

南台人文社會學報 2014 年 05 月

第十一期 頁 1-32

運用概念構圖於國小六年級學生動物繁殖概念學習之 研究

賴慶三* 倪啟堯**

摘要

本研究之目的，係運用概念構圖策略於國小自然與生活科技教學，探討國小六年級學生對動物繁殖概念的科學學習成效。研究方法採用準實驗研究法，研究對象為國小六年級的學生 65 人。教學單元為國小六年級的「生物的繁殖」單元，實驗組接受概念構圖策略教學，對照組依教科書之教學指引的教學策略進行一般教學。研究工具，包括：雙層次成就測驗和科學態度量表。另外輔以學習單和概念圖，以探討學生學習歷程的科學理解與想法。研究結果發現，包括：(1) 實驗組學生成就測驗的後測得分顯著高於對照組。(2) 實驗組學生科學態度量表的後測得分顯著優於對照組。(3) 概念圖分析發現，概念構圖策略有助於增進實驗組學生對動物繁殖概念的理解。研究結果顯示，概念構圖策略確實有助於提昇國小六年級學生對動物繁殖概念的科學學習成效。

關鍵詞：自然保育、科學概念、科學態度、動物繁殖、概念構圖

*賴慶三，國立臺北教育大學自然科學教育學系教授

電子信箱：clai@tea.ntue.edu.tw

**倪啟堯，新北市中湖國小教師

電子信箱：twnicyn@gmail.com

收稿日期：2013 年 09 月 16 日；修改日期：2014 年 03 月 21 日；接受日期：2014 年 05 月 23 日

STUST Journal of Humanities and Social Sciences, May 2014

No. 11 pp.1-32

A Study of Using Concept Mapping Strategies for 6th Graders' Science Learning on the Concept of Animal Reproduction

*Ching-San Lai** *Chi-Yao Ni***

Abstract

The major purpose of this study was to explore the effectiveness of concept mapping strategies for 6th grade science students learning the concept of animal reproduction. A quasi-experimental design was used with two classes. One class was assigned as the experimental group, and the other was the control group. Pupils in the experimental group were given science teaching which integrated concept mapping strategies into a unit on animal reproduction, while the control group experienced the original curriculum without mapping strategies during the same period. Two research instruments were used in this study, including a two-tiered science achievement test and a scale of attitudes toward science. In addition, qualitative data, such as concept maps and study sheets, were collected to determine the effectiveness of students' learning in the experimental group. The results of this study showed that the experimental group achieved higher scores than the control group in the two-tier science achievement test on animal reproduction. The experimental group also displayed higher scores than the control group in the scale of attitudes toward science. Data from the

* Ching-San Lai, Professor, Department of Science Education, National Taipei University of Education
E-mail: clai@tea.ntue.edu.tw

** Chi-Yao Ni, Elementary Teacher, Chung-Hu Elementary School, New Taipei City
E-mail: twnicy@gmail.com

Manuscript received: Sept. 16, 2013; Modified: Mar. 21, 2014; Accepted: May 23, 2014

concept maps also revealed that pupils in the experimental group achieved a better understanding of the concepts of animal reproduction. These results indicate that science teaching integrated with concept mapping strategies can have a significant influence on elementary school 6th graders.

Keywords: animal reproduction, attitudes toward science, concept mapping, natural conservation, scientific concepts

壹、前言

科學教學過程如何引導學生建構適宜的科學概念，一直是科學教育推展的重要目標之一。黃萬居（1996）指出，在進行科學教學時，科學教師應該察覺學生的迷思概念，進而找出改變學生迷思概念的教學策略，以協助學生建立正確的科學概念。

Posner, Strike, Hewson 與 Gertzog（1982）提出了概念改變模型（conceptual change model），解釋學生學習科學概念的概念改變情形；研究中指出概念改變的四個條件，包括：（1）學習者對現存的概念感到不滿足，（2）新的概念必須是容易理解的、合理的，及（3）可廣泛應用的，（4）並且認為學習是學生的概念發生改變。由此可知科學概念學習不只是新知識的加入，更涉及了新知識與現有概念的交互作用。

Posner 等人（1982）進一步闡述，利用講課、實驗與演示來提出問題，以製造學生概念上的衝突，能有助於學生進行概念改變，因之科學教學過程教師必須找出學生思考上的錯誤與原因，同時發展適切策略以處理學生的迷思想法，利用模型幫助學生理解學科內容，幫助學生建立科學式的思考模式，並運用概念評量技巧，以瞭解學生概念改變的情形。

隨著全球環境變遷的快速變化，使得自然保育成為世界各國極度關注與研究的焦點之一。其中，繁殖概念對生物與自然保育教學具有相當重要且積極的意義，美國科學教育標準和我國九年一貫課程綱要都把「繁殖與遺傳」列為重要的科學學習內容（教育部，2008；National Research Council, 1996）。對國小學生而言，繁殖概念是學習生命科學的重要基礎，學習動物繁殖概念時，不僅須要瞭解不同繁殖方式與分類技能，更須要理解繁殖與自然保育的意涵，並發展出欣賞與尊重各類物種為存續繁衍努力的意義與價值。

概念圖（concept map）最早由美國康乃爾大學的 Novak 於 1970 年

代所發展，隨後廣泛的被運用到各種教育場域；概念構圖（concept mapping）能協助學生拓展他們的知識與概念，並有利於學生聯結舊經驗與新資訊，以建構出學生的概念。Reichherzer（2009）歸納指出，概念構圖具有表徵人類知識的功能。所以，本研究將運用概念構圖策略於自然與生活科技教學，針對動物繁殖單元來探討國小六年級學生科學概念的學習表現。

本研究之目的，係運用概念構圖策略於國小自然與生活科技教學，探討國小六年級學生對動物繁殖概念的科學學習成效。本研究之待答問題，包括：運用概念構圖教學策略，探討（1）概念構圖教學對學生動物繁殖概念學習之影響？（2）概念構圖教學對學生科學態度之影響？（3）實驗組學生對動物繁殖概念的理解？和（4）實驗組學生對動物繁殖的概念圖表現？

貳、文獻探討

一、概念構圖

美國科學教育標準指出，學生應該獲得高品質的科學教學與學習，進行探究式的科學體驗（National Research Council, 1996）。所謂探究式的科學教學與學習，係指教學方法聚焦於發展學生的科學理解與探究技能。當學生進行探究式的科學學習，概念圖則是一種非常有效的工具，可以協助教師或科教研究者來評量學生的科學理解。概念圖（concept map）的建構歷程即為概念構圖（concept mapping），概念圖是使用命題形式，表徵所欲學習的概念與概念間的聯結關係，並可以以此概念圖作為評量與診斷學習者概念結構的工具（Novak, 1996；Novak & Gowin, 1984）。

Novak（1988）針對概念學習指出，概念的獲得在生命早期即已發生，迷思概念在早期即已存在並常抗拒日後的修正，學習前已有的知識會影響新的學習，人類訊息處理的能力是有限的。余民寧（1997）進一步指

出，迷思概念時常發生，有時長期的主宰個人的信念，對學習者而言是不利於科學概念的理解。

許松樑、邱上貞、蔡長添（1990）研究發現，概念構圖可作為成就測驗工具之用；能提供教師教學參考；也可以診斷學生學習情形，以便實施補救教學。薛雅惠（2000）發現，教師透過概念構圖的教學歷程，可診斷出學生在探討學習內容的困難與迷思，進而改進自己的教學方法，不斷修正教學過程中的教學技巧，建立良好的師生互動關係；而學生的學習回饋顯示，概念構圖教學策略，普遍為學生所接受，學生認為可獲得明確的學習方向與學習指引，增進其對學習內容的了解，減少學習困難，幫助記憶，達到有意義學習之目的。

余民寧（1997）闡述 Novak & Gowin（1984）的論述指出，概念圖並不像機械式學習，只要求學習者記住原理原則而已，而是要求學習者針對所要學習內容的概念，先做階層性分類和分群，並將兩兩概念間的關係以聯結線聯結起來，於聯結線上標記稱呼（聯結語），以輔助說明概念與概念間的聯結關係，最後形成一幅網狀結構圖，也就是概念圖。概念構圖是濃縮提煉的藝術，掌握了最主要、重要的內容訊息，做到少而精，以簡馭繁，呈現出的每一筆劃、文字都具有啟發性，能喚起學生對學習內容的想像記憶，幫助學生理解知識，建構知識，獲得有意義的學習。Reichherzer（2009）歸納指出，概念構圖具有表徵人類知識的功能。

余民寧（1999）進一步強調，概念構圖不僅可以當成一種教學與學習的工具，亦可視為一種學習策略。在教學上的應用有：（1）引起動機：概念構圖可以幫助學習者藉由概念的分類、排序及有意義的連結，而使他們對所學習的教材內容有一個清晰的架構藍圖（Novak & Gowin, 1984）。所以教師若在教學前呈現專家所繪製的概念圖，就如提供一個學習的鷹架給學生，使學生對於將要學的內容產生了藍圖。另外，當介紹一個新的主題時，讓學生自己去建構一個概念圖，對學生而言是具有價值性與挑戰性的工作。藉由學生所繪的概念圖與其他的學生和老師所繪的圖來

相互比較，如此學生更能明確地對於新領域有所瞭解（Malone & Mastropieri, 1992）。(2) 診斷學生的概念：在概念圖的網絡裡，各個節點是我們所稱的概念（concept）；而想法（conception）則可以描述為許多命題的組合，是藉由明確的線段將兩個概念結合在一起之後，再與其他的概念做相互的聯結，形成一個概念的網絡結構。藉由學生所繪製的概念圖，我們可以清楚地了解到學生的概念及想法。

近年來，國內許多研究者都將概念構圖運用到教學與研究，所實施的學科領域包括：語文閱讀、英文、歷史、地理、科學、生活科技、商學、運動、護理等不同領域的學科；所實施的研究對象包括：國小、國中、高中、大學等各階段的學生；由概念構圖策略的實施結果發現，學生普遍能受惠於概念構圖的啟發，而獲致較佳的學習成效（于富雲、陳玉欣，2007；王開府，2008；江淑卿，2001；吳培源，2011；吳裕聖、曾玉村，2011；李博宏、王薰巧，2004；汪栢年，2009；林明珍、黃秀雲、陳芳巧，2003；邱垂昌，2006；曹弘源、潘義祥，2011；陳惠娟、洪久賢，2005；黃國禎、郭凡瑞、蔡新德，2009；劉沛琳，2008；鄭憲聰，2006；盧秀琴、黃麗燕，2007；蕭惠心，2008；薛雅惠，2000）。

林達森（2005）研究發現，概念構圖教學策略能顯著提昇學生科學概念學習之成效，而實驗對象也回饋表示，概念構圖教學對其自然科學概念之學習是有幫助的。于富雲、陳玉欣（2007）研究發現，接受概念構圖學習策略的學生在認知策略得分上顯著高於對照組，而且在後設認知策略與學習成就表現上，也顯著優於對照組。盧秀琴、黃麗燕（2007）研究發現，實驗組學生透過概念構圖策略進行觀察榕樹葉橫切面標本活動時，確實能使實驗組學生產生認知結構的衝突，進而幫助他們釐清概念；而且實驗組學生比控制組學生獲得較多的科學概念與較高的成就測驗得分，並達到顯著差異。

江世豪（2009）研究發現，幼教師資生對於幼兒探究活動的教學觀

點，深受其自身學習經驗影響；歷經概念圖結合故事寫作策略後，幼教師資生對於設計幼兒科學教學活動顯現獲得實質的幫助，同時也對教學實務產生自信心。吳培源（2011）研究發現，將概念構圖融入幼兒教學活動設計中，確實能激發幼兒的學習好奇心與高昂的學習興趣；而且概念構圖的邏輯理性思考，也有助於幼兒教師於設計教學活動時，有效安排教學情境與規劃教學策略，並達成教學目標。

綜合以上可知，概念構圖有助於教師去瞭解學生的科學概念及想法，並且進而得以發現學生認知結構的差異及確認學生的錯誤概念和迷思概念，更能刺激學生去創造出屬於自己的知識網絡。因此，本研究將運用概念構圖策略於國小自然與生活科技教學，來探討國小六年級學生的科學概念學習。

二、動物繁殖與自然保育

DNA 定序 (DNA sequencing)、基因改造 (genetic modified)、和生物資訊學 (bioinformatics) 是當前生物技術與遺傳工程的重要科技，對全球經濟發展扮演重要的角色。生物繁殖則是生物技術與遺傳工程的重要基礎，所以繁殖概念在生物教學與學習上，具有非常重要且積極的意義。因此，美國科學教育標準和我國九年一貫課程綱要都把「繁殖與遺傳」列為重要的科學學習內容 (教育部，2008；National Research Council, 1996)。

繁殖 (reproduction) 或稱生殖，為生物之重要生理特徵之一，意指生物產生新個體的生命現象，其主要意義包括：(1) 新個體的產生，與 (2) 種的延續。鑒於生物之種類繁多，為使主題概念明確，本研究僅聚焦於動物繁殖概念的探討，動物繁殖的主要概念包括：繁殖之意義與重要性、動物的繁殖方式及動物有性繁殖之種類。

大自然中不論是何種生物，都會面臨到生老病死的各個階段。每一種生物都有其生命的極限，而延續其生命的方式便是繁衍出新一代的生

命，這是生物繼續保持其種族延續的不二法門。動物界中專門負責繁殖功能的構造，便是其自身的繁殖系統。每一種動物都有其獨特的繁殖方式，整體說來，動物繁殖可以分為兩種，一種是有性繁殖，另一種是無性繁殖。

動物的繁殖方式，依受精卵的發育又可區分為卵生、胎生、與卵胎生三種，卵生（*ovipara*）動物將成熟的卵排出體外後，行體外受精，由卵供應幼體生長時所需之養分，最後於體外發育。胎生（*oviparity*）動物則是授精卵在母體內孵化，藉臍帶與胎盤由母體獲得養分，直待胎兒成熟，而產出幼體；因受到母體適當的保護，所以存活率比卵生者高。卵胎生（*ovoviviparity*）動物，則是將排出的受精卵停留在母體內，藉卵本身的卵黃供給營養並發育成幼體，一待成熟，母體即將幼體連同卵膜產出體外。

動物的育幼行為又稱為哺育，是指在產卵後會在受精卵附近進行保護，防止卵被別的生物吃掉或侵害，甚至有些動物會照顧至其可以自立更生為止，因此亦稱為親代照顧（*parental care*）；亦有學者提出親代投資（*parental investment*）的概念，指的也是親代對子代個體進行的任何形式的投資，從而增加了該個體生存的機會（因而得以成功地繁殖），以上指的皆為動物育幼行為。

然而 *Chattopadhyay*（2005）指出，國際層級的研究結果發現，學生對繁殖、遺傳、遺傳生技的學習表現仍欠理想，且普遍存有相關迷思概念。因此，如何強化學生在動物繁殖概念的學習，是當前生物與自然保育教學的重大挑戰與任務。

曾千虹、耿正屏（1993）針對學生生物概念進行研究，研究發現，學生對於不可觀察之抽象概念的學習較有困難；國小、國中及高中學生具有相當多的迷思概念，也有許多錯誤的想法共同存在於這三階段的學生。施惠（1993）對動物生殖類型的研究發現，學生的迷思概念，以卵

胎生的迷思情形最為嚴重，迷思概念包括概念表徵的混淆和動物生殖類型概念分類的混淆，迷思概念原因則可能來自：(1) 學生對胚胎發育營養來源的認知困難，(2) 學生對校外的資訊解碼的偏差，(3) 不正確的教學過程誤導而產生，(4) 教材敘述不夠完整與設計不夠嚴謹，也可能是學生形成迷思概念的原因。

陳世輝、古智雄 (1995) 指出，繁殖為生物生命現象之重要特徵，且為物種生命得以延續的關鍵，但學生在一般性歸類分組的情況下，常不易聯想到以生殖為動物之區分準則，推測原因可能是學生對動物概念的建立並不完全，或是動物繁殖類型的相關資訊不夠，導致學生在分類動物時無法將相關概念加以連結，在學習以繁殖為分類基準進行二級甚至以上的分類時發生困難。

九年一貫課程綱要雖然把「繁殖與遺傳」列為重要的科學學習內容，然而九年一貫課程實施後，有關中小學學生在繁殖與遺傳的學習之研究卻不多。張麗錦、方富熹 (2006) 研究發現，4-7 歲兒童對繁殖的認知可分為不理解、部份理解和確切理解；兒童在入學 7 歲後能依據對植物繁殖的樸素理解區分植物與非生物。楊坤原、張賴妙理 (2004) 發現，國一學生在經過教學後，仍對細胞 (有絲) 分裂的結果、減數分裂的過程與結果、基因控制性狀表現、顯性基因與隱性基因、同源染色體的定義與辨識、染色體、基因與 DNA 的關係、雙套染色體的定義與成因、後天改變的性狀之遺傳、性染色體及孟德爾遺傳定律等，具有另有概念。基於九年一貫課程實施後，國小階段學生動物繁殖概念研究的缺乏，所以有關國小學生對動物繁殖概念的學習與發展，實有待進一步進行探討。

其次，自然保育是目前全球各地所重視與積極探討的議題。張珍悅與徐勝一 (2010) 指出，當前許多大自然失衡的現象讓人類開始思索與反省，並促使自然保育與永續發展理念的萌芽，永續發展的要旨係在檢視人類過去發展道路上的錯誤，讓我們重新思考今後發展的方向與目標。姚品全與侯雪娟 (2011) 指出，長久以來人類長期認為是自然界的主人，

這終於導致大自然的反撲，甚至進一步吞噬好不容易建立起來的文明基礎，斷傷了大家賴以生存發展的環境。大家於是逐漸瞭解到人與環境的關係，並不像以往所認定的征服者和被征服者的關係，而是共存共生的關係。

顏仁德（2010）闡述，自然保育可安適國人身心，穩定社會，與環境共生，其無形之價值與重要性極高；當前生態保育推展重點，包括：各類保護區及濕地、保護管理野生物、防制入侵種、保育地景、推動生物多樣性，及整合環境保育等。顏仁德（2010）進一步強調，當我們能夠將自己視為土地社區的一份子，能夠以愛和尊敬的心來善待環境，涵養合乎當代需求的环境素養的同時，自然保育的工作亦將獲致最大成效。針對自然保育與永續發展的實踐，Mason（2009）呼籲，我們應該改變教導孩子的方式，以確保自然保育與永續發展能夠有效達成。

綜上所述，動物繁殖單元是自然保育的重要概念之一，不僅為學生學習生物概念所不可或缺，且在九年一貫課程綱要自然與生活科技領域中佔有相當的份量，但相關文獻發現中小學學生對動物繁殖易產生迷思概念，所以如何協助學生增進對動物繁殖與自然保育的學習，幫助學生發展正確的動物繁殖與自然保育概念，是進行自然與生活科技教學的重要課題。

參、研究方法

本研究之研究方法，採準實驗研究法，輔以概念構圖策略進行質性分析。研究對象為新北市某國小六年級的學生兩班，一班為實驗組（學生人數 33 人），接受概念構圖策略教學，另一班為對照組（學生人數 32 人），依教科書之教學指引所建議的教學策略進行一般教學；二班的教學活動皆由同一位教學者擔任，授課時數皆為四週，共計 12 節課。

本研究之自變項為教學策略，實驗組實施概念構圖策略教學，對照

組接受一般教學；依變項包括：動物繁殖雙層次成就測驗分數，及科學態度量表分數；控制變項包括：教學內容（牛頓出版社「自然與生活科技」六年級的單元「生物的繁殖」），教學者（皆由同一位教學者擔任），和課程教學時間（授課時數皆為四週，共計 12 節課）。

本研究所使用的教材，為牛頓出版社「自然與生活科技」六年級的單元「生物的繁殖」，然而因為該單元中涉及動物與植物的繁殖概念，為避免概念範圍過大，本研究僅聚焦於動物繁殖的部份。

本研究之教學過程，先進行單元目標分析，再擬定教學主題，然後設計實驗組與對照組之教學活動。實驗組概念構圖教學流程，係參考余民寧（1997）的概念構圖教學步驟，實驗組學生先進行 2 節概念構圖的內容與製作之教學活動，使實驗組學生熟悉何謂概念和概念圖，瞭解概念圖的意義，及練習一般概念圖的繪製。隨後二組學生均進行 12 節「生物的繁殖（動物繁殖的部份）」的教學活動，均包含 3 個學習活動「動物的繁殖行為、動物的繁殖方式、父母與子女（各 4 節課）」，實驗組學生接受概念構圖策略教學，並於學習過程進行概念圖繪製與討論。對照組學生則依教科書教學指引之建議進行教學，內容包括教師先進行課室引導、學生進行討論、專題資料搜集、並作成報告與進行分享（ppt 報告）等教學活動。二組學生之教學過程，均予以小心謹慎進行實施，以避免出現強亨利效應（John Henry effect）或霍桑效應（Hawthorne Effect）。

本研究之研究工具，包括：「動物繁殖雙層次成就測驗」和「科學態度量表」。動物繁殖雙層次成就測驗，為自編的概念測驗，目的在探討研究對象在動物繁殖單元的學習表現，採 Treagust（1995）雙層次測驗的型式，包含選擇答案和選擇理由兩層次，本測驗分為四個分測驗：（1）繁殖的意義與重要性（4 題）；（2）動物的交配與哺育概念（7 題）；（3）動物的繁殖方式（8 題）；（4）動物的遺傳（6 題）。測驗工具的信度考驗，經實施二次預試修訂後，題目共 25 題，試題的難度係數為.37~.79，試題的鑑別度係數均大於.28；全測驗的庫李信度為.90，測驗工具的信度良好。

效度考驗採內容效度考驗，由三位科學教育專家審核，測驗工具的效度良好。

科學態度量表，為自編的態度量表，目的在探討研究對象在動物繁殖單元學習前後的科學態度表現，量表採用李克特式量表（Likert-type）四點量尺設計，每一題均有「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個選項，填答者依照題意根據自己的看法勾選一項。選項的得分依序為4分、3分、2分、1分（反向題則為反向計分）。得分越高者，表示受試者科學態度傾向正面積極；反之得分越低，則表示受試者科學態度傾向負面消極。本科學態度量表共分三個分量表，包括：（1）對自然科課程的態度（8題）；（2）自然科學習動機（8題）；（3）自然科學習策略（8題）。量表的信度考驗，經實施二次預試修訂後，題目共24題，各分量表的 *Cronbach's α* 係數為.83、.81、.88，全量表的 *Cronbach's α* 為.93，量表的信度良好。效度考驗之實施，則由三位科學教育專家審核，量表的效度良好。

研究工具的施測，動物繁殖雙層次成就測驗和科學態度量表於教學前後，對兩組學生進行前測和後測；前後測的試題版本，其題目內容相同，而後測題號則依亂數進行重新排序編號；資料分析，採共變數分析和變異數分析，以了解概念構圖策略科學教學對學生科學學習的影響。其次，研究過程針對實驗組學生，另外輔以學習單和概念圖，以探討實驗組學生學習歷程的科學理解與想法。學生概念圖之資料搜集與分析，實驗組學生於教學活動實施的前、後進行繪製概念圖，搜集後藉以了解學生接受概念構圖教學活動後，對動物繁殖概念的理解與改變。

肆、研究結果與討論

一、概念構圖教學對學生動物繁殖概念學習之影響

實驗組與對照組學生，在「動物繁殖」教學前實施「動物繁殖雙層次成就測驗」前測，並於教學結束後隔週進行後測，測驗結果之平均數與標準差摘要表，如表 1。

表 1

學生「動物繁殖雙層次成就測驗」之平均數與標準差摘要表

單元名稱	測驗時機	實驗組 (N=33)		對照組 (N=32)	
		平均數	標準差	平均數	標準差
動物繁殖	前 測	25.03	8.42	25.53	6.09
	後 測	38.94	6.84	35.59	7.66

註：極大值和極小值=(50,0)

由表 1 結果發現，兩組學生「動物繁殖雙層次成就測驗」的施測結果，後測平均數皆高於前測平均數，顯示兩組學生皆有進步；但兩組學生的進步幅度，並不相同。因此，針對學生「動物繁殖雙層次成就測驗」的學習表現做進一步的分析，以不同的教學方式（實驗組接受概念構圖教學，對照組進行一般教學）為自變項，「動物繁殖雙層次成就測驗」後測得分為依變項，「動物繁殖雙層次成就測驗」前測分數為共變項，進行共變數分析，共變數分析摘要表如表 2。

表 2

兩組學生「動物繁殖雙層次成就測驗」之共變數分析摘要表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方和	F 值	顯著性
組別	215.557	1	215.557	7.207	.009**
誤差	1824.456	61	29.403		

註：**表示 $p < .01$

從表 2 得知，排除兩組學生「動物繁殖雙層次成就測驗」前測分數（共變量）的影響之後，實驗效果顯著，在「動物繁殖」單元之 F 值為 7.207，達 $p < .01$ 的顯著水準。接著進行事後比較，求出調整後的平均數，以比較何組受試者在依變項的平均數有顯著差異存在，其結果如表 3。

表 3

兩組學生動物繁殖概念雙層次成就測驗的調整前後平均數摘要表

組別	前測平均數	後測平均數	後測調整後平均數
實驗組	25.03	38.94	39.102
對照組	25.53	35.59	35.429

由表 2 和表 3 發現，實驗組經實驗處理後，在「動物繁殖雙層次成就測驗」後測得分的成績顯著優於對照組；研究結果顯示，藉由概念構圖教學策略進行教學，確實有助於提升國小六年級學生在動物繁殖與自然保育的科學學習成就。國內關於概念構圖教學研究很多，分析本研究的結果顯示出，利用概念構圖教學策略對國小學生在科學學習上是有顯著的進步；此結果和于富雲與陳玉欣（2007），吳裕聖與曾玉村（2011），林達森（2005），黃達三（1995），盧秀琴與黃麗燕（2007）等人的研究發現大致符合，顯示出利用概念構圖教學策略，能讓學生主動去建構他們的知識，確實對於學習成就是有幫助的。

接著本研究使用質性資料（包括：學習單和概念圖等），進一步探討

概念構圖為何能增進實驗組學生學習成就的因素，本研究認為可能有下列幾點原因：

1. 概念構圖教學強調學生主動去探索問題，尋求解答，從而去建構他們自己的概念結構，產生有意義的學習，並將所學應用在自己的真實生活中。概念構圖的教學策略，除了可提供教師瞭解課程概念間的關係，再透過學生所呈現的概念圖，瞭解學生腦中的認知結構，同時也可以指出學生的錯誤概念之所在。當教學過程能夠確認學生的錯誤概念，就自然容易找出錯誤概念的關鍵點，並對症下藥進行補救，所以教學效果可以達到事半功倍的程度（許松樑、邱上貞、蔡長添，1990；曾千虹、耿正屏，1993；薛雅惠，2000；Novak & Gowin, 1984）。

2. 動物繁殖概念中包含許多的分類概念，這類概念對於國小學生是屬於抽象且不易理解的，但透過概念構圖教學的呈現，學生較能從課程中產生有意義的學習，進而達到概念的改變。由文獻中概念構圖的特性（Novak, 1996；Novak & Gowin, 1984）與實際教學後，本研究發現概念構圖教學策略確實適用於隱含階層或分類概念的內容的教材，此類教材透過概念構圖來進行教學，能較一般傳統的教學法在概念學習成就上有正向的提升。但教學實驗中亦發現概念構圖教學策略，對於類似定義或現象的內容，則無法有顯著的提升效果，經研判此類概念若能具體呈現現象或影片，則其教學效果可能較易提升，所以對類似定義或現象的內容特性的教材，教學者可以考慮選擇其他的教學法或媒體呈現。

二、概念構圖教學對學生科學態度之影響

實驗組與對照組學生，在「動物繁殖」教學前實施「科學態度量表」前測，並於教學結束後隔週進行後測，科學態度量表施測的結果之平均數與標準差摘要表，如表 4。

表 4

學生「科學態度量表」之平均數與標準差摘要表

單元名稱	測驗時機	實驗組 (N=33)		對照組 (N=32)	
		平均數	標準差	平均數	標準差
動物繁殖	前 測	61.59	5.30	63.37	5.30
	後 測	77.94	3.64	72.53	3.23

註：極大值和極小值=(96,24)

由表 4 結果發現，兩組學生「科學態度量表」的施測結果，後測平均數皆高於前測平均數，顯示兩組學生皆有進步；但兩組學生的進步幅度，並不相同。因此，針對學生的「科學態度量表」的表現做進一步的分析，進行前後測變異數分析。由前測變異數分析，發現 F 值為 1.80，達 $p>.05$ ，表示兩組學生科學態度的前測表現沒有差異。兩組科學態度的後測表現之變異數分析摘要表，如表 5。

表 5

兩組學生「科學態度量表」之變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方和	F 值	顯著性
組間	467.64	1	467.64	39.40	.000***
組內	735.84	62	11.86		

註：***表示 $p<.001$

從表 5 得知，兩組學生科學態度的後測表現之變異數分析的結果，實驗效果顯著，其 F 值為 39.40，達 $p<.001$ 的顯著水準。由表 5 發現，實驗組經實驗處理後，在「科學態度量表」的後測得分顯著優於對照組。研究結果顯示，藉由概念構圖教學策略進行教學，確實有助於提升國小六年級學生的科學態度表現。另外，經進一步檢視兩組學生在科學態度量表各分量的前測表現，均無顯著差異 ($p>.05$)，但在後測的表現，

在對自然科課程的態度、自然科學習動機、自然科學習策略等三個分量表的表現，實驗組均顯著優於對照組，且均達 $p < .001$ 的顯著水準。

其次，經由對教學者教學省思札記進行檢核與分析，本研究進一步探討概念構圖為何能增進學生科學態度表現的因素，認為可能有下列原因：概念構圖教學策略讓學生可以監控自己的學習歷程，並從所繪製的概念圖中，可以對自我的學習成果做一個評鑑；在繪製概念圖的過程中，學生可以把知道的概念畫出來，這個歷程是主動的表現出他們所知道的，而不是被動的被別人考出他們所不知道的，從而增強了學生學習科學的信心；其次，製作概念圖時，因為能完成概念圖的建構，以及體會到概念對他所呈現的意義，所以能促進學生的科學態度的提升。科學態度為科學素養中相當重要的要項，也是學習科學時很重要的一環，本研究發現在使用概念構圖教學策略進行教學後，實驗組學生對教學法的改變不但不會抗拒，反而具有促進學習興趣的效果，也同樣的表現於學習態度上。因此，實驗組學生在科學態度的全量表和 3 個分量表的表現均顯著優於對照組。

三、實驗組學生對動物繁殖與自然保育概念的理解

本研究使用 Treagust (1995) 雙層式測驗 (two-tier test) 型式的評量工具，來診斷實驗組學生的迷思概念，以確認實驗組學生對概念是否真正的瞭解。在雙層式測驗中，第一層可以確認學生對概念內容的正確性，第二層可以瞭解學生對概念的理解是否正確，如此，可以在不必進行晤談的情況下，便可瞭解實驗組學生對概念是否真正瞭解。實驗組學生之前後測各題答題結果摘要表，如表 6。

表 6

實驗組學生動物繁殖雙層次成就測驗前後測各題答題結果摘要表

題號	前測		後測	
	第一層答對率 (%)	兩層皆答對率 (%)	第一層答對率 (%)	兩層皆答對率 (%)
1	69	47	88	75
2	59	41	84	72
3	78	66	88	78
4	69	44	94	91
5	56	47	91	78
6	56	50	81	75
7	44	38	81	66
8	50	38	84	69
9	47	34	75	66
10	41	38	72	63
11	59	53	91	81
12	63	50	88	75
13	41	34	69	63
14	50	38	75	63
15	53	41	84	78
16	63	47	91	75
17	44	34	75	69
18	66	47	84	78
19	59	47	69	66
20	56	44	88	75
21	63	44	81	78
22	59	47	88	75
23	56	47	81	75
24	41	38	75	66
25	59	44	88	78

由表 6 實驗組學生動物繁殖概念答題情形，可知實驗組學生的概念認知分佈。為了進一步探討六年級學生對於「動物繁殖」所持之迷思概

念，遂將實驗組學生前後測答題的答案製成交叉分析表，並依照交叉分析表中人數比例來做為評斷標準，為避免少數樣本影響本研究概念分析之結果，因此選取實驗組學生較易存有迷思概念的題目來分析；選取的題目為實驗組後測單一錯誤選項仍超過 20%的試題，此類選項為實驗組學生經過教學後持續存有迷思概念的類型，選取的題號為 10 和 14 等 2 題。

題目 10 的內容，如圖 1。

<p>題目 10</p> <p>() 對同一種動物而言，哺育幼小的時間愈久，通常下一代【(1) 存活率愈小 (2) 存活率越大 (3) 沒有影響】。</p> <p>() 理由是：</p> <p>(1) 存活率與哺育時間長短無關</p> <p>(2) 哺育時間越久得到的照顧就越多，所以存活下來的也越多</p> <p>(3) 哺育時間越久，代表子代快死了</p> <p>(4) 看生下來的體型大小決定，體型大的哺育時間越久，存活率越小</p>
--

圖 1 題目 10 的內容

本題目主要是用來診斷實驗組學生對動物繁殖中「哺育幼小」與「存活率」的概念，動物的育幼行為又稱為哺育，是指在產卵後會在受精卵附近進行保護，防止卵被別的生物吃掉或侵害，甚至有些動物會照顧至其可以自立更生為止，因此增加了該個體生存的機會（因而得以成功地繁殖），本題測驗結果，如表 7。

表 7

實驗組前後測第 10 題雙層次回答人數及百分率統計表

第 10 題		第一層答案																
		1		2				3				小計						
		N		%		N		%		N		%		N		%		
		前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	
		1	0	0	0	0	1	3	3.1	9.3	9	4	28.1	12.5	10	7	31.2	21.8
第二層答案(理由)	2	0	0	0	0	12	20	37.5	62.5	0	0	0	0	12	20	37.5	62.5	
	3	4	1	12.5	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	12.5	3.1	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	18.7	12.5	6	4	18.7	12.5	
	小計	4	1	12.5	3.1	13	23	40.6	71.8	15	8	46.8	25	32	32	100	100	

註：反白欄位表正確選項

由表 7 結果可以看出實驗組學生的概念分布情形，在迷思概念方面，由後測答題情形顯示，21.8% 的學生仍認為「存活率與哺育時間長短無關」、12.5% 的學生仍認為「看生下來的體型大小決定，體型大的哺育時間越久，存活率越小」等迷思概念。前後測答題情形亦顯示經實驗處理後，能擁有正確之概念的學生比率有 25% 的提升，而答案組合 3-1 的學生亦能有 15.6% 的減少。

題目 14 的內容，如圖 2。

實驗組題目 14

- ()下列哪一類的動物通常一次產下的後代數量較少。
 (1) 魚類 (2) 哺乳類 (3) 不一定
 ()理由是：
 (1) 因有哺育幼小可以確保後代的存活，因此產下的數量可以較少
 (2) 與動物種類無關和天候、溫度較相關
 (3) 水生動物通常產下的數量較少
 (4) 產下子代的數量視雌性的體型而定，大型的動物產下較多

圖 2 題目 14 的內容

本題目主要是用來診斷實驗組學生對動物繁殖中「哺育幼小」與「繁殖方式」交互應用的概念，會哺育幼小通常能保持較高的存活率，且需要花費精力照顧幼小，無法負荷照顧過多數目的子代，此題測驗結果呈現於表 8。

表 8

實驗組前後測第 14 題雙層次回答人數及百分率統計表

第 14 題	第一層答案																
	1		2				3				小計						
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%			
	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測	前測	後測			
	0	0	0	0	12	20	37.5	62.5	0	0	0	0	12	20	37.5	62.5	
第二層 答案 (理由) 小計	2	0	0	0	0	0	0	0	7	2	21.8	6.2	7	2	21.8	6.2	
	3	4	3	12.5	9.3	0	0	0	0	0	0	0	4	3	12.5	9.3	
	4	0	0	0	0	4	4	12.5	12.5	5	3	15.6	9.3	9	7	28.1	21.8
	小計	4	3	12.5	9.3	16	24	50	75	12	5	37.5	15.6	32	32	100	100

註：反白欄位表正確選項

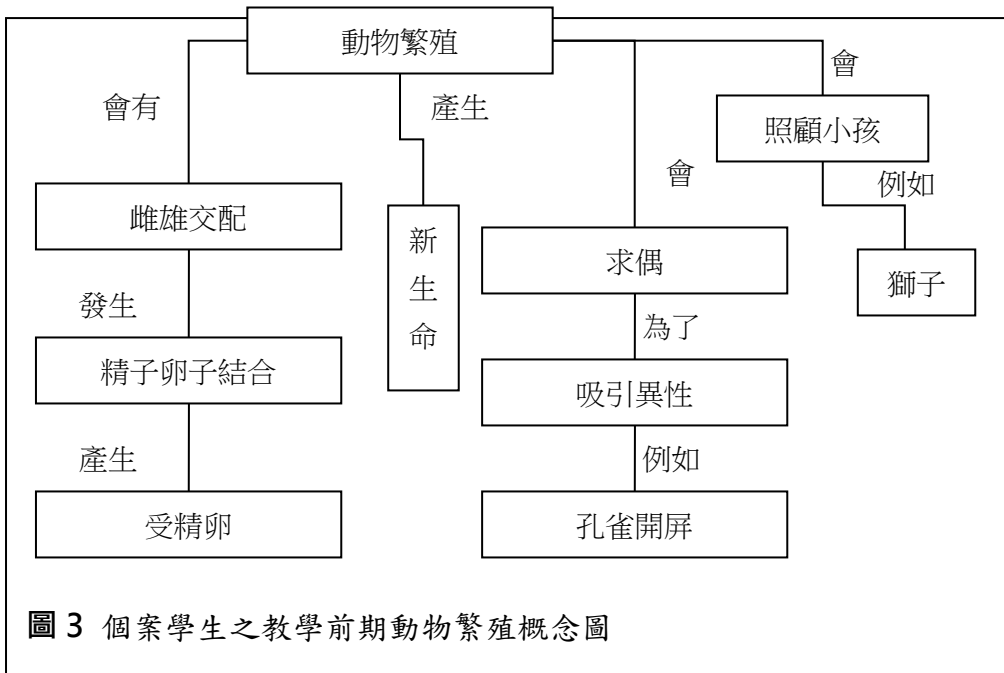
由表8結果可以看出實驗組學生的概念分布情形，在迷思概念方面，由後測答題情形顯示，21.8%的學生仍認為「動物產下卵的數量視雌性的體型而定，大型的動物產下較多」等迷思概念。前後測答題情形亦顯示經實驗處理後，能擁有正確之概念的學生比率有25%的提升，而選擇答案組合3-2的學生亦能有15.6%的減少，但選擇答案組合2-4的學生卻仍維持原有比率，顯示經實驗處理仍無法有效改變部分學生的原有概念。

由上述結果發現，實驗組國小六年級學生在動物繁殖單元仍存有若干迷思概念。部分國小六年級學生持有之動物繁殖迷思概念為：(1) 哺育幼小的時間長短與子代體型大小有關；(2) 動物產下卵的數量視雌性的體型而定，大型的動物產下較多。此項結果，和施惠(1993)、陳世輝與古智雄(1995)提到動物繁殖分類概念產生之迷思概念大致符合，顯見學生在動物繁殖所產生迷思概念的類型相當一致。

因此，未來進行動物繁殖教學時，教學者應該注意到學生可能存在的迷思概念，進而找出改變學生迷思概念的教學策略，以協助學生建立正確的科學概念。本研究發現使用概念構圖教學策略教學的實驗組，能獲得較佳的學習成效，顯示運用概念構圖教學策略後確實可增加正確的動物繁殖概念，且其正確的動物繁殖概念的比例亦較一般傳統教學的對照組為高，充分顯示概念構圖教學策略可在動物繁殖單元達到改變學生迷思概念的目的。

四、實驗組學生對動物繁殖的概念圖表現

另外，為了解實驗組學生在實驗處理前後之概念改變情形，本研究搜集並分析實驗組學生的概念圖，用以比較實驗組學生的概念結構，由於大多數實驗組學生在實驗處理後之概念圖表現均能達到正向提升，因此以下僅選取進步幅度最大的一位實驗組學生(以下稱「個案學生」)來進行分析。該個案學生之前後概念圖，如圖3和圖4。



由圖 3 發現，該個案學生在教學前期，對已知的動物繁殖概念命題僅有少數幾個，均為一般常見的概念名詞，能以上述概念命題連結的階層數亦只有 3 層，再則可能因為該個案學生所知的概念並不完整，所以還無法大量舉例，圖 3 僅提出兩個常見的例子，不過由其概念圖的連結、階層、及舉例部份，可看出該個案學生對於繪製概念圖並不陌生，但比較缺乏的可能是動物繁殖的相關概念。

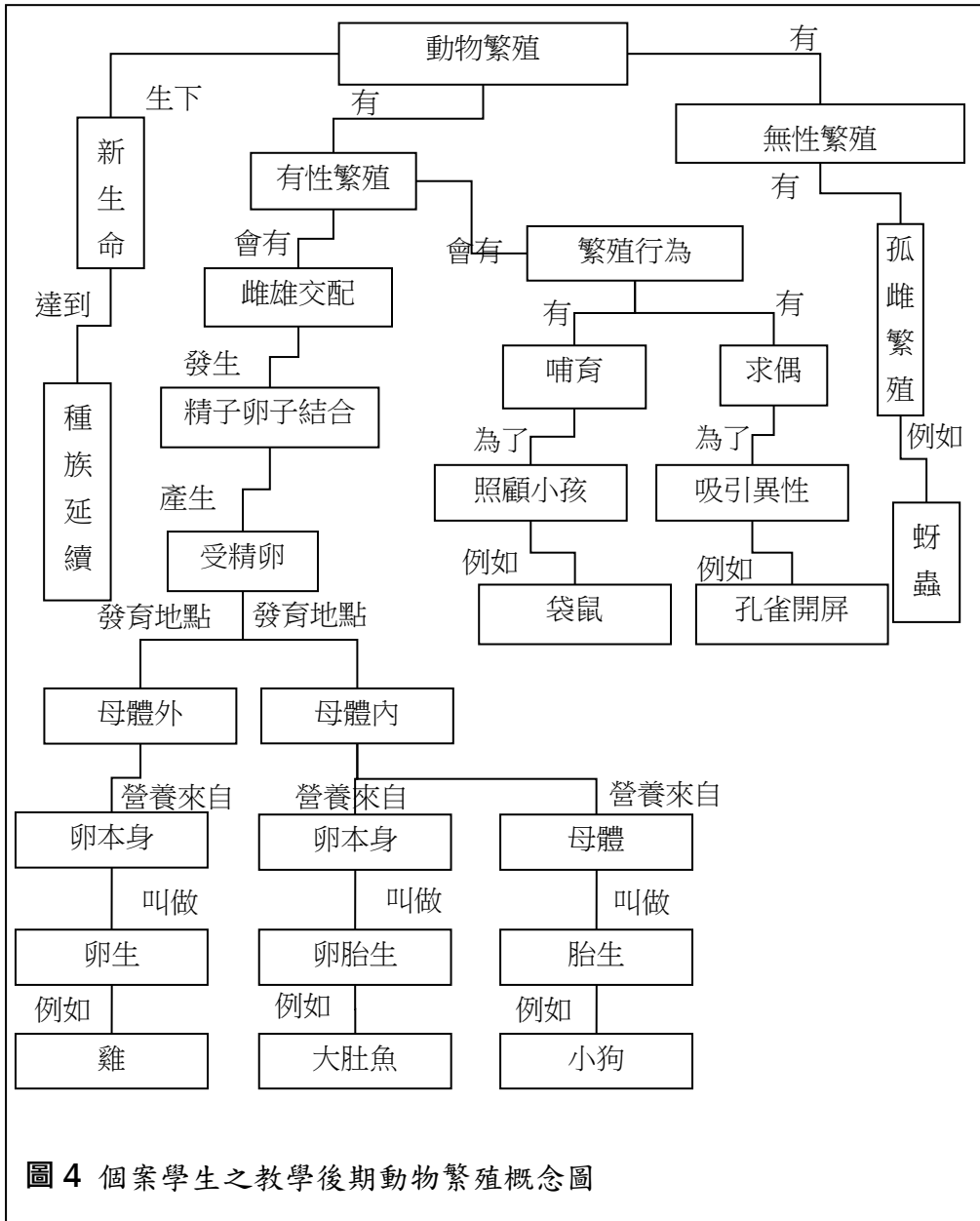


圖 4 個案學生之教學後期動物繁殖概念圖

由圖 4 發現，該個案學生經過教學實驗處理後的所繪製的概念圖，其概念命題數明顯增加，除了常見的概念名詞之外，還能提到無性繁殖、卵胎生等多數學生易產生迷思概念的概念名詞，顯示該個案學生對課程

中的內容已能內化於其知識結構，達到概念量的提升；其次，該個案學生對於命題也都能建立有效的連結，將概念圖階層數大幅的增加為 8 層，且舉例數量亦提昇為 6 個，已逐漸趨近於專家概念圖。

檢視個案學生之前後期概念圖結構時，發現該個案學生在經過教學實驗處理後，無論在概念的階層深度（概念階層數）以及概念的命題廣度（概念舉例數量）都能有顯著的提升，而且都能有效的舉出例子說明，顯示該個案學生對動物繁殖概念的學習確實有實質的提升。因此，可知該個案學生在接受概念構圖教學策略後，已能將課程內容加以統合吸收，並經由概念構圖統整單元概念，最後促成個案學生對動物繁殖概念上的改變。

綜合上述可知，概念構圖可以有效統整學生的單元概念，經由概念圖的呈現更可讓教學者與學習者充分了解概念架構的情形。單元教學活動過程常需由淺入深、由簡馭繁，所以透過概念構圖的繪製過程，除了可統整新經驗，亦可納入舊經驗，使新舊經驗一起統整為完整的概念架構，這也正是教學中所強調的溫故知新，讓學習者能藉概念構圖的方式，統整橫向或是縱向的單元或學科內容。

另外，本研究發現概念構圖在教學過程中，在教學初期教學者常常要花費較長的時間來教導學生，以利學生能順利的完成概念構圖，往往大約需要 20 至 30 分鐘的時間進行概念構圖，但在教學後期隨著學生逐漸熟悉概念構圖技巧，花費時間就能較為減少，這和吳裕聖與曾玉村（2011）的發現一致。此外，概念圖的繪製是需要技巧的，因此，在使用概念構圖教學策略進行教學時，必須十分注意學生是否能夠熟練繪製概念圖，若是發現學生有概念圖製作的困難，教學者應及早介入輔導，以免讓學生產生排斥心態。

伍、結論與建議

本研究運用概念構圖策略於國小自然與生活科技教學，探討國小六年級學生對動物繁殖概念的科學學習成效，根據上述的研究結果，本研究歸納以下幾點結論：

1. 透過概念構圖教學後，實驗組學生在動物繁殖雙層次成就測驗表現顯著優於對照組，全測驗的共變數分析結果， $F=7.207$ （達 $p < .01$ ），實驗效果顯著。由研究結果可知，實驗組學生經概念構圖教學後，在「動物繁殖」單元之學習成就表現明顯優於對照組，充分顯示概念構圖教學策略確實有助於促進國小六年級學生的科學概念發展，所以實驗組學生顯露出優異的科學學習成就表現。

2. 透過概念構圖教學後，實驗組學生在科學態度量表的表現顯著優於對照組，全量表的變異數分析結果， $F=39.40$ （達 $p < .001$ ），實驗效果顯著。由研究結果可知，實驗組學生經概念構圖教學後，在科學態度之學習表現明顯優於對照組，充分顯示概念構圖教學策略確實有助於提昇國小六年級學生科學態度的發展，所以實驗組學生顯露出優異的科學態度表現。

3. 實驗組國小六年級學生在動物繁殖單元仍存有迷思概念。部分國小六年級學生持有之動物繁殖迷思概念為：（1）哺育幼小的時間長短與子代體型大小有關；（2）動物產下卵的數量視雌性的體型而定，大型的動物產下較多。此一研究結果，和施惠（1993）、陳世輝與古智雄（1995）提到動物繁殖分類概念產生之迷思概念大致符合，顯見學生在動物繁殖所產生迷思概念的類型相當一致。因此，未來進行科學教學時，教學者應該注意到學生可能存在的迷思概念，進而找出能改變學習者迷思概念的教學策略，以協助學生建立正確的科學概念。

4. 概念構圖可以有效統整學生的單元概念，經由概念圖的呈現更可

讓教學者與學習者充分了解概念架構的情形。本研究經探討實驗組學生前後期概念圖結構時，觀察實驗組學生在經過教學實驗處理後，由個案學生前後概念圖（圖 3 和圖 4）的比較發現，無論在概念的階層深度（概念階層數）以及概念的命題廣度（概念舉例數量）都能有顯著的提升，而且都能有效的舉出例子說明，顯示個案學生對動物繁殖概念的學習確實有顯著的提升。由此可知實驗組學生在接受概念構圖教學策略後，已能將課程內容加以統合吸收，並經由概念構圖統整單元概念，最後促成實驗組學生對動物繁殖概念上的改變。

因此，整體而言，概念構圖策略確實有助於提昇國小六年級學生對動物繁殖單元之學習，增進學生對動物繁殖的科學學習成效。最後，研究結果同時發現，概念圖的繪製是需要技巧與練習，所以教學者在使用概念構圖教學策略進行教學時，必須十分注意學生是否能夠熟練繪製概念圖，若是發現學生有概念圖製作的困難，教學者應及早介入輔導，以利學生的學習與表現。

參考文獻

- 于富雲、陳玉欣 (2007)。不同知識表徵建構的學習策略對自然科學學習成效之影響。 **科學教育學刊**，**15** (1)，99-118。
- 王開府 (2008)。心智圖與概念模組在語文閱讀與寫作思考教學之運用。 **國文學報**，**43**，263-296。
- 江世豪 (2009)。探究創作科學概念故事教學策略對於幼教師資生的教學實務反省實踐發展之影響。 **嘉南學報 (人文類)**，**35**，889-903。
- 江淑卿 (2001)。概念構圖與圖示對兒童自然科學的知識結構、理解能力與學習反應之影響。 **科學教育學刊**，**9** (1)，35-54。
- 余民寧 (1997)。 **有意義的學習--概念構圖之研究**。臺北市：商鼎。
- 余民寧 (1999)。 **有意義的學習--概念構圖法**。臺北市：商鼎。
- 吳培源 (2011)。概念構圖在幼兒教學活動設計實施之個案研究。 **教育科學期刊**，**10** (1)，27-54。
- 吳裕聖、曾玉村 (2011)。鷹架式概念構圖教學策略對學童生物文章的閱讀表徵與情意之影響。 **教育心理學報**，**43** (1)，1-23。
- 李博宏、王薰巧 (2004)。概念構圖融入自然與生活科技領域課程之教材教法。 **生活科技教育**，**37** (2)，32-47。
- 汪栢年 (2009)。概念構圖與高中歷史教學：以「臺灣經濟的起飛」與「世界文明的交匯」為例。 **歷史教育**，**15**，119-151。
- 林明珍、黃秀雲、陳芳巧 (2003)。護理系在職專班學生學習概念圖之態度與成效。 **志為護理-慈濟護理雜誌**，**2** (1)，42-52。
- 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：自然科學與科技類**，**19**，105-122。
- 邱垂昌 (2006)。應用概念構圖學習策略於商業會計學之研究－合作學習

- 抑或個別學習。高雄師大學報：教育與社會科學類，**21**，87-104。
- 姚品全、侯雪娟（2011）。「能源科技與環境永續」之重要議題初探。大葉大學通識教育學報，**8**，133-146。
- 施惠（1993）。國小學生對動物生殖類型的概念結構研究。國科會專題研究計畫。（編號：NSC 81-0111-S-134-03-N）。新竹市：新竹師範學院。
- 張珍悅、徐勝一（2010）。永續發展教育脈絡探討：「聯合國永續發展教育十年計畫」之回顧。地理研究，**52**，1-26。
- 張麗錦、方富熹（2006）。4-7 歲兒童依據對繁殖的樸素理解區分植物和非生物的認知發展。心理學報，**38**（6），849-858。
- 教育部（2008）。國民中小學課程綱要「自然與生活科技」課程綱要。臺北市：教育部。
- 曹弘源、潘義祥（2011）。概念構圖在理解式球類教學法之應用。中華體育季刊，**25**（4），774-782。
- 許松樑、邱上貞、蔡長添（1990）。國中生物科概念構圖在評量上之應用研究。科學教育，**1**，95-119。
- 陳世輝、古智雄（1995）。山地兒童生物概念及生物分類之研究。國科會專題研究計畫。（編號：NSC 84-2511-S-026-002N）。花蓮縣：東華大學。
- 陳惠娟、洪久賢（2005）。九年一貫綜合活動領域實施概念構圖教學之成效研究。家政教育學報，**7**，1-29。
- 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，**4**，157-182。
- 黃國禎、郭凡瑞、蔡新德（2009）。概念構圖教學策略對國小學童線上資料搜尋能力及知識結構的影響-以自然科課程為例。科學教育學刊，**17**（5），367-385。
- 黃萬居（1996）。八十四年度培育能教導國小學生具有解決問題之能力與提高對科學的興趣之教師的研究(I)。國科會專題研究計畫。（編號：

- NSC 84-2511-S-133-010)。臺北市：臺北市立師範學院。
- 黃達三 (1995)。概念圖作為前導組織因子的生物教學研究。發表於八十四年度師範院校教育學術研討會，國立屏東師範學院，屏東市。
- 楊坤原、張賴妙理 (2004)。發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念。科學教育學刊，12 (1)，107-131。
- 劉沛琳 (2008)。概念構圖理解策略在大學英文閱讀教學之成效。課程與教學，11 (4)，137-162。
- 鄭憲聰 (2006)。概念構圖教學法運用在國小運輸科技教學活動設計—以“簡易手擲機”製作為例。生活科技教育，39 (7)，56-72。
- 盧秀琴、黃麗燕 (2007)。國中“細胞課程”概念改變教學之發展研究。科學教育學刊，15 (3)，295-316。
- 蕭惠心 (2008)。概念圖在國中歷史教材的運用。歷史教育，12，59-79。
- 薛雅惠 (2000)。概念構圖在地理教學的應用。社會科教育研究，5，103-125。
- 顏仁德 (2010)。生態保育及森林育樂推展現況及服務績效之探討。研考雙月刊，34 (5)，99-106。
- Chattopadhyay, A. (2005). Understanding of genetic information in higher secondary students in northeast India and the implications for genetics education. *Cell Biology Education*, 4(1), 97-104.
- Malone, L. D., & Mastropieri, M. A. (1992). Reading comprehension instruction: Summarization and self-monitoring training for students with learning disabilities. *Exceptional Child*, 58(3), 270-279.
- Mason, M. (2009). Making educational development and change sustainable: Insights from complexity theory. *International Journal of Educational Development*, 29(2), 117-124.
- National Research Council (1996). *The national science education standards*.

Washington, DC: National Academy Press.

- Novak, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15(1), 77-101.
- Novak, J. D. (1996). Concept mapping: A tool for improving science teaching and learning. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics*, (pp. 32-43). New York: Teachers College Press.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). Concept mapping for meaningful learning. In *Learning how to learn* (pp. 15-54). NY: Cambridge University Press.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Reichherzer, T. R. (2009). *A concept map-based approach to document indexing and navigation*. (Doctoral dissertation, Indiana University).
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn, & R. Duit (Eds.). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.