer, Patterson, & Harper（1999）	大學生	健康教育	研究者以健康教育之 AIDS 單元進行數位教學與傳統教學的比較性研究，研究發現學生於數位學習環境中可以輕易建立起一個合作學習的環境，且其運作的效益比在傳統課室中來得好，而且數位學習環境較有助於學生對於課程內容的瞭解。
Ryan, Carlton, & Ali（1999）	碩士生	護理學	研究者針對 96 位護理學碩士生，進行傳統教學與數位學習之學習效益的比較性研究，發現數位學習環境較能讓學習者發揮較佳之批判思考與分析能力。

Tanoue, Yasunaga, Konishi, Okazaki, Ieiri, Kawabe, Matsumoto, Kakeji & Hashizume (2005)	醫科生	手術訓練	開發一個虛擬實境模擬器來輔助醫科生進行手術訓練，並比較接受該訓練與接受影片教學之學生在手術技巧上的差異。研究發現，經由虛擬實境設計的模擬器來訓練醫科學生的手術技巧，可以減少學生在執行手術期間所犯的錯誤。
Çepni, Taş, & Köse. (2006)	高中生	生物	發展「光合作用」單元之 CAIM (Computer-assisted Instruction Material) 並將之用於教學，該 CAIM 的設計是採用概念改變的策略，研究發現 CAIM 組的學生，學習較傳統教學組的學生佳。

資料來源：研究者自行整理

由表 2-3-3 的歸納整理可知，數位學習應用於國小學生之自然與生活科技的生物與物理單元，中學生之生物課程與大學生之工業安全課程、健康教育課程、手術技巧的訓練與碩士生之護理學等均具有良好的效益。本研究將延續前人的研究，將數位學習應用於國小自然與生活科技課程之生物方面概念的學習，並且深入針對數位學習對於促進科學概念學習之效益進行探究。

三、小結

由於網際網路與電腦技術的快速發展，數位化學習的趨勢已對於人類的學習型態和教育派典產生了重大的影響。數位學習環境相較於傳統教學環境而言，更能提供學習者個人化的學習機會，讓其可以在網路的學習環境中，依據自己的步調進行學習，並能獲得更多個別化的資訊與回饋，同時，學習的型態也從過去「以教學為基礎的學習」方式轉變為「以資源為基礎的學習」類型。然而，這些網路學習環境所具有的優勢，若能善用其特點與數位媒體的特質並搭配上學習理論，將有助於開發出適切的數位學習環境，以引導學童進行概念的學習。從不同年級受試對象、不同學科與科學概念單元之實徵性研究，均可以發現到數位學習對於科學概念學習具有不錯的效益。基於此，本研究將嘗試以概念改變理論中之「製造認知衝突」的策略融入數位教材的開發，並深入探究其促進學童學習與改善相關迷思概念之成效。

第四節 動態評量與概念改變

本節將針對動態評量進行深入介紹。首先介紹「動態評量」，然後針對「動態評量促進概念改變之實徵性研究」進行說明。「動態評量」的部份，將敘明動態評量的理論基礎，以及常見之動態評量的模式與設計方式；而「動態評量促進概念改變之實徵性研究」的部份，則針對應用動態評量促進概念改變之相關實徵性研究進行探討，以說明其應用的方式與成效。

一、動態評量

1970 年代起，隨著學者們對於傳統評量過度追求標準化施測過程與量化評量結果的反思，動態評量的提出無疑開啟了一個新的思考觀點，其透過評量者與受試者間互動的特質，積極地尋找能增進個體學習的有效策略並給予適切的協助，讓評量的過程與結果更具意義與價值。以下將針對動態評量的理論基礎與常見的動態評量模式與設計，進行深入的介紹。

(一) 動態評量的理論基礎

「動態評量」一詞最早起源於 Feuerstein 於 1987 年所著之《行為遲緩者的動態評量—學習潛能評量的設計、理論、工具與技術 (The Dynamic Assessment of Retarded Performers: The Learning Potential Assessment Device, Theory, Instruments and Techniques)》書中，此後研究者便一直沿用該詞，然而有關動態評量的研究卻直到 1990 年代才開始蓬勃發展起來 (劉家成，2002)。動態評量的發展與 Vygotsky 之社會文化認知發展理論的近側發展區概念 (zone of proximal development, ZPD)，以及 Feuerstein 之學習潛能評量等概念有關。

Vygotsky 之近側發展區概念 (ZPD)，乃由其於 1930 年所提出，其認為如果要真正瞭解學童的能力，須兼顧其實際發展與潛在發展的水準，前者是指學童在

沒有協助下獨自解決問題的能力層級，後者則指學童在專家的指引下或與較有能力之同儕互動合作下的發展潛能，而兩者間的距離即為其近側發展區。因此，Vygotsky 認為如果僅評量學童獨立的表現將無法找出其心理機能上的差異，而提出以 ZPD 來區分學童目前心智功能的水準並預測其未來的發展狀態。故教師在教學前不僅要瞭解學生實際的認知發展，更要評估學生的潛在能力，經由不同的情境安排與教學方法和學生產生動態的互動，以引發學生主動學習，使之潛能得以充分發揮，進而提昇其認知發展(郭玉純，2005；陳嘉成；2001；劉家成；2002)。

而 Feuerstein (1987) 提出之學習潛能理論雖與上述 Vygotsky 的觀點相近，然而其卻更強調了「認知結構的可變性 (structural cognitive modifiability, SCM)」和「中介學習經驗 (mediated learning experience, MLE)」的重要性。Feuerstein 認為認知成長是「直接接觸刺激」和「中介學習」的結果，「直接接觸刺激」是進行認知最普遍的方式，而「中介學習」則屬高層次心智發展與增進思考技能的方式，其主要是透過有經驗的成人與學童進行互動，使之中介歷程逐漸內化為自己的認知歷程，並協助其心智獲得適當的發展 (林麗容，1995；郭玉純，2005)。

因此，動態評量基於學童認知能力之可變性的基礎，採用「測驗—教學介入—測驗」的測驗型態，來提供學童改進學習的訊息並開發其學習潛能，不再像過去傳統的評量方式，只在乎學童的學習成效或最終的發展水準，而是讓評量從結果導向轉變為歷程導向，而評量者的角色也從過去的執行者更為在評量的過程中協助學生學習、引導其主動參與，並可在評量的過程中進行教學的角色。而本研究也將站在提供學童改進學習訊息的角度，採用動態評量的方式來引導學生進行光合作用概念的學習。

(二) 動態評量的模式

動態評量有多種模式，雖然實施方式不同，但有一共同特徵，在執行評量的過程皆採「前測—中介訓練—後測」的順序進行，以下將略舉六種常見的動態評量模式加以說明。

1. 學習潛能評量 (Learning Potential Assessment, LPA)

此模式由 Budoff (1974) 所提出，主要是為了要評量可教育之智能不足學生的學習潛能所發展，其主張智力具有可訓練性，是可透過經驗而獲益的能力，故將訓練結合到評量的過程中，藉此平衡學童間的經驗差異。該模式的重點集中在幫助學童瞭解並熟悉作業的要求、提供鼓勵與讚美，並提醒其檢查解題策略來獲得成功的經驗。Budoff 認為只要給與個體學習的機會，其學習能力就會有所進步，而動態評量即在評量個體這種學習的潛能，故稱為學習潛能評量。評量進行的過程是先讓學童執行靜態的前測，然後執行一些具特定目的的訓練活動，之後再執行靜態的後測，並比較其在前、後測上的差異，藉此判定其學習潛能外，亦將此獲益分析作為區分學童獲益程度的標準，因此，學習潛能評量又稱為「測驗—訓練—測驗的評量 (Test – Train – Test Assessment)」模式。然而，因其仍屬於偏重學習結果的評量模式，亦是其未能超越傳統評量之關鍵所在（劉家成，2002）。

2. 極限評量 (Testing-the-Limits Assessment)

該模式為 Carlson & Wiedl (1978) 所提出，基於個體的「智力」與「人格特質」是影響個體訊息處理差異之主要因素的主張，而透過對於不同施測情境的操弄，來瞭解學童之人格因素與情境間交互作用的關係，藉此評估個體的一般性能力。故該模式之中介訓練是透過改變施測情境的方式，使學童對於作業性質有所認識，以降低其焦慮達到最佳能力的表現水準。但是，該評量模式的限制在於，其僅著重於一般能力的評估，與特定學科領域的關聯不大，所以不易直接提供有用的教學訊息（郭玉純，2005，劉家成，2002）。

3. 學習潛能評量設計模式或中介評量模式 (Learning Potential Assessment Device-Mediation Assessment, LPAD)

此評量模式為 Feuerstein (1979) 所提出，其理論基礎乃依據中介學習為個體認知發展的要素而來，故該模式主要針對學童因缺乏中介學習經驗所造成之認知缺陷的現象所設計，目的在於診斷學童的認知缺陷，並評量其對於教學的反應。該動態評量模式以認知歷程（輸入、加工、輸出）為評量的內容，結合多元化臨床的介入方式來提供中介訓練，來找出學童認知歷程上的缺陷，然而，由於該模式的介入系統相當複雜，且無標準化的步驟可依循，故不易實施與普及化(莊麗娟，2003)。

4. 漸進提示評量模式 (Graduated Prompting Assessment, GPA)

該模式乃由 Campione & Brown (1985) 所提出，主要以 Vygotsky 的進側發展區的概念為基礎，但排除了 Feuerstein 之學習潛能評量設計模式非標準化介入的限制，強調介入內容的標準化來建立量化的資料。其評量目的主要在找出學習失敗高危險群的學童，並發展出對於學習能力有效評量的方式，來改善學童的學習。評量內容除包含有一般智力能力外，首次加入了學科特定領域作為評量的內容，結合了「近側發展區」的概念與「漸進提示」，採用「前測－學習－遷移－後測」的程序，來評估學童之學習、保留和遷移的能力。其中，提示系統是經由作業與認知成分的分析所編製出來，依照抽象到具體的順序安排，執行評量時，則依照預先設定好的序階給與提示，必要時得以跳階，計分則採提示量與遷移量數作為學童間能力差異的依據，若學童在評量過程中所需的提示量越多表示其能力越低，故該評量模式可藉此提供教師一些教學的相關訊息，並預測學童未來的成就表現。然而，該評量模式雖然具有相當的優勢，但若將之運用於複雜的學科，所涉及之認知成份的分析與提示系統的建立將越不容易(陳嘉成，2001；劉家成，2002)。

5. 心理計量模式 (Psychometric Approach)

為 Embretson (1987) 所提出，此模式依據「認知能力的可變性以及其可透過訓練來加以改變」的主張為基礎，以空間推理測驗為訓練素材，亦依循「前測－訓練－後測」的程序進行，來評估學童的一般性能力，而中介訓練的過程中採標準化介入的方式，資料分析上則採用試題反應理論 (Item Response Theory) 來計分，以減少對獲益能力的估計誤差。該評量模式的目的主要在發展適當的心理計量模式來測量學童認知的改變，並對其能力提供較佳的估計。然而，該模式因其尚未與特定領域學科連結，而無法建立以課程為基礎的評量 (莊麗娟，2003；劉家成，2002)。

6. 連續評量模式 (A Continuum of Assessment Model)

由 Vye, Burns, Delcos, & Bransford (1987) 所提出，主要融合了 Feuerstein (1979) 的學習潛能設計評量模式與 Campione & Brown (1985) 的漸進提示評量模式，且其主張適當的中介學習經驗對於個體認知的發展相當重要，故應對於不同程度的學童分段實施不同的評量，該模式分為兩個階段來鑑定受試者的能力及認知缺陷，並採用不同的中介協助系統，以檢視不同教學介入的效益並確認有效的介入成分。但是，該評量模式採分階段實施不同的中介協助系統，所以在設計上較為困難，且執行上也較為複雜 (莊麗娟，2003；劉家成，2002)。

從上述整理可知，動態評量的模式依其發展的理論基礎、評量的目的、設計與介入的方式而各有差異，但其主要的目的均在於改善傳統評量的缺失，嘗試將教學與評量進行連結，不但透過評量來瞭解受試者的學習潛能，並積極地提供適切的輔助給予受試者學習上的協助。而應用不同領導取向之動態評量來輔助學童學習之實徵性研究相當地多 (郭玉純，2005；許家驊、邱上真和張新仁，2003；陳嘉成，2001；劉家成，2002)，以下將特別針對將動態評量應用於促進學童概念學習與概念改變之實徵性研究進行摘要整理。

二、動態評量促進概念改變之實徵性研究

動態評量是一種連結教學與回饋的評量歷程，評量者可藉由與受試者的雙向互動，來瞭解其認知發展的情形，並提供適當的輔助來協助其達到最大的學習潛能，因此，動態評量可謂是一種迥異於傳統評量之跨越多個時間來偵測受試者表現的評量方式。基於上述之特質，近來有些學者將之應用於學童科學概念的學習（余淑君，2001；耿筱曾和陳淑蓉，2005；耿筱曾和蕭建嘉，2002；陳嘉成，2001；劉家成，2002），藉由動態評量的過程來偵測並掌握學童之認知發展的情形，同時，也可在評量的過程中提供適切的輔助，來促進學童迷思概念的改變。而相關之實徵性研究整理如下：

表2-4-1 以動態評量進行概念改變之相關實徵研究

研究者	研究對象	採用動態評量模式	研究方法與結果
余淑君 (2001)	國小生	CMDA(Concept Mapping with Dynamic Assessment) 結合概念構圖與 GPA 之動態評量的模式	利用 CMDA 作為教學策略，來探討國小五年級學童在「生活中的酸與鹼」單元的概念改變機制。研究發現學童概念改變的機制受其概念學習的類型所影響，研究歸納出兩種概念改變的機制。此外，CMDA 不但能讓教師更清楚學童的想法外，也提供學童主動建構並釐清迷思概念的機會。
耿筱曾和 陳淑蓉 (2005)	國小生	MBDA (Metacognition-Based Dynamic Assessment) 結合後設認知與 GPA 之動態評量的模式	開發一個融有後設認知與 GPA 之動態評量的教學策略——「以後設認知為基礎的動態評量 (MBDA)」，並藉此來探究國小三年級學童學習空氣概念之改變機制，研究發現 MBDA 有助學童進行概念改變，而學童之科學概念改變歷程為觀察層→理解層→知識層→應用層。
耿筱曾和 蕭建嘉 (2002)	國小生	CMDA(Concept Mapping with Dynamic Assessment) 結合概念構圖與 GPA 之動態評量的模式	開發並利用 CMDA 作為教學策略，來探討國小六年級學童學習「地球的運動」之概念改變的情形。研究結果發現，研究者結合概念構圖與 GPA 模式所設計之 CMDA 教學策略，可以掌握到學童概念改變的證據並有助其增進思考的機會並提高學習興趣。

陳嘉成 (2001)	國小生	AIMS (Assessment Intervene Misconceptions in Science) 主要採用 GPA 模式，並參考 Posner (1982) 與 Reif (1987) 的概念改變教學模式的理念作為中介來發展設計。	開發一個動態評量模式 AIMS 來促進 128 位國小五年級學童光合作用迷思概念之改變，研究結果發現學童獲得的效益不錯且概念明顯獲得改善。
劉家成 (2002)	國中生	GPA 模式	該研究目的主要在利用動態評量來探討八年級學生，學習浮力概念歷程中心智模式的轉變情形，研究發現接受動態評量的學生，其產生的心智模式較為一致，反之則否。

資料來源：研究者自行整理

由上述相關實徵研究的整理可知，動態評量不但有助於瞭解學童於學習概念歷程中，其概念或心智歷程的改變外，亦可透過中介過程的介入，來協助學童進行概念的改變。

三、小結

一個完整的教學流程中應包含「教學目標」、「學生起點行為的偵測」、「教學流程」與「教學評量」四個步驟，而評量的目的即在提供教師與學生回饋的訊息，以作為改進教學與學習方式之用。然而，傳統評量過度強調標準化的施測方式與量化的測驗結果，僅能提供片段、零碎的訊息，而無法確實捕捉受試者的學習缺失與學童認知歷程的相關訊息，因此，無法具體提供有效之改善學習的建議；而動態評量互動性的特質不但可改善傳統評量的缺陷，並能讓評量的過程與結果更具意義與價值。自 1970 年代以來，動態評量常見的實施模式有「學習潛能評量模式」、「極限評量」、「學習潛能評量設計模式（中介評量模式）」、「漸進提示評量模式」、「心理計量模式」與「連續評量模式」等六種，而本研究採用以 Campione & Brown (1985) 之漸進提示評量模式為理論基礎，來開發數位教材設計模式中的動態評量，以協助學童進行光合作用概念的學習並改善其所持有之迷思概念。