

第參章 研究方法

本章共分為六節，第一節為研究設計。第二節為研究對象，是指對其進行生物演化概念問卷之測驗、生物演化概念教學以及概念晤談等工作之學生。第三節為研究工具，指生物演化概念問卷、生物演化概念晤談問題。第四節為課程設計，針對生物演化中的變異、遺傳、適應等主要概念，設計一個教學課程及學習單。第五節為研究流程，在說明整個研究進行的步驟與順序。第六節為資料處理與分析，在說明如何將收集到的資料進行統計分析。

第一節 研究設計

本研究之設計，以 Mayr(2001)、Shtulman(2006)的變異論與轉型論心智模式及 Chi 的概念本體論為生物演化概念問卷之設計依據，希望藉由該問卷的施測，能知悉高一學生對生物演化的理解程度，並進行概念分析與解釋。該問卷包含有變異、遺傳、適應、馴化、種化、滅絕等六個現象或概念所編製而成的六大題組。施測與分析的對象為 115 班(預試組)、113 班(對照組)、111 班(教學組)三個班，共計 120 人。

接著針對生物演化概念中的變異、遺傳、適應等主要概念進行課程設計與教學組的教學活動，並於教學後再次以前述生物演化概念問卷中的變異、遺傳、適應題組，施測於教學組與對照組。最後再以五個生物演化概念問題對教學組與對照組的學生進行晤談，以其推論生物演化問題的解釋架構與邏輯性，佐證教學成效並比較不同問題情境下的表現差異。如表 3-1-1 及本章以下各節所述。

表 3-1-1 研究設計之實施內容或步驟

組別	實施內容或步驟
預試組 (115 班)	1.生物演化概念問卷(包含六大題組，共 30 小題)的預測(960126)。需時約 40 分鐘。 2.五週後之重測(960302)。需時約 40 分鐘。
對照組 (113 班)	1.生物演化概念問卷(包含六大題組，共 30 小題)的前測。需時約 40 分鐘。 2.生物演化概念問卷(僅其中的變異、遺傳、適應題組)的後測。需時約 20 分鐘。 3.生物演化概念晤談。晤談 15 人，需時約 2.5 節課。
教學組 (111 班)	1.生物演化問卷(包含六大題組，共 30 小題)的前測。需時約 40 分鐘。 2.實施生物演化概念課程教學(針對變異、遺傳、適應等概念)。需時 1 節課(50 分鐘)。 3.生物演化概念問卷(僅其中的變異、遺傳、適應題組)的後測。需時約 20 分鐘。 4.生物演化概念晤談。晤談 15 人，需時約 2.5 節課。
說明：由於馴化、種化、滅絕等概念，屬於生物演化概念中相對較為獨立的次概念，加以預擬進行之課程時間有限，僅一節課，故僅針對生物演化概念中相關性較高的變異、遺傳、適應等主要概念，進行課程設計與教學。	

第二節 研究對象

研究對象為台北縣某人口眾多的縣轄市之一所國立高中的高中一年級學生，該校地理位置鄰近台北市，高一學生不分類組，採常態分班方式。

男女合班制，各班人數皆約 40 人，每班皆為男略多於女，但接近 1 比 1 之比例。施測的三組學生，就是以班級為單位的三班學生。本研究自下學期第一週起開始進行，施測的這三個班級皆為上學期修習基礎化學與基礎地科，下學期修習基礎物理與基礎生物的班級。

預試組為 115 班，預測日期為 960126（期末考週為 960116~960119，由於配合彈性調整春節假期之故，960126 屬於下學期第一週）。根據預測反應及預測後晤談情形，該「生物演化概念問卷」並不作修改，於 960302 逕自以相同問卷進行預測之重測，以及 111 班、113 班之前測(960305)。960328 進行 111 班之生物演化課程教學及 111 班、113 班兩班之後測。最後再從 111、113 兩班學生中隨機挑選共 30 名晤談對象進行晤談。

第三節 研究工具

一、生物演化概念問卷

(一)問卷內容

本研究使用「生物演化概念問卷」對學生進行檢測。問卷內容以六個生物演化現象編製成六個問題組，每個問題組各自可得到五題編碼資料，故統計上包含有 30 小題。這六個現象是：1.變異(variation) 2.遺傳(inheritance) 3.適應(adaptation) 4.馴化(domestication) 5.種化(speciation) 6.滅絕(extinction)。

「生物演化概念問卷之試題檢核表」列示如下。完整的施測時所使用之「生物演化概念問卷」詳見附錄二。

表 3-3-1 生物演化概念問卷之試題檢核表

現象(Phenomenon)	理論(Theory)	變異論的解釋(Interpretation) vs. 轉變論的解釋
變異(Variation) 第一大題 1~5 題	變異論	個體差異是選擇的題材
	轉變論	個體差異是極小的、是一種不適應的情形
遺傳(Inheritance) 第二大題 1~5 題	變異論	性狀之可被遺傳是取決於它的血統(origin)
	轉型論	性狀之可被遺傳是取決於它的適應價值
適應(Adaptation) 第三大題 1~5 題	變異論	不同的存活 / 繁殖，創造出適應性
	轉型論	不同的存活 / 繁殖，無關於適應性
馴化(Domestication) 第四大題 1~5 題	變異論	物種馴化是經由選擇性的育養
	轉型論	物種馴化是改變生物個體而來
種化(Speciation) 第五大題 1~5 題	變異論	所有物種來自共同的祖先
	轉型論	關係密切的物種有共同的本質(essence)
滅絕(Extinction) 第六大題 1~5 題	變異論	滅絕比適應較為常見
	轉型論	適應比滅絕較為常見

檢核表說明：1.共有六個問題組，每個問題組各自可得到五題編碼資料，故統計上包含有 30 小題。

2.本表引自 Shtulman(2006)。

(二)專家效度

「生物演化概念問卷」改編自 Shtulman(2006)所設計之問卷，除經指導教授審視過，研究者另商請台灣師大生科系呂光洋博士、張永達博士、張文華博士、湯偉君老師（本所博士班學生、萬芳高中生物教師）針對整份問卷的內容正確性及措辭給予建議及指正。

(三)信度

預試組（115 班）五週後進行相同問卷之重測，重測信度(test-retest reliability)= .991。

表 3-3-2 預測、重測總分相關係數表

相關			
		六大題組預測總分	六大題組預測之重測總分
六大題組預測總分	Pearson 相關	1.000	.991(**)
	顯著性 (雙尾)	.	.000
	個數	40	40
六大題組預測之重測總分	Pearson 相關	.991(**)	1.000
	顯著性 (雙尾)	.000	.
	個數	40	40
** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。			

二、概念本體晤談

(一)實施步驟

從教學組（111 班）與對照組（113 班）班級中各隨機挑選 15 人，於各班自習課、班會、聯課活動時進行晤談，全部晤談在兩週內完成。每位學生皆發給晤談大綱一份，由研究者再次依序口述題目，請學生回答。

(二) 晤談大綱

1. 洞穴生物問題：科學家認為在黑暗封閉之洞穴中的生物，本來和洞外生物一樣是具有正常眼睛的，但現在卻幾乎都小到快消失不見，有些甚至只剩下一些眼睛的痕跡。這些生物有魚、蠓、蛇...等。就演化的觀點來看，請你推論為何會變成這樣？
2. 膚色問題：北歐人的膚色很白，非洲人的膚色卻非常黑。請你就演化的觀點來推論一下，非洲人的黝黑膚色是怎麼來的？
3. 北極熊問題：請你就演化的觀點來推論一下，北極熊的一身白色毛皮是怎麼來的？
4. 長頸鹿問題：請你就演化的觀點來推論一下，長頸鹿的長脖子是怎麼來的？
5. 胡椒蛾問題：請你解釋一下，在生物演化問卷上的胡椒蛾問題中，你為何這樣著色？

(三) 變異論解釋架構 vs. 轉型論解釋架構

1. 變異論的解釋架構，以洞穴魚為例：洞穴魚族群的眼睛就像人類族群的情況一樣，有人眼睛大，有人眼睛小，個體間有著變異(variations)。洞穴的環境中，黑暗又狹窄，大眼的沒佔到什麼生存優勢，卻反而較容易撞到、戳到眼睛，受傷而亡，小眼的就比較不會，慢慢地，小眼的比較容易存活，因而產生較多後代，具有生殖優勢，而傳遞較多小眼的基因下來，慢慢就變成這個模樣。
2. 轉型論的解釋架構，以洞穴魚為例：洞穴的環境中，非常黑暗，眼睛因而用不到，慢慢地就退化了。

第四節 課程設計

一、理論背景

Geraedts & Boersma 是兩位荷蘭的學者，他們認為，雖然關於學生的拉馬克迷思概念的研究很多，但只有很少部分的研究聚焦並提出成功發展天擇概念的學習或教學策略。因此 Geraedts & Boersma(2006)在荷蘭以所謂「引導式的重新創造」(guided reinvention)的教學策略，針對 15 到 16 歲高中生進行教學實徵研究。過程中，讓學生藉由回答一系列立基於達爾文理論邏輯本質的問題來重新創造天擇概念。他們的研究結果顯示，該教學課程結束進行中很少記錄到學生使用拉馬克的解釋架構，並且大部分的學生都能發展出達爾文式的解釋架構。

Vosniadou(1994)認為迷思概念是在被測試(testing)的處境當下，無意識的建構(spontaneous constructions)。Geraedts & Boersma(2006)兩人參考 Thelen & Smith(1994)的動態系統理論(dynamic system theory)與動態心智過程的主張，也認為行為或認知的表現有時可能會依循穩定的模式(pattern)，但總是當下即時的建構。他們再根據 Klaassen(1995)在 radio-activity、Vollebregt(1998)在 particles、Knippels(2002)在 genetics 的教學成功經驗，因此認為提問法(problem-posing approach)是很好的教學選擇。

Geraedts & Boersma(2006)的提問法的教學策略所強調的，不是在概念的引出與交換，而是概念之系統性發展與獲得，亦即 Freudenthal(1991)(引自 Geraedts & Boersma, 2006)所稱的「引導式重新創造」(guided reinvention)。研究者認為，這種想法符合 Chi(2005)的主張 - 如果學生缺乏生物演化的突現過程基模，強迫要求學生概念改變是行不通的！

二、課程規劃

□ 實施日期：96 年 3 月

□ 課程進行時間：第六節課（50 分鐘）（不含先前的準備工作）

- 課程內容：針對生物演化中的變異、遺傳、適應等主要概念來設計。
- 對象：台北縣某國立高中 111 班
- 課程實施時配合使用教學投影片(PPT)、學習單、突現(emergence)動畫。
- 教學後測：當天第八節課（20 分鐘）

參考 Geraedts & Boersma(2006)針對演化概念教學所提出的引導式重新創造(guided reinvention)教學策略進行教學，並於教學後再次進行問卷測驗。

課程進行前，先將學生分成二人一組、組對討論的方式，以之進行課程進行時的討論及學習單的撰寫。

課程進行中除了沿用 Geraedts & Boersma 的二個具互補性的階段(building block)以外，另增加突現過程本體教學與概念整合階段，來讓學生學習達爾文式的觀點。

（一）階段一：檢驗拉馬克理論(Exploring the Validity of Lamarckian Theory)。

說明：拉馬克論的中心想法是：生物個體適應其環境並遺傳新獲得的性狀至後代。這樣的想法並非完全不合邏輯的，因為在生物體的生活史中，有眾多適應性改變(adaptive change)的例子。但是，表現型的改變並不會影響基因型。大多數的高中學生其實對遺傳已有基本的了解，但卻不能轉移至演化問題上(Baalmann et al., 1998; Hallden, 1988; 引自 Geraedts & Boersma, 2006)，研究者認為，一如動態系統理論(dynamic system theory)及 Vosniadou(1994)的看法，在反應的當下(on the spot)，會無意識地進入拉馬克式的想法中。因此，第一個階段是要將學生的遺傳學先前知識聯結至演化來。

這第一個階段中有三個小工作，每個工作提出幾個問題請學生進行小組討論，並視狀況抽點幾組學生回答：

1.第一個工作：請學生評論長頸鹿的起源。預期學生都能回答出國中教科書中所述答案，亦即，採用變異架構(variational framework)、以族群中組成個體的變異

(variation) 為起點，進行邏輯推論。每組同學都要將該組討論後的共識寫在學習單上，教師則請一至二組同學做口述評論，教師則適時精緻化(elaborate)學生的評論。當全班同學達成共識後，繼續進行下一個工作。此工作的目的在使學生聚焦在本單元的中心問題：**演化是如何運作的？**

2.第二個工作：提出兩個情境來精緻化(elaborate)基因、性狀(表現型)和遺傳之間的關係。一個情境是北極熊白色皮毛使它在雪地中不會太明顯。另一個情境是健美選手經由訓練而有發達的肌肉。

請問學生：(1)北極熊的白色毛皮是怎麼來的？這會遺傳至下一代嗎？

(2)健美選手的強壯肌肉是怎麼來的？這會遺傳至下一代嗎？

3.第三個工作：舉真實的故事來說明重複的表現型之改變，並不會導致演化的改變。例如：十九世紀魏斯曼(Weisman)將老鼠的尾巴切短，連續切了 22 代，但老鼠的尾巴始終沒有變短。

三個工作做完後，可由教師做一總結如下：

「『族群』指的是相同物種的『個體』所組成的團體。

北極熊族群中的北極熊個體間原本存在著差異性，也就是所謂的變異(variation)，有毛皮顏色較深的北極熊，也有毛皮顏色較淺的。較淺色毛皮的熊相對比較不易被獵物發覺，所以有較多的存活率，也就有較多的繁殖機會而會有較多的後代；深色毛皮的熊的存活率較低，而相對只有較少的後代。北極熊族群顏色的改變不是發生在個體身上，也就是說，**演化的基本單位是族群，不是個體！**

「達爾文的物種適應理論」的主體是物種(族群)，而不是族群中的個體！因為我們一般人所謂的後天對環境的『適應』(性狀改變)，是不會遺傳至下一代的。

所以**達爾文的物種適應理論，指族群(物種)的改變，是由於族群中組成份子的改變而造成整體族群的改觀；而拉馬克式的想法，是聚焦在個體的改變，一種後天性狀的改變。兩者是不同的層次(前者是族群層次，後者是個體層次)。**

再次強調，當討論『演化』這個議題時，一定要先從族群這個概念切入，再做其他深入討論，否則容易掉入錯誤的拉馬克式的想法之中。」

(二)階段二：重新創造達爾文理論(Reinventing Darwinian Theory)。

Geraedts & Boersma(2006)認為大部分教科書在教天擇時，都是以一小段短文搭配一些機械記憶的問題。所以他們提出的想法是採用 Gough(1978)的作法，針對達爾文理論的邏輯本質，以邏輯推論的方式在課室中進行。其蘊意在於，以達爾文原始的假定為出發點，學生可能可以自行建構、推導或重新創造出(reinvent)達爾文的天擇理論。

Geraedts & Boersma 想法是，以提問法將一系列問題、依序邏輯性地提出。這其中有三個循環(cycle)，每個循環導引出一個新的概念，分別是：族群(population)、天擇(natural selection)、突變(mutation)。**這一系列問題之提出，並不是直接反映學生發展或學習特定內容(content-specific)的動機，而是植基於達爾文天擇理論的邏輯性。**總而言之，就是：以正確的順序提出正確的問題，必要時再提供一些背景資訊，如此，學生或許能重新創造出達爾文理論。

研究者參考 Geraedts & Boersma(2006)的設計並加以改編整理如下表：

表 說明：

- 1.首先，學生應該很容易理解，同物種生物不會長得完全一樣(引入變異(variation)概念)(Question 1)。既然表型有差異，對環境的適應力就會有差異(Question 2)。問完 1、2 問題後，教師引介族群(population)名詞，並再做明確之定義說明。問完 3、4、5 問題，教師引介天擇概念。變異和天擇的持續進行，造成族群的演化(突現(emergent))。問完問題 6，教師引介突變概念。說明突變是演化的最初原始動力。
- 2.族群(population)概念引介：再次向同學說明，族群是指由同一種生物所組成的團體，族群中個體之間存在著變異，亦即個體不會長得完全一樣。
- 3.天擇(natural selection)概念引介：向同學說明，個體間存有差異(變異)，較適應當時環境的生物個體存活下來，這就是天擇。
- 4.突變(mutation)概念引介：指出個體基因發生改變，這種改變是可遺傳的。基因

(型)的改變，會造成表現型(外表、性狀)的改變。

表 3-4-1 教學課程中的一系列問題與回答(改編自 Geraedts & Boersma, 2006)

cycle	Question	引導學生回答的內容
1	Question 1 由同一種生物所組成的一個團體中，所有的生物個體都會長得一模一樣嗎？	不會。會有差異。
	Question 2 所有的個體對環境都適應得一樣好嗎？	不會。有些會適應得比其他好。
	→教師引介族群(population)概念	
2	Question 3 是否族群中的所有成員都有相同的存活機會？	否。存活機會有差異。
	Question 4 是否族群中的所有成員都有相同的繁殖機會？	否。繁殖機會有差異。
	Question 5 結合前述 1,2,3,4 的問題，這對族群的組成上會產生什麼影響？	存活和繁殖機會高(適應得較好)的個體會有較多的後代。
	→教師引介天擇(natural selection)概念	
3	Question 6 推動著演化持續進行的動力，除了天擇以外還有什麼？	突變。突變和天擇持續發生，演化也持續進行著。
	→教師引介突變(mutation)概念	
	Question 7 所有的突變都會使生物個體更適應其環境嗎？	不一定，突變是隨機的，不一定有利或害。
	Question 8 怎樣才算是對生物有利的性狀？	某性狀是否有利，需視其生活的環境而定。

(三) 階段三：突現動畫演示(突現過程本體教學)

Slotta & Chi(2006)的概念本體訓練，是以描述空氣粒子擴散的互動式電腦動畫來進行，而隨後的教學主題是「電流」；Reiner, Slotta, Chi and Resnick(2000)、Chi & Roscoe(2002)也都提到擴散與演化的本體屬性相同、具有很多相同的特徵，而學生在國中及高一即已學過擴散現象，鑑於學生對擴散的熟悉感，同時其突現的特質較容易表徵，故選擇簡明易懂的滲透 Flash 動畫來教導學生演化突現本體的特質，如下圖 3-4-1 所示。(取自美國 St. Olaf 學院生物系網站)：

<http://www.stolaf.edu/people/giannini/>

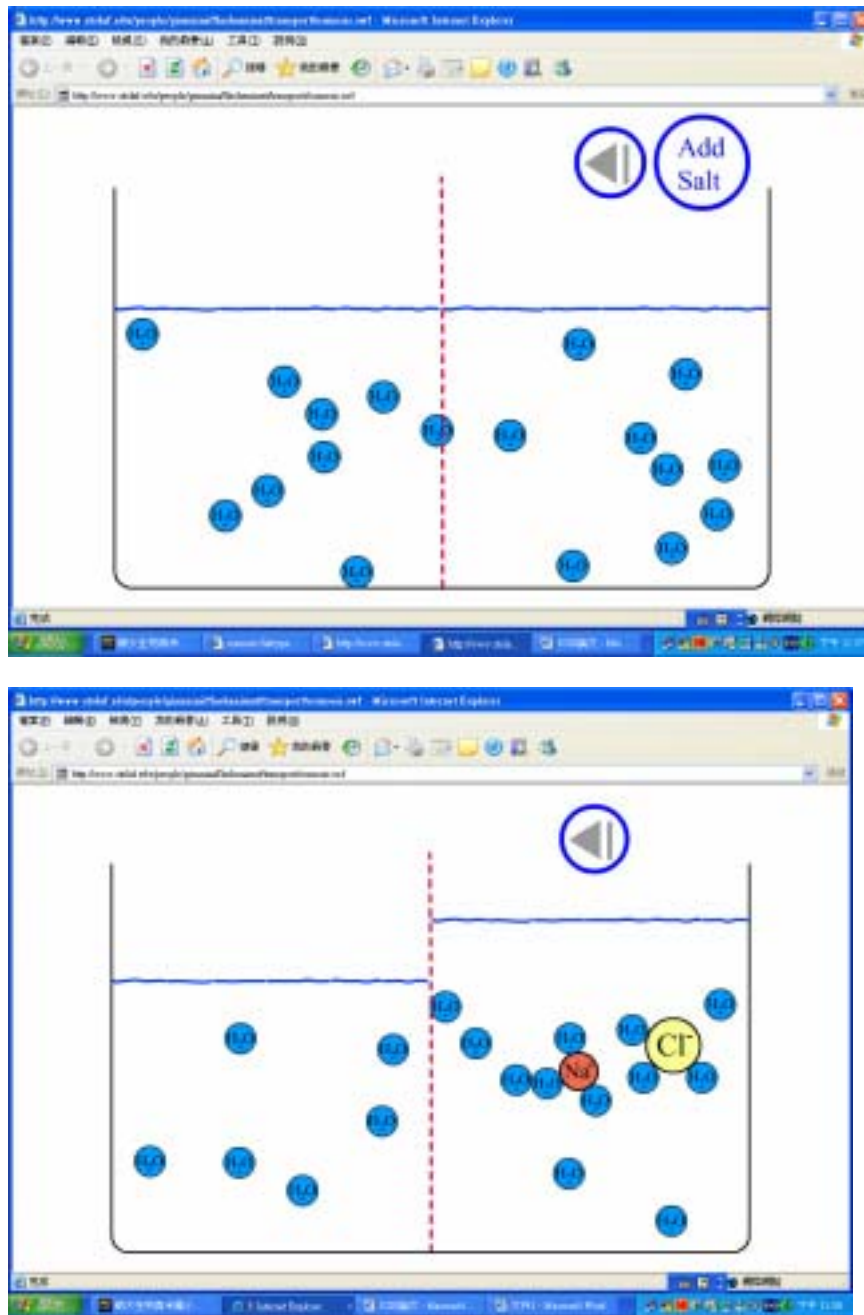


圖 3-4-1，生物演化教學動畫投影片教材舉隅

教師說明例示如下：

「同學們，看完這段動畫之後有什麼想法？」

這是一段水分子穿過選擇性通透膜擴散到膜的另一端的動畫。水分子的擴散，我們又稱作滲透。動畫中膜的右邊這一端加入鹽（氯化鈉 NaCl ）之後，水分子有的往左移、有的往右移，但是大部分是往右移，反映在水的高度上的奇妙現象就是：右邊這一端的水位上升了！

也就是說，就個別的水分子而言，水分子的移動方向有可能是往右或往左移，但就全體水分子的淨移動效果而言，是往右的。

而且同學們注意看喔，水分子還是會在左右之間移動，是一種動態平衡的情況。」

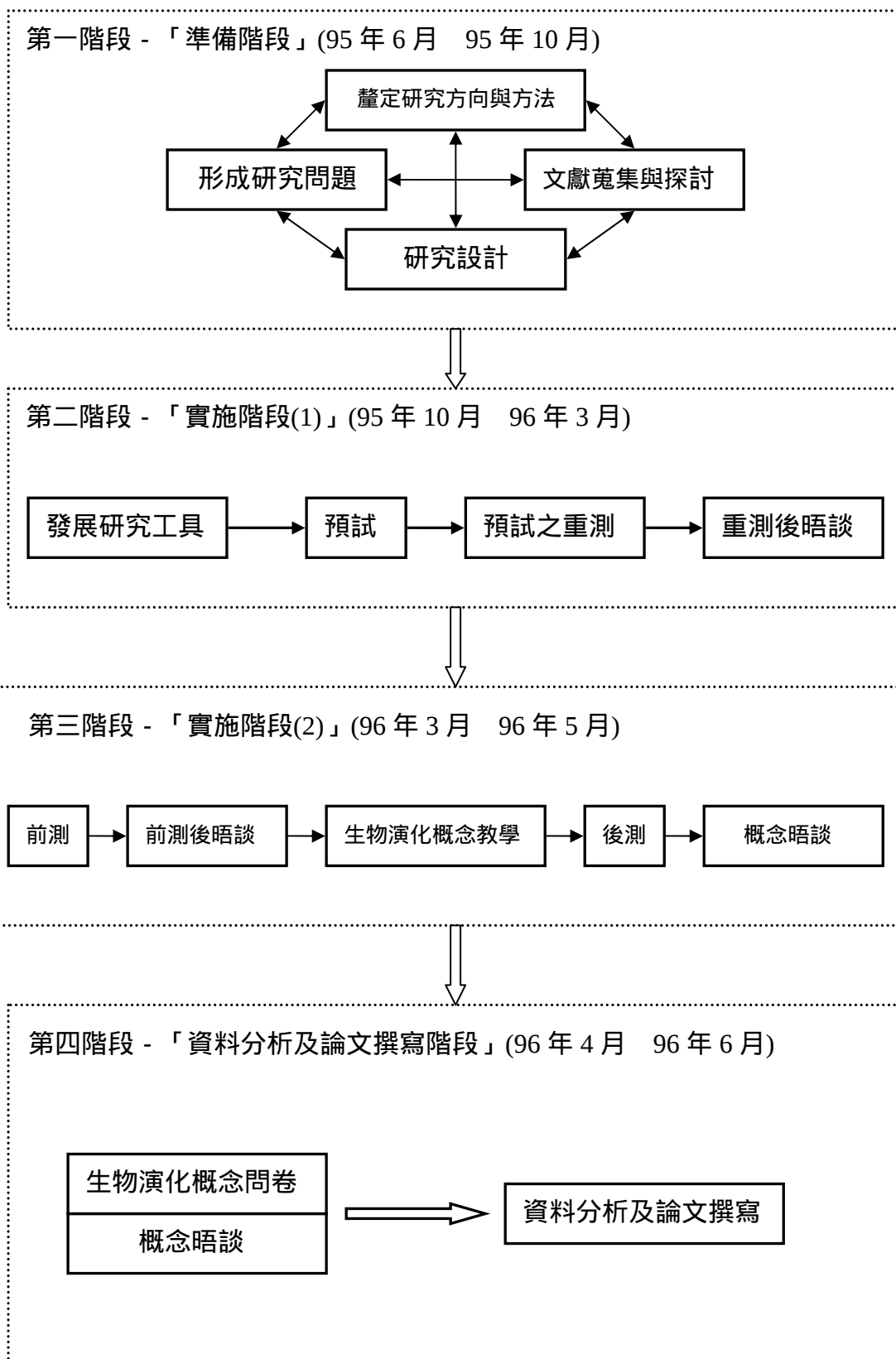
（四）階段四：概念整合。

教師說明例示如下：

「在講生物演化現象時，我們有提到英國胡椒蛾這個例子。不管是淺色的蛾或深色的蛾都會繁殖下一代，但是深色的蛾有較高的生存機會，故繁殖的下一代較多，反映在胡椒蛾族群的顏色上，就是：胡椒蛾變黑了。這就是生物的物種演化、達爾文的物種適應理論。所以演化的基本單位是族群，演化的原始動力是族群中的個體間存有變異（個體之間有差異），有變異才會有不同的生存與繁殖機會，才會造成族群組成結構的改變。」

附註：這時可以再和同學討論其他演化的例子，例如獵豹的快速奔跑能力是怎麼來的。

第五節 研究流程



第六節 資料處理與分析

- 以 SPSS 進行描述性統計分析。並針對 30 題答題情形，逐題進行分析；另以六大題組為單位進行分析，最後再針對整體作答情做敘述統計。
- 以 SPSS 進行相依樣本變異數分析(重複量數)(Repeated-measures ANOVA)：比較每位學生在六個題組的反應。
- 重複量數成對樣本 T 檢定（考驗(test)）：比較教學組及對照組同學之前、後測得分。
- 生物演化概念晤談解釋架構統計分析：以 EXCEL 統計教學組與對照組學生在回答五個生物演化問題時，變異論與轉型論之解釋架構使用情形，並試著比較同組學生在不同的問題情境下的回答情形。
- 綜合問卷及晤談結果進行推論。

一、生物演化概念問卷編碼方式

生物演化概念問卷編碼(coding)方式說明如下：

- (1)答案為變異論(Variationism)選項者得 + 1 分。
- (2)答案為轉型論(Transformationism)選項者得得 - 1 分。
- (3)答案為「其他」選項者，視其所寫理由劃歸為變異論、轉型論或綜合型（得 0 分，這項工作的評分者信度藉由研究者及另一位同所研究生的檢視來取得）。
- (4)因此，就整份問卷總得分而言，最高可得+30（若 30 題皆勾選變異論選項者）；最低可得-30（若 30 題皆勾選轉型論選項者）。
- (5)另外採複選題編碼方式對適應問題組編碼（有勾選者編碼 1，未勾選者編碼 0），以確切得知學生勾選的選項為何（適應問題組中每題有 4 個選項，每個選項皆以類比方式呈現達爾文的物種適應理論，這四個類比分別是意圖類比、外力類比、成長類比、選擇類比。這部份將詳述於第肆章之結果分析與討論）。
- (6)整份問卷的變異論與轉型論之「編碼對照表」見於附錄一。

二、概念晤談編碼方式

依本文前述之變異論與轉型者之立論起點、邏輯性與解釋架構之差異，將學生的回答，分為變異論、轉型論與模糊型三類。

晤談原案舉隅與編碼示例（每個問題各舉四位同學的回答為例）：

問題一（洞穴生物問題）：

「科學家認為在黑暗封閉之洞穴中的生物，本來和洞外生物一樣是具有正常眼睛的，但現在卻幾乎都小到快消失不見，有些甚至只剩下一些眼睛的痕跡。這些生物有魚、蠓蠓、蛇...等。就演化的觀點來看，請你推論為何會變成這樣？」

學生回答：

- (1) 可能是因為裡面洞穴顏色就是看不到，眼睛沒有用處，就退化了，然後用別的功能來取代了。（轉型論）
- (2) 我覺得它們長期在黑暗的洞穴中生活，可能就眼睛的功能就沒有常用到，所以久而久之就會慢慢退化，之後就比較不會用到眼睛。
（研究者問：那眼睛用不到的話，就會不見嗎？）
如果不常用的話，功能就會退化，所以可能就會不見。（轉型論）
- (3) 應該是眼睛本來就比較小的生物，可能就比較習慣的那一種，就是比較不需要去適應那一種環境，因為它眼睛本來就比較小；眼睛比較大的生物，因為生活在黑黑的地方啊，所以（哈）...所以就沒有辦法習慣啊，可能就慢慢淘汰掉了。所以就會剩下眼睛比較小，再下去就是眼睛...眼睛都沒有了。（變異論）
- (4) ...怎麼講...（沉思）...用不到嘛！（自己笑出來）...
（研究者問：用不到就會不見嗎？）
不會。（模糊型）

問題二（膚色問題）：

「膚色問題：北歐人的膚色很白，非洲人的膚色卻非常黑。請你就演化的觀點來推論一下，非洲人的黝黑膚色是怎麼來的？」

學生回答：

- (1) 因為長期住在那種環境，就一直曬一直曬，就會曬黑了（哈）。（轉型論）
- (2) 搞不好是祖先被曬黑了，基因有點變化。（轉型論）
- (3) 剛開始可能是太陽照射，一直太陽照射，皮膚黑，然後演化上基因遺傳。太陽大，然後基因突變。（轉型論）
- (4) 因為非洲比較靠近赤道，太陽比較大，皮膚黑的可能比較可以對抗那個太陽，

所以皮膚比較白的都被淘汰。(變異論)

問題三 (北極熊問題) :

「請你就演化的觀點來推論一下，北極熊的一身白色毛皮是怎麼來的？」

學生回答：

(1) 因為它生活在四處都是雪的環境，然後要保護色，這樣比較可以保護自己，然後就是比較好狩獵食物。(轉型論)

(2) 因為北極就是都是冰嘛，比較亮，可能它們之前有不同的顏色，可是為了適應環境，適應環境之後，就只剩白色的留下來。(變異論)

(3) 因為北極應該都是冰天雪地嘛，然後北極熊在那邊，它也是白色的話，看起來就遠遠看過去也是白色的話，感覺好像好像有保護色的感覺。

(研究者問：那它是想要有這個保護色的感覺，就可以有這個保護色嗎？)
應該是原本剛開始也有黑的嘛，就是有很多種顏色，可是到最後演化下來的話，白色的比較容易生存嘛，所以到最後北極熊變白色。(變異論)

(4) 就是在那個環境幾乎都白色的世界啊，所以就其他毛色的動物就容易被天敵發現，然後就被淘汰掉啊，然後就是毛色是白的，就可以跟環境啊...這樣子看起來就比較不容易被發現，所以就會活下來的比較多。

(研究者問：那就是說，原本有一些是比較白的北極熊，有一些是比較不是那麼白的北極熊？)

對啊！本來應該有差異的，後來慢慢被淘汰掉了。(變異論)

問題四 (長頸鹿問題) :

「請你就演化的觀點來推論一下，長頸鹿的長脖子是怎麼來的？」

學生回答：

(1) 因為比較矮的樹，葉子都容易被吃掉，那為了生存，所以就脖子慢慢演化地長一點，可以挑樹葉，就比較容易生存。

(研究者問：是它想要變長，就可以變長嗎？)

不是，就是「慢慢」。(轉型論)

(2) 可能剛開始有脖子長的，有脖子短的，那低的樹葉都吃完了，就剩下高的樹葉，剩下脖子長的可以吃啊，那脖子短的就慢慢都死掉了。(變異論)

(3) 原本有長的有短的，但是在環境負荷比較吃緊的時候，長頸的比較有優勢，所以就被保存下來。(變異論)

(4) 就演化吧！因為就是長頸鹿原本同短的，然後如果它的脖子本來是比較長的，就可以吃到比較高的樹葉、可以吃到比較多的樹葉，就是可以比較容易生存，然後脖子短的就比較不容生存。就是脖子短的就會被淘汰。(變異論)

問題五（胡椒蛾問題）：

「請你解釋一下，在生物演化問卷上的胡椒蛾問題中，你為何這樣著色？」

學生回答：

- (1) 因為工業革命後，燃燒煤炭，樹都黑黑的，樹上有黑色的蛾跟白色的蛾，黑色的蛾比較不容易被發現，白色的蛾比較容易被發現，所以白色的蛾被吃掉了，所以黑色剩下比較多啊。（變異論）
- (2) 應該也是保護色吧！因為炭燃燒都是黑色的煤灰，就是這樣子會比較容易生存。ㄟ！不是！應該是白色的都不見了，然後黑色的就慢慢大量繁殖，因為白色的容易被找到，黑色的不容被找到。就是黑色比較容易活下來，因為它具有保護色，然後白色就是在黑色中會變得很明顯，所以就比較容易被人家抓到，要不然就是被它的天敵給吃掉。（變異論）
- (3) 一開始，就是工業革命，所以樹表面有煤灰，就變得比較灰，所以灰色的胡椒蛾就比較能適應當時的環境，那相對的，白色的就比較易被捕食，所以數量就減少，但是...就是減少到一定程度之後它還是會保持一定的數量，所以基因還是會存在。（變異論）
- (4) 剛開始，可能白的比例原本比較多，然後在這個地方因為有工業革命，就有大量燒煤炭，然後就到處都是灰煙啊，然後白色的蝴蝶就比較容易被發現，就比較容易被捕捉，就可能消失啊，後來，可能就是原本有白的也有黑的啊，然後黑的啊，因為在這種環境下比較容易生存，所以繁殖就會多啊，白的就會因此而滅絕。（變異論）