科學教育學刊
2010, 第十八卷第二期, 131-153

Chinese Journal of Science Education
2010, 18(2), 131-153

以概念演化樹探討跨年級學生演化概念之發展

辛怡瑩[1]　邱美虹[2,*]
[1]高雄市立龍華國民中學
[2]國立台灣師範大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 98 年 2 月 25 日，修訂日期：99 年 2 月 2 日，接受日期：99 年 3 月 18 日）

摘要：本研究以問卷調查跨年級學生演化概念之發展，對象有小六、國一、國二、高一、高二及大一，有效問卷共 747 份。演化概念分為四個主概念和六個次概念，結果顯示小學六年級學生易使用外在特徵解釋，經國一教學後比例下降。學生在選擇題與開放題的答題表現是中相關，開放題得分較選擇題低，與學生寫作表達能力有關。由概念演化樹可看出科學概念出現順序為主概念三「不同的存活率」、主概念一「個別變異」、主概念二「遺傳決定」，最後主概念四「累積世代的改變」。整體而言，跨年級學生發展逐年增長，但國一到國二有下降情況，主因為國二沒有演化課程，其餘階段皆有與演化相關課程，直到大一階段學生仍尚未建立完整的主概念四「累積世代的改變」。

關鍵詞：演化、概念改變、概念演化樹

壹、前　言

Bishop 與 Anderson（1990）指出演化概念深入了解現代生物學（modern biology）基礎，更突顯演化概念在生物領域中的地位，Stern（2004）亦認為演化的核心概念是培養科學素養的基本要素。在教學上也有許多課程設計，Geraedts 與 Boersma（2006）提出演化機制的角色扮演活動，以協助中學生理解演化的動態過程。

Chi, Slotta 與 de Leeuw（1994）從本體論探討概念改變的內涵，比較物理和生物領域概念改變之情況，提出概念不相容假說（Incompatibility Hypothesis），並且提出概念改變的難易和概念本質有關（引自邱美虹，2000）。概念的本體架構可作為探究學生概念的參考指標，Ferrari 與 Chi（1998）特別針對大學生的演化概念進行研究，歸納整理出三種演化類型：變質演化、變異演化和混雜，變質演化表示突然的產生新物種；變異演化與拉馬克的論述接近，認為演化的發展

*通訊作者：邱美虹，e-mail: mhchiu@ntnu.edu.tw

方向具有意圖性；而混雜不同於前兩項描述則歸類於此。Chi（2005）認為學生在學習演化概念有所困難，主因在於本體屬性的錯置，多數學生以拉馬克的用進廢退觀點來解釋，屬於直接屬性，然而演化本質應屬於突現的過程屬性，因此 Slotta 與 Chi（2006）建議教學前應先進行本體訓練，建立學生的本體觀點。

關於演化概念之研究文獻多以課程設計或學生對演化解釋為主（吳美芬，2002；Settlage, 1994），而本研究以跨年級的方式進行研究，了解隨著年齡演化概念發展。另外，Driver, Leach, Scott 與 Wood-Robinson（1994）主張應採大量的研究與學生概念結合，以提供課程設計者資訊，因此本研究以生物系統分類學作為分析工具，欲了解跨年級學生演化概念之發展。

Campbell 與 Reece（2002）提到許多生物學家皆認同以分類學層級來組織生物多樣性，而支序圖可作為分類上的依據，可以明確地看出演化史中生物的特徵出現相對時間。林靜雯與邱美虹（2007）以生物系統分類學的理論作為探究學生概念發展的工具，實際應用於科學教育領域，並提出的「概念演化樹」一詞說明，從概念演化樹可知跨年級學生具備的演化概念之認知狀態，以及其隨著時間改變情況，以了解學生在學習演化單元，概念改變的過程。

林靜雯（2005）據文獻內容分析出一套電學概念發展樹，與實證結果相似，確定由概念演化樹可找出與實際情況極為符合學生概念發展過程的預設概念改變。如同上述的演化過程，在相同的時間下，存有各種不同的概念，有時概念會發現變異的現象，概念可以並存，不過當概念間發生衝突，發生辯證，競爭後有些概念消失，有些概念依舊存在。因此將生物演化的支序圖應用於學生概念發展歷程，可看出隨著年級增長認知狀態的出現情形，更能從跨年級資料推論出演化概念發展樹。

本研究目的有二：1.跨年級學生對於演化概念之理解，2.跨年級學生對於演化概念之發展。根據以上兩個研究目的，共可分成三個待答的研究問題：

(一)跨年級學生對於演化概念的答題類型和比例為何？

(二)跨年級學生所在選擇題與開放題正確比例之關係為何？

(三)跨年級學生在整體演化概念之發展歷程為何？

貳、文獻探討

一、概念的發展與演化

生物經歷漫長的演化歷程，Toulmin（1972）認為智力發展過程就如同演化論的「變異」和「天擇」，而人類知識的增長過程就是一部漫長的演化史，從族群模式觀點來看學科中概念改變的過程，根據變異和有效修正的單位來說明概念改變的歷程，演化表徵模式可以清楚地看出創新和選擇的差異，詳細的紀錄學科中出現的概念事實或某個時間點出現的爭論和創新。概念改變就如同生物演化的過程，在相同的時間下，存有各種不同的概念，有時候概念會發現變異的現象，概念可以並存，不過當概念間發生衝突，發生辯證，競爭後有些概念消失，有些概念依舊存在。

在生物領域的系統分類學（phylogenetic systematics）以演化歷史為基礎的分類法，利用裔徵建構共祖關係繪製出生物演化過程。Campbell 與 Reece（2002）提到許多生物學家認同以分類學層級來組織生物多樣性，從支序圖（cladogram）可以看出演化史

中生物特徵出現相對時間。Wiley, Siegel-Causey, Brooks 與 Funk（1993）提到唯有單系群可以被驗證為系統發育樹的分類群，而並系群指包含一個祖先和部分非全部的後裔，多系缺少共同的祖先，這兩種都無法符合支序學派（cladistics phylogenetics systematics）的中心思想由利用共同的裔徵（derived or apomorphic character）來重新建構共祖關係。

目前生物技術發達，其中 Swofford（1985）設計的 PAUP（Phylogenetic Analysis Using Parsimony）軟體包含許多篩選方式，是本研究所分析使用的軟體，選用「窮盡搜尋」（exhaustive search）法，窮盡所有可能出現的概念演化樹，進行篩選找出樹長最短的概念演化樹，通常以10種分類群較為有效，而且篩選後的演化樹並非單一棵樹，但仍需要再進一步根據現有的證據篩選出最佳的演化樹。

從生物的譜系關係和相似程度做為分類的依據，有三種重要的功能：加速資料讀取、方便查詢資料和作為比較生物學的基礎（引自 Mayr, 1982）。若能以學生的概念發展為基礎，依照系統分類學的原理原則繪出概念演化樹，找出不同年級學生的概念系統發展路徑，對於往後在演化單元的教學上提供適當建議，參考其發展歷程給予學生適當刺激，使科學概念得以繼續發展。

二、概念改變

Kuhn（1962）提到科學理論的轉變，如同革命一樣。許多科學教育學者認為除了科學家之外，許多人的科學學習歷程中亦會經歷概念改變的過程，Kuhn 所提出的科學革命可謂科學教育中概念改變之開端。隨後，概念改變的議題逐漸被受重視，相關研究如同雨後春筍般出現。

Chi（1992）依據知識本質提出概念本體樹的架構，其理論隨著實證研究結果逐年修正更加精緻化，所有實體（Entities）可以分成「物質（matter）」、「過程（process）」和「心智狀態（mental status）」，三個類別分屬互相獨立的本體樹。物質（matter）代表具有本體屬性，像是可容納的和可儲存的，過程（process）屬性經過幾次修正後，目前分成兩個次類別分別為直接過程和突現過程（Chi, 2005），直接過程的組成成分關係是「有區別的」、「有限制的」、「相互依賴的」和「有終點的」，組成成分與整體關係為「子集合」、「直接關聯的」、「相關的」、「不同狀態的」和「有意圖性的」；內容過程的組成成分關係是「一致的」、「無限制的」、「同時發生的」、「獨立的」和「連續的」，組成成分與整體關係為「所有成分集合的」、「非直接的」、「彼此不相關的」、「同等地位的」和「不具意圖性的」。

Chi 等（1994）提到概念屬性錯置需要進行概念改變，分為兩類：本體類別的概念改變和跨越本體類別的概念改變。前者意指在相同本體樹下的改變，這種改變可以視為信念修正，屬於相容性的概念，所以較容易被學習。而後者意指概念由一個本體類別轉移到另一個本體類別，這種概念改變才是根本的概念改變，概念間彼此是不相容，因此在學習上較困難。

其他概念改變相關研究，Vosniadou（1994）分析兒童的日夜循環概念，發現三種心智模式：初始的、合成的和科學，她認為心智模式來自兒童的預設、文化情境的觀察和信念交互作用產生，兒童的解釋受到初始心智模式限制，概念的獲得是有順序性的，在學習歷程逐步的修正其預設內容，概念改變應屬於漸進的。

許多學者對於概念改變個別提出一套架

構理論，有些學者認為概念改變是屬於突然發生的改變，例如：Kuhn（1962）提出的科學革命，而另一派學者卻認為概念改變屬於漸進式的改變，例如：Chi（1992）認為本體類別內的概念改變是漸進的，但跨越本體的概念改變則為突發的；Vosniadou（1994）則認為漸進式改變。從時間歷程來看，概念改變需要經歷一段時間才形成，若將焦點放在概念改變當下來看則會認為概念改變應屬於突然的。而研究者認為概念改變屬於連續性的改變歷程，假設把不同年級學生所擁有的演化概念連結起來，並探討演化概念隨著年齡發展歷程，根據概念演化樹了解演化概念發展，屬於漸變式或突然轉變，判斷依據於討論中詳細說明。

三、演化的意義與內涵

18世紀末，許多自然學家皆認為生命會隨著環境改變而演變。拉馬克（Jean Baptiste Lamarck）平時在巴黎的自然歷史博物館工作負責無脊椎標本收集，提出一套說明生物如何演化的解釋，於1809年發表，內容重點有二（Campbell & Reece, 2002）：(一)用與不用：時常用於應付環境的身體部位會增大增強，而不用的會退化；(二)後天獲得的特徵可以遺傳的：生物在生命週期中獲得到修飾特徵，可以遺傳給他的子代，例如：歷代祖先體型的拉長而逐漸長高。

當時拉馬克的演化概念被廣泛地接受，目前雖已發現錯誤，但是也絕非都是錯誤的，他的理論仍提供演化新方向：主張化石記錄可證明當代生物多樣性和演化歷程、從演化可以瞭解地球的歷史以及強調演化是對環境適應的初步結果（引自 Mader, 1997）。

19世紀初，達爾文於1809年出生，從小就熱愛大自然，原本學醫，因為興趣不符而到劍橋大學就讀，教授推薦他參與小獵犬號（Beagle）航行，物種的分布引發他的興趣，加上萊爾的《地質原理》，他開始質疑「地球是一成不變」的見解，認為地球歷史久遠，且持續地在變化，更進一步思考地球上的生物也同樣地在進行演化（Mooreead, 1971）。於1859年發表《物種起源—藉由天擇的方法》，開啟了科學家對生物多樣性、生物起源及親緣關係、生物間相似和相異性、生物的地理分布、以及生物對環境的適應等。

達爾文建立化基礎的五大理論：(一)生物會隨著時間而穩定的演化；(二)不同的生物皆傳承自共同的祖先；(三)物種數會隨著時間而增加；(四)演化透過族群的逐漸改變得以發生；(五)演化的機制基於許多獨立個體間對於有限資源的競爭，導致生存和繁殖的變異（引自 Mayr, 1982）。另外，Ohlsson（1991）認為達爾文演化論有五要素：1.種內的任意變異；2.某些特徵的遺傳；3.不同的存活率；4.不同的生殖率；5.歷經世代的改變累積。達爾文的演化論解釋了物種起源的謎題，他的理論到目前依舊被多數人接納。

20世紀初孟德爾（Mendel）遺傳領域崛起，發行《遺傳學與物種起源》一書，突變議題更精確地解釋天擇。現在較為接受的演化觀點，為 Huxley（1942）提出的現代合成理論（morden synthesis）或稱新達爾文理論（Neo-darwinism），結合演化論和遺傳定律，調和生物學家對微演化與天擇機制之觀點（Geraedts & Boersma, 2006）。其理論觀點包含四點：(一)所有演化現象都可以被遺傳學或博物學家解釋；(二)天擇是演化的機制可直接作用在表現型，間接維持基因庫某些基因型能夠適應環境；(三)基因多樣性是引導演化的重要因素；(四)巨演化可解釋物種隨時間發生的主要改變，微演化可解釋族群遺傳結構的改變（Huxley, 1942; Mayr, 1982;

Mayr & William, 1998）。

四、演化概念相關研究

生物學習上，主要的困難是來自於許多生物概念屬於廣泛性的概念，演化和生態學就是最好的例子（Gunstone & Mitchell, 1998）。Evans（2000）研究49位國小學生對物種起源解釋，歸納出學生常出現的四種類型：(一)自然生成論：任何一種變異的出現是由於自然，而不是由變異（transformation）而來；(二)神創論：解釋過程中使用到神、某個人或造物主，將在地球上創造、規劃或放置了新的物種；(三)演化論：物種經歷了自然變異（transformation），從一個物種轉換成另個不同的物種名稱；(四)雜交：假設某個物種的外型與豬和松鼠相似，他們認為此物種來自於豬和松鼠的雜交。西方國家的信仰造成學生出現神創論的解釋（Evans, 2006）。國小學生與19世紀科學家想法相似，無法接受演化論觀點，而且學齡前和國小兒童與演化有關的生活經驗來源即為宗教信仰，所以此階段兒童會因為宗教信仰而出現對於演化論有許多不同的想法（Downie & Barron, 2000）。然而，劉誠宗（2003）研究國內國高中學生信仰與演化概念間未達顯著相關，可知東方國家的信仰對於演化概念影響較小。

Ferrari 與 Chi（1998）將40位非生物主修大學生的解釋做述詞分析，發現63% 為非達爾文式解釋，可分為三類：(一)變質演化（跳躍式演化）：一個較大的突變或跳躍產生新的種類，這種解釋較少僅佔9.8%；(二)變異演化（拉馬克式）：自然或有意圖的方式，逐漸地改變變成較優勢的物種，比率為52%；(三)混雜：解釋內容不清楚，不屬於前兩個類型，則都歸於第三類型。

Settlage（1994）從50位高中生在教學前後的紙筆測驗，歸納出六種類型：(一)需要：個體為了生存需要某性狀，出現目的取向解釋；(二)使用：個體經常性的使用促使性狀發達，而不常使用的性狀而消失，此為拉馬克的理論；(三)適應：生物對環境的適應，但是卻沒有再深入解釋；(四)突變：性狀出現是因為自發性的突變；(五)變異：族群之間的差異；(六)其他：解釋內容不屬於上述五類。

吳美芬（2002）以師院學生為研究對象，解釋架構分成十三種類型：「目的論型」、「目的用進廢退型」、「用進廢退選擇型」、「先演化後選擇型」和「變異選擇型」等共十三種類型。另外，陳藍萍（2003）利用 Chi 本體架構分析高一學生演化概念，發現持有達爾文觀點的學生多傾向突現過程，而持有拉馬克論和目的論的學生則大多傾向以因果過程來解釋。湯偉君（2008）對國中和高中演化課程文本分析，提出演化概念的評量可採用非文字的圖形表徵，具有更佳的意義。

翻閱國小、國中、高中和大學課程，國小五年級課本引導學生觀察自己和父母間的特徵相同和相異處，引導出同種生物間具有變異此概念，所以推測本研究中的國小六年級學生應已具備有物種變異概念。國中課程從運用科學史說明達爾文的探索之旅，根據他在加拉巴哥群島觀察的結果提出天擇說，並搭配例子解說來強化演化概念。目前國內高中教材中提到演化概念只有高三下學期，高中學生應對於演化的概念具備完整概念，已具備基因突變的發生是隨機，無特殊目的之概念。更強化無目的的突變，說明突變並非具有方向性，變異來自於遺傳，而是否適合環境就靠環境來決定，適合者得以繁衍後代，不適於環境者則遭自然淘汰。

總合上述，研究演化概念結果可歸納成四點：(一)演化的解釋類型相當多元，學生

常出現「需要」的目的取向或是拉馬克的「用進廢退」的解釋類型；(二)適應為族群共同適應環境，而非個體的努力或能力適應環境，也就是演化的最小單位為族群層次，而非個體層次，且普遍對於適應的真正意義不清楚，認為適應是個體主動適應環境；(三)了解演化的結果，但是不清楚演化的細部過程；(四)年級較高或經過演化教學後的學生仍存在迷思概念，不同年齡學生也有發現相似迷思概念的存在。根據上述結果，因此本研究擬進行問卷設計，考量演化概念解釋類型眾多，包含選擇和開放題，選擇題的選項另提供其他選項。上述第二點提到適應定義，屬高層次的整合演化概念，將此列入本研究次概念六。本研究主要進行跨年級調查可偵測年級較高的學生是否仍有迷思概念出現，以及與不同年齡學生是否有相似的想法。

參、研究方法

一、研究對象

本研究以跨年級學生為研究對象，考量各年級課程內容與理解狀況，演化單元主要在國一和高三下學期，搭配正式施測時間，選用研究對象有尚未學習演化概念的國小六年級、國中一年級（已學完演化單元）、國中二年級、高中一年級、高中二年級（第三類組）和大學一年級（主修生物相關科系）學生，樣本抽樣屬於立意取樣，國小與國中選用學校為2到3所，每所學校施測班級數為1到3不等，以降低因區域不同造成各校程度差異，高中施測對象選擇排名於中間的學校，因為高中學校有程度上的差異，為了降低程度高低對於結果之影響，因此選用高中學校的程度為中等為主，期能呈現較為普遍高中生的想法，以下將各年級學生以簡稱方式呈現，如：小六代表國小六年級。

施測學校以北部地區為主，問卷共1124份，判斷標準為所有試題皆完成作答，其中小六為117人；國一為113人；國二為124人；高一為133人；高二為144人；大一為116人，有效問卷共747份。施測時間以一節為原則，但對小六學生而言較為困難。因此小六施測方式改為帶領學生逐一讀題，並解說試題內的名詞和圖形，例如：「嘴喙」一詞，在黑板上繪圖並說明嘴喙位置，或加拉巴哥群島位置圖內容搭配口頭說明島嶼位置與島上的鳥類特徵，逐一帶領學生作答，若學生有不清楚部份立即舉手發問，施測時間約兩節課，其餘各年級學生的施測時間約一節課。

二、研究工具

演化概念分類參考 Ohlsson（1991）提到演化論包含五要素，種內的任意變異、某些特徵的遺傳、不同的存活率、不同的生殖率和累積世代的改變，其中不同生殖率涉及世代累積的適應過程，所以將之併入累積世代的改變，共彙整出四個主概念。次概念參考 Anderson, Fisher 與 Norman（2002）演化概念內容，包含十個次概念內容分別為「生物潛能」、「族群穩定」、「自然資源」、「有限的存活率」、「族群裡的變異」、「可遺傳的變異」、「不同的存活率」、「特定性狀比例改變」、「物種起源」和「變異起源」。

然而生物潛能、族群穩定和自然資源概念隸屬於生態的部份，加上有限的存活率與不同的存活率、物種起源與變異起源概念雷同，而物種起源和變異起源合併，不同的存活率與有限的存活率合併，因此本研究的演化概念統整出五個次概念分別為「變異的來源」、「族群裡的變異」、「可遺傳的變異」、「特定性狀比例改變」、「性狀的存活」。

另外，Bishop 與 Anderson（1990）與 Settlage（1994）都發現學生未真正理解其適應，適應需牽涉累積世代改的改變，因而多列次概念六，最後統整出四個主概念和六個次概念，而本研究所採用的演化樹分析法，由林靜雯（2005）之研究資料支持，提供演化樹實際應用於電學概念，演化樹之結果與實際分析學生概念相符合。

問卷內容參照 Shtulman（2006）演化試題，以題組呈現，每一題組包含三到四題，並參考 Anderson 等（2002）和 Ferrari 與 Chi（1998）兩份研究報告，改為選擇題選項。題目設計以一個題目即測驗一個次概念為原則，選項則根據上述文獻研究結果包含問答題、訪談等方式結果，歸納學生出現的解釋歸類到六個次概念內整理於附錄表1，並加入其他選項提供填寫額外想法，因此編碼為1-1-4表示主概念一「個別變異」的次概念一「變異的來源」，其認知狀態為「其他」，第三個編碼為1皆為科學的次概念。以下針對演化概念的四個主概念和六個次概念內容逐一說明：

(一)個別變異：包含兩個次概念

1.變異的來源：隨機的突變和有性生殖可以產生遺傳變異。

2.族群裡的變異：相同族群裡的物種有變異，適合環境的個體存活下來。

(二)遺傳決定：包含兩個次概念

3.可遺傳的變異：大部分的變異都是可以遺傳的。

4.特定性狀比例改變：個體不同的存活和繁殖能力將會導致族群發生改變，有利特徵出現比例上升。

(三)不同的存活率：可分成一個次概念

5.性狀的存活：過多的個體超過環境負荷量，最後只有部分個體可存活下來。

(四)累積世代的改變：可分成一個次概念，屬於整合型概念。

6.適應：最具適應力的個體意指具備有某性狀特徵的個體在當時環境中所佔有的比例最多，且可以產生較多存活到繁殖期的子代。

問卷中選擇題有三個題組共11題，選擇題10題（包含1題繪圖題），開放題1題。演化概念分四個主概念、六個次概念及認知狀態，每一個認知狀態為選項的內容，根據文獻內容整理於表1，並增加其他的選項，以彌補選項中的不足。為了避免學生想法侷限於選擇題型，加入開放題更深入探討學生的想法。每個次概念施測的試題約為2~3題，另外有1題開放題屬於整體概念的機制解釋。

問卷設計完成後，以國一學生尚未學習演化單元為預試對象，選用北部某國中兩個班級，程度為中上，共60人，α = .84達到一般信度標準。預試對象選擇國一（尚未學習演化概念），可初步了解小六和國一學生對試題之理解情況，而高中和大學生則沒有進行預試，因為高中和大學都有演化的單元，經過國高中和大學教授審核過都應符合其所學的演化概念。預試結束後，再度修正試題，並商請資深國中、高中教師、大學教授以及指導教授四人檢視後，才進行正式施測，由於問卷篇幅八頁，於文末附錄僅呈現一個題組和開放題內容，並在試題後面以粗體文字標示所屬次概念和各選項的認知狀態以提供參考，底線為科學概念。

三、取樣與施測

正式施測階段，國小、國中、高中和大學學生進行施測，共31班級施測，人數共1124人。每年級至少商借兩所學校，屬於立意取樣，以降低學區上的差異造成研究誤差，高中學校具有程度差異，選用中等程度學校以

表 1：開放題評分判斷準則

次概念	認知狀態	關鍵詞彙	學生答案舉例
1.變異的來源	1.突變/有性生殖	突變、繁殖、變種、繁衍、交配、生	最初有遺傳變異（突變、基因重組、互換……因素），產生各式各樣有著不同的型態的個體……
	2.意圖轉變	為了，因為要，……以、不得不、必須（捕食或存活因素）	獵豹從前為了捕食跑的很快的獵物，速度就從每小時 80 公里演化成每小時可以跑 110 公里。
	3.環境	自然環境（包含氣候、地形因素）	當時的氣候溫和，並不如現在變化如此劇烈，天候變遷，氣溫越來越高，為發展出能夠符合現在的草原現象，只能將他自己的速度提升……
2.族群裡的變異	1.無方向性	速度有快有慢、變異	只有跑得越快的獵豹才能提高抓到獵物的機會，故跑得慢的獵豹抓不到食物就沒得吃……
	2.相同	※無法從文字描述看出	無。
3.可遺傳的變異	1.遺傳	身體特徵、體質、變異可以遺傳給下一代、基因、性狀	繁衍自己的後代，使得後代有許多跑得較快的獵豹。
	2.用進廢退	練習、提升自己的能力、鍛鍊、訓練	在長時間的奔跑下，就有了四肢跑很快的獵豹。
	3.學習	教導、學習	牠們的爸爸媽媽都會教牠們，也會訓練牠們的速度。就可以捕抓到獵物了……
4.特定性狀比例改變	1.比例增加	特定性狀比例越來越多	因為只有跑的最快的才能捕捉到食物，跑的慢逐漸餓死，彼此互相競爭，慢的就存活不去下，因此獵豹會越來越快。
	2.漸變	一代比一代……、漸漸	相對獵豹也必須更快的速度才得以生存，連鎖循環則越快的獵豹會得以生存，並年年增快。
5.性狀的存活	1.適者	生存、存活、餓死、適者生存、不適者淘汰、天擇	獵豹為了生存只好捕捉跑得較快的動物，所以跑得比較慢的絕種，跑得較快的生存下來……
	2.合作	一起、合作	無。
	3.強壯	強壯	因環境變遷，各種生物為了活而變得更強、更厲害……
	4.改變	改吃其他食物、體型改變、姿勢改變	以前的獵豹是以每小時 80 公里的速度捕捉獵物，獵豹一代一代的在改變，改變速度、體型等，都在一點一滴的慢慢改善……

呈現較為中間程度的高中生想法，而大學生以生物主修為主，藉此了解經歷演化單元學習後概念之發展歷程。正式施測時，研究者實際進行施測，以了解學生答題情況，若在閱讀試題上有困難亦能立即協助，施測結束後，給予學生回饋與說明。

四、資料分析

問卷包含選擇與開放題兩個部份。選擇部分統計每個學生於次概念的選項類別，開放題部分依照附錄表1，開放題不包含次概念六適應的解釋，分析僅包含三個主概念和五個次概念，以國二學生答案為例「獵豹為了要生存，所以必須增加自己的速度才能追到獵物，否則就會被這個世界所淘汰掉」，上述內容歸類於意圖轉變的認知狀態，逐一對每位學生的答案歸類，答案內容並非涵蓋所有演化的次概念，只針對提及的

部份歸類。

評分方式以表2為判準，主要在評定每位學生於次概念的認知狀態，符和科學概念（灰色底）則可得到該次概念得分20分，開放題共有5個次概念，滿分為100分。當學生的解釋內容為白底的認知狀態，則表示該次概念的分數為0。認知狀態歸類完成後商請兩位生物教師進行三角校正，事先說明編碼方式（表1），舉例說明部分有繪製底線之處，表示評判的依據來源，其中族群個體都是相同的無法從文字描述得知，由繪圖題得知，提供開放試題編碼參考依據，獲得教師們認

表 2：選擇與開放題平均分數單因子分析結果

年級	選擇題平均	開放題平均	*F* test 顯著性	年級	選擇題	開放題
					Scheff's method 顯著性	
小六	32.3	17.8	0.00 (*)	國一	0.00 (*)	0.00 (*)
				國二	0.02 (*)	0.02 (*)
				高一	0.00 (*)	0.00 (*)
				高二	0.00 (*)	0.00 (*)
				大一	0.00 (*)	0.00 (*)
國一	55.7	41.1	0.00 (*)	小六	0.00 (*)	0.00 (*)
				國二	0.86	0.86
				高一	0.95 (*)	0.95
				高二	0.48 (*)	0.48
				大一	0.00 (*)	0.00 (*)
國二	51.0	34.7	0.00 (*)	小六	0.02 (*)	0.02 (*)
				國一	0.86	0.86
				高一	0.26 (*)	0.26
				高二	0.02 (*)	0.02 (*)
				大一	0.00 (*)	0.00 (*)
高一	70.4	45.9	0.00 (*)	小六	0.00 (*)	0.00 (*)
				國一	0.95 (*)	0.95
				國二	0.26 (*)	0.26
				高二	0.95	0.95
				大一	0.00 (*)	0.00 (*)
高二	68.3	50.4	0.00 (*)	小六	0.00 (*)	0.00 (*)
				國一	0.48 (*)	0.48
				國二	0.02 (*)	0.02 (*)
				高一	0.95	0.95
				大一	0.00 (*)	0.00 (*)
大一	82.8	71.6	0.00 (*)	小六	0.00 (*)	0.00 (*)
				國一	0.00 (*)	0.00 (*)
				國二	0.00 (*)	0.00 (*)
				高一	0.00 (*)	0.00 (*)
				高二	0.00 (*)	0.00 (*)

* 在 .05 水準上的平均差異很顯著。

可後才開始進行歸類工作。依照各個年級施測人數，隨機選取各年級的10% 學生答案，共選出77位學生答案，由三位研究人員評分並比較評分結果，評分者信度為 .87。

統計選擇和開放題類別和比例後，更進一步組合整體演化概念，也就是整合選擇和開放題的答題表現。認知狀態組合為每位學生的整體演化概念歸類，最後再依照各個年級整理出所有認知組合的人數。考量每個年級的學生數不同，因此以百分比方式呈現比較各個年級學生的整體演化概念組合。

統計各年級出現的組合和比例，發現組合類別過多，而最高的例約為20%，因此研究者選定至少三個年級存在的組合，且其中一個年級出現比例約為10% 或以上，設定此篩選方式原因在於本研究屬跨年級概念發展分析，若為兩個年級具備，只有線性的歷程，未能從演化樹當中看到概念發展的歷程，因此選定至少有三個年級存在，但是沒有限制三個年級出現時機，以避免因為某些組合在發展歷程中消失而被忽略。確定欲分析的認知狀態組合才使用 PAUP 軟體，從概念演化樹可知概念出現，與真正發展完成的概念時間。

肆、研究結果

一、跨年級學生之答題類型與比例

綜合整理跨年級學生在選擇題（圖1）和開放題（圖2）的認知狀態分布，編碼對應內容於表1，每個次概念增加其他類別，例如：1-1-4為其他。比較各次概念出現科學類型之比例，次概念五「性狀的存活」在小六以科學概念所佔有的比例（66.7%）最高。

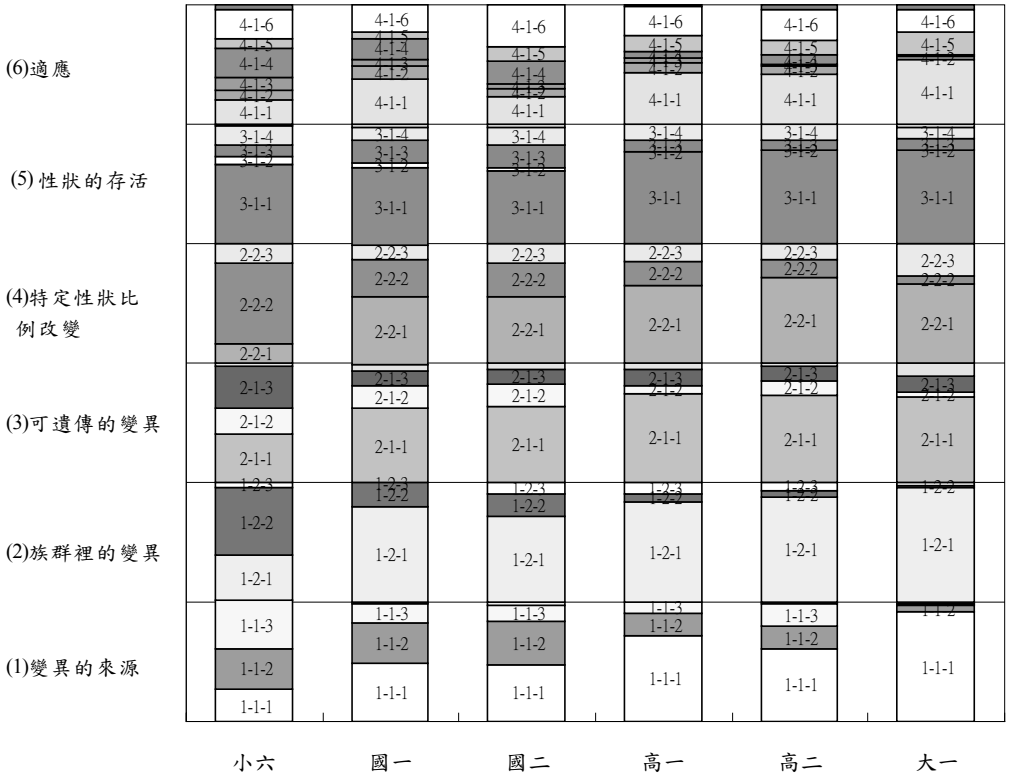


圖 1：不同年級學生在選擇題對六個次概念之類型百分比

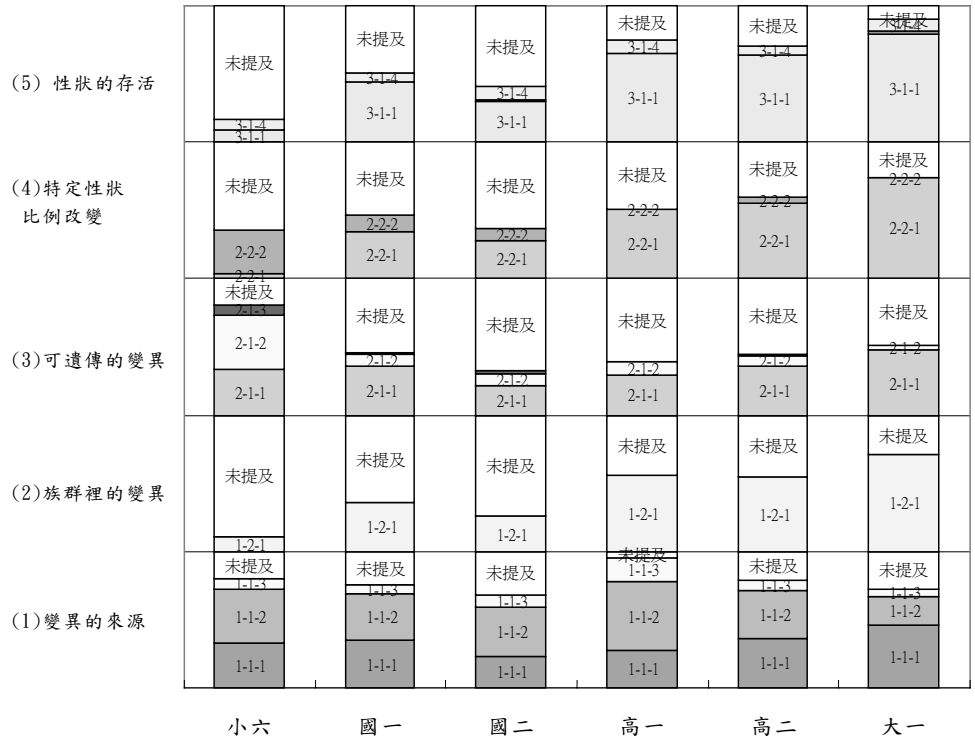


圖 2：不同年級學生在開放題對五個次概念之類型百分比

次概念六「適應」在小六擁有科學概念所佔有比例（19.7%）為最低，進步幅度最大為次概念一「變異的來源」，而進步幅度最小為次概念五「性狀的存活」，有半數以上小六生具備。然而次概念六「適應」在小六比例最低，且進步幅度不是最大，可見次概念六「適應」對於學生而言較難學習，也只有半數大一生具備科學的適應概念。進步幅度最大的次概念一「變異的來源」，推論此概念應為較易習得。

開放題（圖2）正確比例較低，由於開放題涉及學生的寫作能力，且在毫無相關訊息引導之下，雖然規定學生至少寫滿三行文字，但部分學生回答內容不夠詳盡，整體的正確率較低。次概念一「變異的來源」和次概念三「可遺傳的變異」在小六出現正確比例最高（32.5% 和33.3%），而次概念四「特定性狀比例改變」佔有正確的比例（3.4%）最低。比較小六學生選擇題與開放題的結果，發現到性狀的存活在選擇題已經高達50%以上，然而開放題卻只有約9%，另外「族群裡的變異」在選擇題約40% 正確，而開放題卻降低至10%，原因在於學生尚未學習演化單元，未能使用科學語言描述，適合當時環境的性狀存活下來，不過選擇卻能提供學生思考的引導，因此有所差異。但是，變異的來源在開放題比例反而上升，國小五年級課程有動物生殖的介紹，學生都能以遺傳來解釋，在選擇題時，則會面臨抉擇意圖轉變和環境兩種選項，反而無法選出正確的有性生殖概念，可見小六學生的概念仍不夠完整。

整體來說，五個次概念中屬於科學類型在國一到國二降低，而高一到高二降幅度更小，原因在於國二沒有生物課程，高二的生命科學課程內容著重生殖和遺傳，與演化相關的三個次概念「變異的來源」、「可遺傳的

變異」和「特定性狀比例改變」比例上升。高一和高二雖沒有演化單元，不過課程內容仍有關，有助於學生理解，大一則有必修課程普通生物學，詳細說明演化機制，因此大一生對演化概念理解較完整。

二、跨年級學生在選擇題與開放題正確比例之關係

選擇題共有11題，其中有一題（繪圖題）涵蓋兩個次概念，所以按照一題一分來計算，最高分為12分，最後將學生選擇題成績換算成百分計算。而開放題只有1題，評分標準以是否提到次概念中的科學類型判準，得分以百分計算，每個次概念為20分，因此開放題標準差較大。

根據表2可看出各個年級之間的差異，使用單因子變異數分析（one way ANOVA）深入釐清各年級間關係，分成選擇和開放題兩部份討論：(一)選擇題：*F* 考驗達顯著差異（.00），表示至少有兩個年級平均數有顯著差異存在。繼續進行事後比較（post hoc），由於各年級施測人數不同，選用雪費法（Scheff's method），結果顯示除了國一和國二、高一和高二，共兩組未達顯著差異外，其餘的年級兩兩都有顯著差異。(二)開放題：*F* 考驗達顯著差異（.00）。繼續進行事後比較，統計分析（表2）發現國一和國二、國一和高一、國一和高二、國二和高一、國二和高二、高一和高二沒有顯著差異外，其餘皆有顯著差異。

由於選擇與開放試題成績趨勢相似，更進一步討論兩種題型相關，選用 Pearson 檢定，結果顯示於表3，選擇題平均數為60.5，開放題平均數為43.7，兩者相關高達 .544，屬於中度相關，研究者認為此結果顯示出學生於選擇題的選項指引能夠選出合理的演化概念解釋，然而在開放題的自我描述當中，

表 3：選擇題與開放題描述性統計與相關

	個數	平均數	標準差	Pearson 相關	顯著性
選擇題	747	60.5	25.5	.544	.001
開放題	747	43.7	38.4		

卻仍舊無法脫離非科學的解釋，可推知部分學生尚未能真正建立科學概念。不過，結果確定兩項成績仍具有相關，因而將選擇題和開放題兩者成績整合較為正確的學生演化概念，做為整體演化概念之判斷依據。

三、跨年級整體演化概念之發展

整合每位選擇題和開放題資料提供概念演化樹的繪製，所有次概念的認知狀態組合排列出來高達864種組合，種類過多易造成分析上的負擔，所以將認知狀態重新編碼於表4，每個次概念分成三類，分別為錯誤、科學和混合，排列組合最多有81種。其中主概念一和二皆包括兩個次概念，混合類型表示為其中一個次概念屬於科學，而另一個次概念為錯誤，但是假若某位學生在次概念一的選擇和開放題，所出現科學和錯誤比例相同，歸類為錯誤，也就是主概念一和二底下

表 4：整體演化概念之主概念編碼內容

主概念	次概念	編碼
1.個別變異	(1)變異的來源	10 錯誤
	(2)族群裡的變異	11 科學
		12 混合
2.遺傳決定	(3)可遺傳的變異	20 錯誤
	(4)特定性狀比例改變	21 科學
		22 混合
3.不同的存活率	(5)性狀的存活	30 錯誤
		31 科學
		32 混合
4.累積世代的改變	(6)適應	40 錯誤
		41 科學
		42 混合

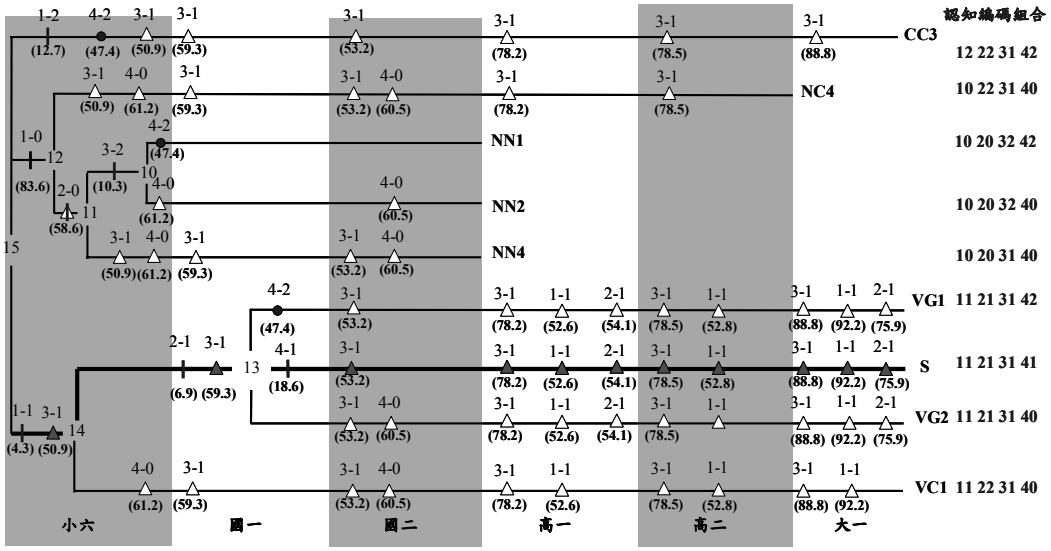
的次概念之歸類方式較為嚴格。另外，主概念三和四都只包含一種次概念，所以編碼為混合表示學生在主概念三的答案有一半比例包含科學，另一半比例為錯誤。

依照表1之編碼內容將每位學生的演化概念進行編碼，四個主概念彙整成的認知狀態組合，據排列組合可知有81種，文獻中提到使用窮盡搜尋法建議為10種分類群（Swofford, 1985），研究者需要進一步篩選，訂定篩選規則為每個認知組合至少有三個年級出現，且其中一個年級出現約10%，剩下9種認知狀態組合整理於表5。

將認知狀態和代號輸入 PAUP 軟體分析（Swofford, 1985），窮盡搜尋法共有135135棵樹，軟體篩選出16棵。研究者根據表6結果提供證據來源，驗證 PAUP 的16棵樹，找出最合理的概念演化樹（圖3）。為了方便理解認知狀態的發展，在每個認知狀態出現的圖示上方標註認知狀態編碼，可以更加清楚了解學生次概念的發展。圖3的｜（黑色直線）表示獨特出現的認知狀態，就是在概念演化樹當中以發展完成的科學概念，而•（黑色原點）表示非同源相似性（homoplasy），顯示此認知狀態在概念演化樹當中出現次數不只一次。以認知狀態代號 NN1為例，在小六階段時已經都具備所有認知狀態，而且比例皆未高於半數，因此在國一和國二階段都未標示認知狀態及百分比。

表 5：篩選後演化概念認知狀態組合之百分比

認知狀態組合	代號	小六	國一	國二	高一	高二	大一
12 22 31 42	CC3	2.6	3.5	3.2	3	8.3	13.8
10 22 31 40	NC4	10.3	2.7	3.2	2.3	2.1	0
10 20 32 42	NN1	9.4	1.8	2.4	0	0	0
10 20 32 40	NN2	9.4	4.4	5.6	0	0	0
10 20 31 40	NN4	17.1	1.8	4	0	0	0
11 22 31 40	VC1	0.9	1.8	2.4	9.2	2.1	1.7
11 21 31 42	VG1	0	8.8	6.5	16.5	14.6	25
11 21 31 41	S	0	5.3	2.4	6.8	11.1	23.3
11 21 31 40	VG2	0	10.6	8.9	8.3	12.5	17.2



※註 CC3：變異遺傳適應混合模式；NC4：變異適應錯誤模式；NN1：錯混模式；NN2：變異遺傳適應錯存活混模式；NN4：變異遺傳適應錯誤模式；VG1：適應混合模式；S：科學模式；VG2：適應錯誤模式；VC1：遺混適錯模式
科學主概念發展過程： 3-1：不同的存活率 → 1-1：個別變異 → 2-1遺傳決定 → 4-1累積世代的改變

圖 3：跨年級學生演化概念之概念演化樹

這些生物之間並沒有同源的關連性，例如：蝙蝠和鳥類的翅膀，功能皆為飛行，不過兩者來自於不同的同源生物，稱為非同源相似性。因此，概念演化樹（圖3）的黑色原點的認知狀態4-2，屬於非同源性，也就是在整個概念發展過程中，出現的時間點不一，就概念發展而言只是零星出現，也表示學生對於主概念四尚未完全建立，多數學生對「適應」一詞的真正意涵仍尚未理解。

研究者另加入「Δ」表示為各個年級中出現編碼佔有百分比超過50% 以上，也就是說有半數該年級學生已真正發展具備此概念，並於符號底下加入該類型百分比，以括弧標示，例如：1-1在許多年級都有出現此標示，顯示此概念以超過半數學生已獲得此科學概念，視為已經發展好的概念，本研究視為該年級學生已建立完成該概念。

從表6和圖3可發現主概念三「不同的存活率」最先發展完成，因小六學生已理解適者生存，不適者淘汰，本概念屬於外在特徵，學生較容易習得。接著為主概念一「個別變異」和主概念二「遺傳決定」，原因在於學生理解個體間彼此有差異，才會更進一步理解個體間差異主要源自於遺傳，主概念一和二於高一階段發展完成，而高二階段因為沒有演化專門課程，雖然有遺傳課程，然而遺傳決定導致族群性狀比例改變仍較為薄弱，只有主概念三和一發展完成，大一與高一雖相同，不過正確比例增高。

表 6：跨年級學生演化主概念之編碼百分比

主概念	編碼		小六	國一	國二	高一	高二	大一
1.個別變異	10	錯誤	83.6	40.7	33.1	7.5	8.3	0.0
	11	科學	4.3	37.2	31.5	52.6	52.8	92.2
	12	混合	12.1	22.1	35.5	39.9	38.9	7.8
2.遺傳決定	20	錯誤	58.6	22.1	29.0	10.5	9.0	1.7
	21	科學	6.9	36.3	35.5	54.1	47.9	75.9
	22	混合	35.3	41.6	35.5	35.3	43.1	22.4
3.不同的存活率	30	錯誤	16.4	17.7	25.8	11.3	11.1	7.8
	31	科學	50.9	59.3	53.2	78.2	78.5	88.8
	32	混合	32.8	23.0	21.0	10.5	10.4	3.5
4.累積世代的改變	40	錯誤	61.2	42.5	60.5	33.1	36.1	22.4
	41	科學	4.3	18.6	8.1	21.8	19.4	30.2
	42	混合	34.5	38.9	23.4	45.1	44.4	47.4

圖3可看出各主概念發展歷程，主概念之開始發展時間（在演化樹中只出現一次，以｜表示），以及以主概念發展完成之時機（正確率達50% 以上，以Δ表示）。科學的主概念發展為：主概念三「不同的存活率」（小六已具備）、主概念一「個別變異」（小六階段習得）、主概念二「遺傳決定」和主概念四（國一階段習得），其中主概念四較為困難學習。整個概念演化樹，於國一階段出現三個分支，認知狀態組合之代號為 VG1、S 和 VG2，差別都是主概念四，可見國一教學後，主概念四仍然尚未建立完成。

在同個分支上出現 VC1，具備科學的主概念一和主概念三，然而主概念二為混合類別，也就是學生認為後天的變異可以遺傳至下一代，會使用拉馬克的用進廢退或學習類型來解釋，且主概念四尚未建立正確的科學概念，各個年級出現比例約在2% 左右。高一階段稍微較高一些（9.2%），因為高一生物沒有遺傳單元，導致學生易以後天改變來解釋。

從 PAUP 軟體的分析數據可知，圖3的概念演化樹的祖徵為 NC4，祖徵為最原始的認知狀態組合，也就是一開始就存在於小六階段，狀態組合為 10 22 31 40，只有主概念三「不同的存活率」屬於科學概念。此分支內容可看出主概念一「個別變異」未建立，隨後影響到主概念二「遺傳決定」的學習，甚至破壞原先已具備科學的主概念三轉變成混合型，緊接著主概念四也出現混合（代號 NN1）或錯誤（代號 NN2）。也就是當科學

的主概念三未建立，便無法無法深入理解主概念四「累積世代的改變」的次概念「適應」。不過，組合代號為 NC4、NN1、NN2和 NN4，此四種組合在國一教學後明顯地降低，高二後已經全部消失。

伍、結論與建議

一、討論

(一)跨年級學生對演化概念的答題情況

本研究中將演化概念分成四個主概念和六個次概念，在次概念一「變異的來源」很容易使用意圖轉變類型來解釋，結果與文獻十分相似，Brumby（1984）和 Bishop 與 Anderson（1990）和 Ferrari 與 Chi（1998）分別以大學生為研究對象，學生容易提出「因為他們需要這個性狀，才能夠存活下來」。而且本研究發現除了大一之外，在國中和高中學生亦有相同的情況，特別是在小六階段，環境和意圖突變類別出現比例較科學高，也就是尚未學習演化概念的小六學生，易以外在條件包含環境或意圖轉變來解釋「變異的來源」。

次概念二「族群裡的變異」結果顯示國一的生物演化單元教學後，超過半數的學生已能夠建立次概念二，因為在國一、高一和高二的其他生物相關單元也都有提到族群裡個體的變異，本研究結果與 Settlage（1994）對高中生的研究結果相同。

隨著年級增長，領域類型的比例升高，領域大可以讓物種更具備適應環境的能力，然而這想法忽略物種若沒有具備變異是無法適應環境改變的，可看出學生仍就容易使用外在環境或某物種所具備特質（例如：長壽、強壯）來解釋。本研究雖然沒有對概念屬性分析，不過根據學生開放題內容，發現許多外在特徵或目的取向解釋，與 Chi（2005）認為學生將演化概念錯置在直接屬性下的有意圖性特徵相同。

(二)跨年級學生所在選擇題與開放題之關係

本研究調查跨年級學生對演化概念之發展，問卷內容包含選擇題和開放題兩部份，結果顯示為中度相關，從學生的答題內容可以發現到尚未學習演化前的小六學生較容易使用外在、後天、短暫、特質類別來解釋，結果可呼應 Brumby（1984）, Bishop 與 Anderson（1990）和 Ferrari 與 Chi（1998）分別以大學生為研究對象，學生容易提出「因為他們需要這個性狀，才能夠存活下來」，常用外在目的性特徵來解釋。

本研究整合選擇和開放題結果，以演化樹來呈現「演化」概念從國小到形成科學模式，過程如同演化是變異和適者生存的想法一般。換言之，學生所擁有的是那些他們能認同且適合用來解釋的概念（如適者生存），再經過教學產生質與量的變化，才會形成新的變異而存下來。研究者認為概念的演化歷程與生物「演化」互相呼應，而演化樹正可說明這樣的類比關係。

(三)跨年級整體演化概念發展

Toulmin（1972）提出知識的發展過程就是一部漫長的演化史，經歷了遺傳變異、過度繁殖和天擇，最後存活下來的模式為適應當時環境的物種。在小學六年級尚未學習前，學生所具備的概念雖然較多非科學的解釋，但仍較集中於六種心智模式，在教學後才出現衝突現象，心智模式種類為最多，直到國二依舊為九種，不過到了高中階段剩下六種心智模式，部分心智模式消失，最後大學階段只剩下五種心智模式。

Vosniadou（1994）提出概念改變架構理論，生活經驗所形成的預設會影響到文化觀察與信念建立。從演化樹結果來看，小六出

現六種心智模式，可視為生活經驗產生的預設，經過國一教學，共產生九種心智模式，此為生活經驗和教學內容衝突所產生，出現最多類型心智模式在國一和國二，也就是教學後出現各種想法，因此出現模式最多，高中和大學階段心智模式沒有再增加，反而越來越趨向科學的心智模式發展。

另外，概念演化樹亦可看出概念改變過程，有些是漸進式改變，例如：由錯誤到混合類型、混合到科學類型、或是科學到混合類型都屬於漸進式的概念改變。此與 Vosniadou（1994）觀點相同，學生在學習歷程中會修改其預設，建立出特定理論架構，最後形成科學的心智模式，且會出現科學和錯誤各半的混合模式。然而，演化樹中亦可發現另種概念改變屬於跳躍式改變，例如：由錯誤到科學類別，與 Kuhn（1962）提到概念革命及 Chi 等（1994）提出的跨越本體的概念改變的觀點雷同。總而言之，演化概念之學習歷程，認知狀態的出現，表示發生了概念改變，改變方式有漸進式和跳躍式，學習和外在環境等刺激都可能影響到概念發展。

二、結論

本研究使用問卷方式進行施測，研究對象為小六、國一、國二、高一、高二和大一，有效問卷共747份，以演化的四個主概念「個別變異」、「遺傳決定」、「不同的存活率」和「累積世代的改變」做為分析單位，透過PAUP*4.0軟體與研究結果數據資料對照，尋找最合適的演化概念發展之演化樹。

跨年級學生於選擇題的答題情況，以次概念一「變異的來源」進步幅度最大，較容易習得，而次概念六「適應」進步幅度最小，在學習上較困難。而在開放題的答題情況正確率較低，其中小六學生在次概念五「性狀的存活」在選擇題正確率高達半數以上，然而開放題並非最高正確，主因學生尚未具備正確演化科學用語。整體來說符合科學的演化概念，在國一到國二有降低，高一到高二降低，表現情況與國高中的課程內容安排可能有關。

在選擇題除了國中間（國一和國二）、高中間（高一和高二）未達顯著，在開放題中除了國中間（國一和國二）、國高中之間（國一和高一、國一和高二、國二和高一、國二和高二）、高中之間（高一和高二）未達顯著，其餘年級都有顯著差異。選擇題和開放題成績達中度相關，因此整合兩部份作為學生整體演化概念發展。

演化的科學概念開始發展歷程為，小六階段之前已具備主概念三「不同的存活率」，在小六階段發展出主概念一「個別變異」，國一階段依序發展出主概念二「遺傳決定」和主概念四「累積世代的改變」。其中，小六已發展概念三「性狀的存活」、高一發展依序為主概念三和一、二；高二發展出主概念三和一，而大一與高一相同，然而主概念四即使到大一仍舊未達到發展完成。

從概念演化樹可以發現到若是主概念一「個別變異」尚未建立，隨後影響到主概念二「遺傳決定」的學習，甚至會造成主概念三「性狀的存活」由科學類別轉變為混合類別，緊接著主概念四也會出現混和或錯誤類別。另外，尚未經歷演化教學小六學生的認知狀態組合較少，經過國一教學後組合變多，因結合教學前後的想法，所以組合較多，直到高二階段後，認知狀態組合類型才漸集中。

三、建議

(一)研究上的建議

本研究採用問卷的選擇題和開放題作答

內容，作為了解不同年級學生之演化概念，提供整體的概念發展趨勢，屬於量化為主、質性為輔研究，使用 PAUP*4.0軟體分析，繪製出跨年級學生演化概念之概念演化樹，提供日後演化概念之研究檢視與驗證，亦可以針對本研究提出的認知狀態組合內容進行晤談，以確認心智模式的內容。

針對研究對象的選擇，一般在高中階段開始分社會組和自然組，本研究選用第三類組的學學生，若能分析高中社會組以及大學非生物主修學生應該能看出另種不同的演化概念發展趨勢，甚至可將社會人士列入研究對象。本研究從不同情境測驗學生的演化概念，開放題發現到學生錯把演化概念本體屬性置於直接過程，提到演化具有起點和終點的特徵，建議日後演化概念研究從本體論觀點著手。

(二)教學上的建議

演化概念較難實際體驗，且結合許多的生物相關概念，因此在教學上可以設計演化體驗活動，讓學生擔任演化過程的捕食者或被掠食者，藉此強化整體演化概念之建立。由概念演化樹可得知演化概念發展歷程依序為不同的存活率、個別變異、遺傳決定，最後為累積世代的改變，因此教學上可配合學生演化概念發展過程，依序引導學生建立正確的演化概念。

高中一年級和二年級尚未有演化課程，其中高一教學上可藉生態單元說明生物多樣性，另外，高二教學上有關生殖遺傳的單元，可說明有性生殖的真正意義，將有助於高三演化單元的學習。教學上的用字遣詞需要多加注意，避免給予學生演化是具有方向性，不要使用目的性的字詞來解是演化結果，且部分學生在開放題當中，提到演化過程有開始和終止的現象，教師應可以強調演化屬於長時間的歷程，是連續的過程。

誌　　謝

感謝國科會 NSC 97-2511-S-003-025-MY2 研究計劃補助，使本研究能夠順利完成。以及審查委員的寶貴建議，對於本文提供許多助益，特此一併致謝。

參考文獻

1. 吳美芬（2002）。**師院學生演化概念認知之研究**。國立新竹教育大學數理研究所碩士論文，未出版，新竹市。
2. 林靜雯（2005）。**由概念演化觀點探究不同教科書教－學序列對不同心智模式學生電學學習之影響**。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，台北市。
3. 林靜雯、邱美虹（2007）。以概念演化觀點分析我國電學教科書之教-學序列。**國立編譯館館刊，35**（2），3-14。
4. 邱美虹（2000）。概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊，8**（1），1-34。
5. 陳藍萍（2003）。**高一學生生物演化概念之研究**。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
6. 湯偉君（2008）。**以解釋本質探討中學演化論之教科書內容與教學**。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，台北市。
7. 劉誠宗（2003）。**學生對物種起源的解釋架構一貫性之探析**。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
8. Anderson, D. L., Fisher, K. M., & Norman, G. J. (2002). Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(10), 952-978.
9. Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role

in evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 27*, 415-427.

10. Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education, 68*(4), 493-503.
11. Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2002). *Biology*. San Francisco, CA: Benjamin Cummings.
12. Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-160). Minneapolis, M.N.: University of Minnesota Press.
13. Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction, 4*, 27-43.
14. Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent process: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Science, 14*(2), 161-199.
15. Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education, 24*, 75-100.
16. Downie, J. R., & Barron, N. J. (2000). Evolution and religion: Attitudes of scottish first year biology and medical students to the teaching of evolutionary biology. *Journal of Biological Education, 34*, 139-146.
17. Evans, E. M. (2000). The emergence of beliefs about the origins of species in school-age children. *Merrill-Palmer Quarterly, 46*(2), 221-254.
18. Evans, E. M. (2006). Everyday intuition: How children develop their concepts of evolution. *Bimonthly News Journal of the Association of Science-Technology Centers,* 11-13.
19. Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naïve explanation of natural selection. *International Journal of Science Education, 20*(10), 1231-1256.
20. Gunstone, R. F., & Mitchell, I. J. (1998). Metacognition and conceptual change. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view* (pp. 133-163). San Diego, CA: Academic Press.
21. Geraedts, G. L., & Boersma K. Th. (2006). Reinventing natural selection. *International Journal of Science Education, 28*(8), 843-870.
22. Huxley, J. S. (1942). *Evolution.* New York and London: Harper and Brothers.
23. Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions.* Chicago: University of Chicago Press.
24. Mader, S. S. (1997). *Inquiry into life* (8th Ed.). Dubuque IA: Wm. C. Brown Publishers.
25. Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
26. Mayr, E., & William B. P. (1998). *The evolutionary synthesis: Perspectives on the unification of biology.* Harvard University Press.
27. Mooreead, A. (1971). *Darwin and the Beagle. Ringwood*. Vic: Penguin Books.
28. Ohlsson, S. (1991). *Young adults' understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations.* Paper presented at the Learning Research and Development Center in Technical report, University of Pittsburgh, PA.
29. Settlage, J. (1994). Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making process.

Journal of Research in Science Teaching, 31(5), 449-457.

30. Shtulman, A. (2006). Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology, 52*(2), 170-194.
31. Slotta, J. D., & Chi, M. T. H. (2006). Helping students understand challenging topics in science through ontology training. *Cognition and Instruction, 24*(2), 261-289.
32. Stern, L. (2004). Effective assessment: Probing students' understanding of natural selection. *Journal of Biological Education, 39*, 12-17.
33. Swofford, D. L. (1985). *Phylogenetic aanalysis U using parsimony.* Illinois Natural History Survey: Champaign, Ill.
34. Toulmin, S. (1972). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
35. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*, 45-69.
36. Wiley, E. O., Siegel-Causey, D., Brooks, D. R., & Funk, V. A. (1993). *The complete cladist: A primer of phylogenetic procedures.* Lawrence: Museum of Natural History.

附 錄

表 1：演化概念之認知狀態類型內容

主概念	次概念	認知狀態	內容
1.個別變異	(1)變異的來源	1.突變/有性生殖	變異來自於有性生殖或突變
		2.意圖轉變	突變是為了族群的需求而發生
		3.環境	環境帶來的正面誘導性狀，由子代遺傳給下一代
	(2)族群裡的變異	1.無方向性	族群裡的所有物種各自不同
		2.相同	族群裡的所有成員幾乎都相同
		3.遺傳	多數的變異都是可以遺傳的
2.遺傳決定	(3)可遺傳的變異	1.用進廢退	性狀不再有利於存活，子代不再遺傳此性狀
			生存期間所獲得的性狀，可以遺傳給下一代
		2.學習	學習到的行為是可以遺傳到下一代
	(4)特定性狀比例改變	1.比例增加	有利於當時環境的性狀出現比例上升
		2.漸變	性狀改變是所有成員共同漸漸地改變
3.不同的存活率	(5)性狀的存活	1.適者	適者生存、不適者淘汰
		2.強壯	最強壯的個體可以存活下來
		3.合作	遇到環境改變時，可以互相合作
		4.改變	當環境改變時，自動地改變性狀以存活
4.累積世代的改變	(6)適應	1.變異	產生很多存活到繁殖期的子代
		2.強壯	適應等同於強壯、快速或長壽。
		3.長壽	
		4.速度	
		5.子代	以無性生殖產生很多子代
		6.領域	物種所佔有領域面積最大

例如：突變/有性生殖—編碼為 1-1-1

題組一　加拉巴哥群島上的鷽鳥

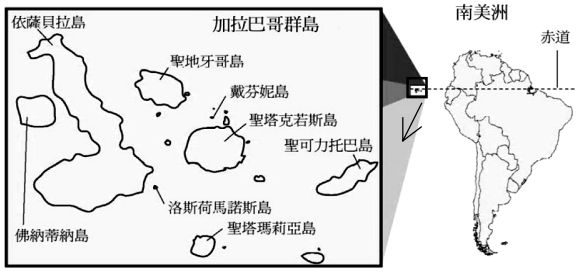


圖1：加拉巴哥群島

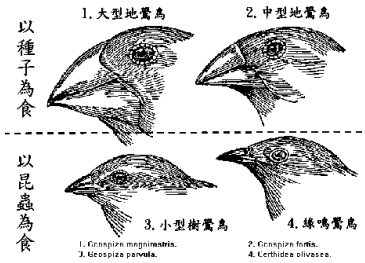


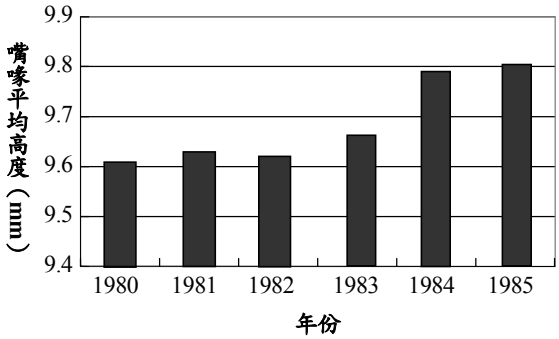
圖2：四種鷽鳥

加拉巴哥群島（圖1）位於赤道附近，距離南美洲約1000公里，由19個小島所組成。各個小島上有許多不同的鷽鳥，目前統計出鷽鳥種類共14種。DNA 分析發現，這些鷽鳥都是來自南美洲的鶯芬雀演化而來。生物學家在戴芬尼島上發現大型地鷽鳥和中型地鷽鳥（圖2(1)和(2)），這兩種鷽鳥都以種子做為食物，另外在聖地牙哥島發現了小型樹鷽鳥和綠鳴鷽鳥（圖2(3)和(4)），而這兩種鷽鳥都是以昆蟲為食物。

(　　) 1.在 1982 年戴芬妮島發生乾旱，島上的大型地鷽鳥和中型地鷽鳥的食物來源突然縮減，你認為在兩年之後島上的鷽鳥可能會發生什麼事情？[次概念五：性狀的存活]

A. 鷽鳥們共同合作找食物，並且一起分享牠們所找到的食物。[合作]
B. 某些鷽鳥的嘴喙試著改變成可以吃其他食物。[改變]
C. 鷽鳥們會互相競爭，只有最強壯的鷽鳥可以繼續存活下來。[強壯]
D. 鷽鳥們會互相競爭，而且有些鷽鳥會因為缺乏食物而死亡。[適者]
E. 其他：_____

(　　) 2.中型地鷽鳥平時吃小而柔軟的種子 1982 年氣候發生乾旱，島上剩下大而堅硬的種子，幾年後科學家實地觀察紀錄嘴喙平均高度上升至 9.8 mm（下圖），你認為以下哪個說法比較合理？[次概念二：族群裡的變異]



[次概念四：特定性狀比例改變]

A. 受到氣候乾旱的刺激，使得基因發生突變，嘴喙平均高度漸漸變長。[相同][漸變]

B. 中型地鴷鳥本來就有各種不同高度的嘴喙，在乾旱發生後，嘴喙較長的鴷鳥存活下來的比例較高。[無方向性][比例增加]

C. 鴷鳥開始學會著吃大而堅硬的種子，所以嘴喙高度變長。[學習]

D. 為了要能繼續生存下去，鴷鳥自動產生適合吃大而堅硬種子的嘴喙。[意圖轉變]

E. 其他：_____

(　　) 3.加拉巴哥群島共有14種鴷鳥，皆來自共同的祖先。針對不同的小島演化出不同嘴喙形狀的鴷鳥，你認為下列哪一個說法較合理？[次概念一：變異的來源]

A. 為了要適應不同環境，所以每個小島自動變成不同嘴喙形狀的鴷鳥。[意圖轉變]

B. 不同的小島發生不同的基因突變，所以每個小島產生不同種的鴷鳥。[環境]

C. 突變或遺傳變異產生各種不同的嘴喙形狀，由於各個小島食物不同，所以適合生存下來的鴷鳥嘴喙形狀也不同。[突變/有性生殖]

D. 不同的小島環境刺激鴷鳥產生不同嘴喙形狀的基因。[環境]

E. 其他：_____

(　　) 4.過去聖地牙哥島上的小型樹鴷鳥嘴喙長度平均約4公分，但是奇妙的是，近幾年卻發現島上的小型樹鴷鳥唯一的食物來源是樹皮下平均約5公分深處的昆蟲，請你推測現在生活在當地的小型樹鴷鳥為何能夠吃到樹皮下約5公分的昆蟲？[次概念三：可遺傳的變異]

A. 鴷鳥父母發現如何吃深度約5公分的昆蟲，將這樣的技巧傳至下一代，所以目前當地鴷鳥可以吃到唯一的食物來源。[學習]

B. 鴷鳥父母因為經常吃5公分深的昆蟲，使得嘴喙長度變長，並且遺傳這種特徵至下一代。[用進廢退]

C. 遺傳變異產生嘴喙超過5公分的小型樹鴷鳥，適應環境可存活下來。[遺傳]

D. 其他：_____

開放題

12.獵豹，又稱為印度豹，分布區域在非洲和西亞，根據科學家研究，發現獵豹在追捕獵物時，速度最高可以高達每小時110公里，是目前陸地上跑最快的動物。資料顯示，獵豹的祖先只能每小時跑80公里，請你說明獵豹如何成為世界上跑最快的動物？請詳細描述演變的過程。[包含五個次概念的內容]

Using a Conceptual Evolution Tree to Investigate the Development of Understanding of Evolution across Grade Levels

Yi-Ying Hsin[1] and Mei-Hung Chiu[2,*]

[1]Kaohsiung Municipal Long-Hua Junior High School

[2]Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

The purpose of this study was to investigate, across age levels, students' conceptions about evolution. The participants were from different grades, namely, 6th, 7th, 8th, 10th, 11th, and freshmen majoring in Life Science at several universities. Seven hundred forty-seven participants were involved in the study. Four major concepts of evolution were identified and then divided into six sub-conceptions of evolution respectively. The authors adopted the software PAUP* 4.0 of phylogenetic systematics to find the goodness of fit of the conceptual evolutionary tree of students' conceptions about evolution. The results were as follows: First, most of the 6th graders tended to use external characteristics of the organism to explain the process of evolution. After instruction, the percentages of incorrect conceptions were lower than before. Second, the scores between multiple choice and open-ended questions were highly correlated. The students' scores on open-ended questions were lower than their performance on multiple choice questions. Third, the fittest conceptual evolutionary tree represented the developmental sequence of the students' conceptions of evolution: such as "differential survival rates", "individual variation", "genetic determination", and "accumulation of changes over many generations." In summary, the development of students' conceptions of evolution is a gradual process. "Accumulation of changes over many generations" was not learned by the students until the first year at the university level.

Key words: Evolution, Conceptual Change, Conceptual Evolution Tree

*Corresponding author: Mei-Hung Chiu; e-mail: mhchiu@ntnu.edu.tw