

第一章 緒論

本章共分為五節，內容包括研究動機與目的、研究背景與重要性、研究問題、重要名詞解釋與研究限制。

第一節 研究動機與目的

許多科學教育的研究發現，學生在進入正式課堂學習之前便已經存有許多自己的想法與概念。這些先入為主的另有概念，往往異於當代科學社群所架構之科學概念，將影響學生建構新的知識。因為當新學習到的概念與既有的想法相衝突時，將會產生矛盾與懷疑，甚至會產生一股抗衡的力量，因而影響科學概念學習的成效。

近年來，科學教育的主流從先備知識、另有概念的診斷與探討，逐漸轉變為概念改變教學之研究。有若干學者提出概念改變的理論，如 Vosniadou 和 Brewer (1987) 提出概念改變有兩種形式，一種為弱形式的重建，較容易改變；另一種為徹底重建，較不容易改變。Chi (1992) 以本體論的角度將概念區分為三大類（物質、過程和心智狀態），類別內的概念轉變較為容易發生，類別間的概念改變則十分困難。余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b) 則以概念本身內涵的階層性與複雜度為基礎，結合科學概念的本質和學生對於科學概念的信念，詮釋概念改變的可能性，並依此理論發展出可實際應用於班級教學的「雙重情境學習模式 (Dual situated learning model, DSLM)」，實證研究上均獲得良好的成效。

到目前為止，許多促進學生概念改變的教學策略中，類比教學的策略與科學推理能力的培養對於科學概念之學習具有明顯的助益。採用類比教學者如 Wong (1993) 針對空氣壓力的現象，經由一系列的類比教學協助學習者澄清、評量、和修正原有的解釋。Clement (1993) 提出類比的建立可以促進學生原有知識和新狀況的相互連結，學生在學習過程中可發展出一套屬於自己的銜接類比，進而促進概念澄清，有效進行概念的改變。另外，教育部頒布的九年一貫課程綱要中，明確指出「推理」是學生必須學習的重要科學過程技能。而 Lawson (2000) 認為只要給予

持續的刺激，科學推理能力將會隨著心智發展而不斷增進，對於學生學習理論性的概念將有很大的幫助。Pallant 和 Tinker (2004) 則運用分子動態模型來增加學生對於物質的不同狀態間原子吸引力之理解，結果問題答錯率由前測的 54% 降為 23%；且從晤談中也發現 12 人中的 10 人能夠經由推理教學後提高對問題的解釋力，顯示推理可促進學生的深層思考。

在遺傳的實際教學上，常因遺傳物質的微小不可見、分裂與遺傳過程的抽象、遺傳概念架構的複雜等因素，使學生迷惑甚至害怕接觸；而遺傳又是學習生物學的其他部分所不可或缺的重要基礎。因此學生對於「遺傳」概念的難以理解，往往造成在學習生物科學時很大的障礙與挫折。本研究期望能將雙重情境學習模式結合類比教學與科學推理，設計出能運用於課堂教學的課程，以進行遺傳的概念建構與原有概念之改變，同時讓學生在學習歷程中逐步培養推理能力，改善傳統以講述為主的教學方式所導致的推理及思考能力僵化之流弊，以適應未來變化快速的環境。研究目的如下：

1. 結合推理與雙重情境學習模式的相關理論，設計包含科學推理、類比教學、動畫模擬等遺傳概念改變之教學課程。
2. 研究不同自然科學業成就（高、中、低成就分組）與不同推理能力（具體運思前期、具體運思後期）的學生對於遺傳單元學習成就、科學推理能力、遺傳單元主題相依推理測驗的影響。
3. 透過晤談方式探討學生在教學前、後、追蹤時，其概念數、正確概念分數、推理層級與概念改變量的變化。
4. 探討學生在結合推理與雙重情境學習模式課程之學習歷程中，遺傳概念改變成效與推理層級之影響。

第二節 研究背景與重要性

從 1980 年代起，探討學生的另有概念已成為科學教育界中重要的研究領域之一，目前國內外科學教育的研究重心也逐漸從單純探討學生的另有概念轉為概念改變的教學研究；如何選用適當的教學模式來協助學生建構科學性的概念是當今許多科學教育學者努力的目標。而 Wandersee, Mintzes & Novak (1994) 根據多位科教領域專家學者意見綜合提出未來關於另有概念的研究方向，其中最重要是：1.應由描述學生的另有概念進展到對學生概念改變過程的了解。2.科學另有概念的研究應該與問題解決和科學認知研究相結合。3.如何將現有的另有概念研究放入課程和教學活動中。4.這些另有概念研究最後應會影響教學。5.教學方式可促進學生概念轉移並成為有效的教室教學方式。可見教學研究的重心已由「學生另有概念的探討」轉變成「概念改變的教學研究」。

九年一貫課程實施之後，努力倡導「能力本位」與「創新教學」，力求改變過去傳統以教師為中心的教學，轉而以學生為中心，促使其主動學習、提高未來的競爭力。教育部頒佈的課程綱要中提到要培養學生的十大基本能力，其中「主動探索與研究」便需運用觀察、收集資料、比較、分類、統整、歸納、研判與推理等科學方法以獲得知識與技能，顯示「推理」對於學生學習科學概念扮演了重要的角色。

遺傳單元是學習其他相關概念（如演化）的基礎，卻是長久以來教師及學生認為最困難的單元。因為遺傳物質小到無法用肉眼觀察得到，遺傳過程中的變化、基因對外表特徵的影響等概念又過於抽象，藉由學生熟悉的事物進行類比教學模擬微觀的抽象概念，期望能促進學生原有知識和遺傳概念的相互連結，以擴充其概念廣度與深度。

國外與遺傳概念改變相關的研究多半針對高中以上的學生進行研究，少有國中階段的論述。國內的遺傳概念相關研究亦多以探討另有概念的成因與診斷為主，如楊坤原與張賴妙理（2001）；或僅針對單一部分做教學改進，如「細胞分裂」（湯清二，1997），仍缺乏完整的遺傳概念

學習與有效的教學策略。

雙重情境教學模式運用在中學階段自然與生活科技領域的概念改變如浮力與大氣壓力 (She, 2002)、熱的傳導與對流 (She, 2003)、溶解與擴散 (She, 2004b) 等均有良好成效。而 Tang, She & Lee (2005a) 的研究更證實 DSLM 對於細胞分裂與減數分裂的教學具有明顯的效果。若依據雙重情境模式再結合類比教學與科推理，應能對遺傳單元的概念建構及改變有所幫助。

本研究企圖運用雙重情境學習模式結合類比教學及科學推理來進行一系列完整遺傳單元教學，探究學生遺傳概念改變的成效、概念改變的歷程及對於推理能力之影響，以提供日後教學與研究之參考與應用。



第三節 研究問題與假說

本研究旨在探討將雙重情境學習模式結合類比教學與科學推理，對於學生的遺傳另有概念之概念改變學習成效與科學推理能力的影響，並進一步探討學生的學業成就、科學推理、主題相依推理與概念改變歷程的相關性。研究的問題與假說如下：

- 一、不同學業成就（高、中、低分組）與科學推理能力（具體運思前期、具體運思後期）對學習者在遺傳單元學習成就表現上有何差異？
 - 1-1 不同學業成就的學生對遺傳單元的成就測驗成績（前測、後測與追蹤測）達顯著差異。
 - 1-2 不同科學推理能力的學生對遺傳單元的成就測驗成績（前測、後測與追蹤測）達顯著差異。
- 二、不同學業成就（高、中、低分組）與科學推理能力（具體運思前期、具體運思後期）對學習者在科學推理測驗的表現上有何差異？
 - 2-1 不同學業成就的學生對科學推理測驗成績（前測、後測與追蹤測）

達顯著差異。

2-2 不同科學推理能力的學生對科學推理測驗成績（前測、後測與追蹤測）達顯著差異。

三、不同學業成就（高、中、低分組）與科學推理能力（具體運思前期、具體運思後期）對學習者在遺傳單元主題相依推理測驗表現上有何差異？

3-1 不同學業成就的學生對主題相依推理測驗成績（前測、後測與追蹤測）達顯著差異。

3-2 不同科學推理能力的學生對主題相依推理測驗成績（前測、後測與追蹤測）達顯著差異。

四、透過晤談瞭解結合類比教學、科學推理與雙重情境學習模式而設計之課程，對學習者在教學前、後與追蹤時「概念數」、「正確概念分數」、「概念改變量」與推理層級有何影響？

4-1 學生在教學前、後與追蹤時，概念數、正確概念分數的改變達顯著差異。

4-2 學生在教學前、後與追蹤時，推理層級的改變達顯著差異。

4-3 分析學生在概念改變量於「維持：全對」、「進步」、「維持：半對和錯」與「退步」等類型之改變情形。

五、結合類比教學、科學推理與雙重情境學習模式而設計之課程，對學習者的學習歷程表現有何影響？

5-1 分析不同學業成就、科學推理能力之學生在每一主題各學習事件前、後及挑戰題的正確概念改變之情形。

5-2 分析學生在每一主題各學習事件前後的推理層級之改變情形。

第四節 名詞釋義

一、遺傳單元：

本研究所稱的遺傳單元係依據中華民國八十三年十月教育部頒佈的國民中學生物課程標準，由國立編譯館九十學年度出版的國中生物教科書所提及之遺傳相關內容，再加以重組而成，包括「遺傳概念」、「細胞分裂與減數分裂」、「孟德爾遺傳法則與棋盤方格法」及「突變」等四大子單元。

二、細胞分裂 (mitosis)：

又稱有絲分裂，母細胞的染色體複製後，複製染色體分離，細胞一分為二，且兩個子細胞與母細胞具有相同數量的遺傳物質，稱為細胞分裂。動物體在生長發育（增加個體細胞數量）、細胞老死或受損時（細胞更新），都會進行細胞分裂。

三、減數分裂 (meiosis)：

發生在配子形成時的一種特殊的細胞分裂。當生殖母細胞染色體複製後，經過同源染色體分離與複製染色體分離等兩次的分裂後形成四個具有單套染色體的配子（精子或卵），稱之為減數分裂。

四、另有概念 (alternative concept)：

指學習者詮釋各種自然現象時本身所擁有的獨特想法，異於當代科學社群所公認的科學概念架構。這些概念往往不易產生改變，因而影響學習者的學習。

五、概念改變 (concept change)：

廣義的概念改變包含了概念建構與重建 (conceptual construction & reconstruction)。學習者的概念架構會隨著自身的心智發展、周圍環境的刺激或生活經驗累積等因素，促使其認知結構出現分化和統整的現象。可能是概念的從無到有、由簡至繁的擴充，也可能是部分概念的修正、甚至概念轉移與重建等，都可稱之為「概念改變」。

六、類比教學 (analogy)：

將教學概念視為「目標物」，以學生日常生活中熟悉的事物做為類比目標物的「類比物」，並比較兩者相同與相異處的教學模式。

七、雙重情境學習模式 (Dual Situation Learning Model, DSLM)：

余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b) 所發展出的概念改變教學模式，此模式共分六個步驟，依序是分析教學過程中的科學概念、分析學生的原有概念架構、分析學生所缺乏的心智架構、設計雙重情境學習活動、進行概念改變教學、進行挑戰情境活動。

八、語意流程圖 (flow map)：

將晤談學生的回答內容加以錄音，轉成文字資料，再依照語意流程圖的方式繪製而得。本研究以語意流程圖來表徵學生於教學前、後、追蹤的概念數、正確概念數、概念改變量及推理階層的轉變情形。

九、概念數：將受訪者回答問題的完整情形 (包括答案和理由說明) 分成每個概念，如「減數分裂是為了產生配子，因為進行減數分裂才能產生具有單套染色體的配子，受精的時候才會結合成雙套的染色體」。

十、正確概念分數：針對每個概念數依照回答 (包括答案和理由說明) 的正確程度分成 0-2 分，其中全錯為 0 分、答案和理由半對給 1 分、全對者給 2 分。

十一、概念改變量：針對各個晤談問題中的前測到後測、後測到追蹤測的概念改變連結數，依照回答的對錯情形分成「進步」、「維持全對」、「維持：半對或全錯」和「退步」等四種型態。

十二、概念推理層級：運用 Hogan, Nastasi, & Pressley (2000) 提出的概述 (Generativity, G)、精緻化 (Elaboration, EL)、辯證 (Justifications, J) 及解釋 (Explanations, EX) 等推理形式，再加以修正。

十三、概述 (G)：

運用在訪談、學習歷程中開放式理由中推理類型的最低層級，意指學生對自然現象作直觀的描述或以質樸概念來回答問題。概述（G）又可細分為 G0、G1 和 G2。G0 表示學生的回答中完全不包含任何和問題相關的論述，或無法分辨其含義，如「不知道」或「我忘記了」；G1 是學生僅運用一個簡單概述，如「細胞由一個變成兩個」；G2 則是同時運用了二個以上概述，如：「遺傳應該是把上一代的東西像外型、容貌保留給下一代」。

十四、精緻化（Elaboration, EL）：

運用在訪談、學習歷程中開放式理由中推理類型的第二個層級，意指學生能以正確科學術語、或科學方法如運用測量、估計、數字關係等，對問題相關的現象進行說明。精緻化（EL）又可細分為 EL1 和 EL2。EL1 是學生僅運用一個精緻化的說明，如：「受傷的時候要進行細胞分裂，替補壞死的細胞。」；EL2 是運用二個以上精緻化的說明，如：「染色體會先複製，再分裂一次，數目和原本的一樣。」。

十五、辯證（Justification, J）：

運用在訪談、學習歷程中開放式理由中推理類型的第三個層級，意指在「證據取向」方面，學生能利用實驗變因和結果之間的關係來說明現象；在「推論取向」方面，學生能利用簡單的線性因果關係演繹推論來解釋現象，分為 J1 和 J2。J1 是學生運用了一個判斷的說明，如：「細胞分裂時，染色體會先複製一次，然後分裂，產生的兩個新細胞中的會有數目相同的染色體。」；J2 則是二個以上判斷的說明，如：「因為染色體在複製的時候，上面帶的基因有些是顯性、有些是隱性，在分裂的時候隨機分配到細胞裡面，所以分裂出來的四個子細胞所帶的基因都不一樣。」

十六、解釋（Explanation, EX）：

運用在訪談、學習歷程中開放式理由中推理類型的最高層級，意

指學生可用類似科學模型或遺傳過程機制，做為推理的依據，來說明待解答的現象。分為 EX1 和 EX2，EX1 是學生運用了一個解釋來說明，EX2 是運用二個以上解釋來說明。但因學生程度所限，在本研究中最高只能達到 EX1。例如：「染色體複製一次，然後分裂兩次。第一次分裂的時候是同源染色體分離，第二次分裂是複製的染色體分離，最後分裂出來的是不成對的 23 條染色體」。

(EX1)

第五節 研究範圍與限制

本研究的對象為新竹縣某國中一年級的學生，不具有全體國中一年級的代表性，因此研究結果的推論有其限制性，不宜推論到不同學校、不同學年層的學生，也無法做廣泛或大樣本的推論。且教材範圍以九十學年度國立編譯館出版的國中生物教科書所提及之遺傳相關內容為主，研究結果若要推論到其他學科教材或領域時，需謹慎衡量，不宜貿然使用。

第二章 文獻探討

第一節 另有概念的探究

學生在進入正式學習科學課程之前，心中常存有由生活經驗而來的先備知識 (prior knowledge)，用以詮釋相關的科學現象，我們稱之為「另有概念」(alternative conception)。這些概念往往異於當代科學社群所架構之科學概念，且通常和日常生活情境所直覺觀察及想像的相結合，故採用一般的教學策略是很難加以改變的。

另有概念的來源是許多學者研究的重點，Driver (1981) 認為兒童在成長過程中會與周遭的人產生互動，這可能使兒童從其他人身上得到一些另有概念；另一方面兒童觀察自然界的現象時，經過本身整理歸納後，得到一些他們自以為正確但卻與科學家想法相異的概念。Duit 和 Treagust (1995) 指出兒童科學概念主要來源有下列六種：1. 感官的經驗。2. 語言的經驗。3. 文化的背景。4. 同儕團體。5. 大眾媒體訊息。6. 學校的科學教育。

Stepans 等人 (1986) 曾指出學生的另有概念可能來自於六個方面：

1. 教師對於學生的另有概念缺乏覺察 (awareness) 及興趣：Butzow 和 Gable (1986) 的研究顯示，許多教師對鑑定學生另有概念的議題不感興趣，並表示無法花費時間來處理學生的另有概念。
2. 日常生活語言和隱喻：教師、同儕、家庭成員、視聽媒體所使用的言語內容及用法，都會影響學生所建構的概念模式。
3. 假設「只要教就立刻能夠學會」：教師常認為只要在講述時提及該學的概念，學生就必然可以學會，因而造成學生的另有概念沒有機會可獲得修正。
4. 假設「從言談用字就可代表是否理解」：教師常認為只要學生能夠說出科學術語或專有名詞，就代表已經了解字彙所代表的概念，事實上學生常常無法理解這些字彙的意義。
5. 教科書對概念的呈現方式：有時候教科書在文字、圖表、課程順序內容的安排上無法讓學生順利學習，甚至直接造成另有概念的形成。

6.過度運用講述法：因教科書內容過多或教學進度的壓力，教師常被迫使用講述法進行科學教學，然而講述並不是幫助學生改變原有概念的好方法。

Tang, She & Lee (2005b) 認為國中學生遺傳原有概念的成因為：

- 1.個人的經歷：由於概念是個人解釋現象的主觀架構，因此原有概念的形​​成和學生的認知發展、家庭背景、日常生活中的知覺體驗、課外閱讀的經驗、個人直覺或推理判斷等經歷有關。
- 2.社會文化的影響：學生在成長的過程中，同儕互動、文化背景、族群意識與信仰等因素均可能會影響原有概念的形​​成。
- 3.正規教育的誤導：學校科學教育是傳承知識的主要途徑，卻也容易變成原有概念的來源。原因是（1）科學知識經由教師的自行詮釋所造成的差異；（2）科學教師透過教學活動將知識傳遞給學生時，可能與原本自己所詮釋的科學知識又產生了差異；（3）學生在整個教學歷程中個人的認知理解、知覺體驗與人際互動，也會產生極大的差異。故正規教育也常是原有概念的源由。
- 4.符號表徵的誤解：概念需藉由符號（如語言、文字、圖像等）來溝通傳承，因此學生對於學習時所運用的「符號」之理解，將影響學生對於概念的理解。。

有關原有概念的研究，因不同研究派典及探討問題的不同，所採用的研究方法也有所不同。張惠博（1999）整理國內外有關原有概念的研究方法，歸納出下列六種方法：

- 1.診斷式的傳統測驗題：適用於大量施測。
- 2.概念構圖：展現概念關係之測量方法。
- 3.晤談法：對個案學生進行事例或事件晤談。
- 4.關係圖法：如單字聯想、樹狀圖、圖形建構、網狀圖、語意流程圖等。
- 5.Vee圖：利用集合關係圖來表示，可用來探索學童的理解。
- 6.二階段測驗（two-tier test）：第一階段以選擇題診斷學生對科學概念之理解，第二階段以問答題形式再根據學生的說明探索學生對概念之真正想法。

第二節 概念改變的理論與教學研究

一、概念改變本質的理論

概念改變為什麼很困難？根據 Pfundt 和 Duit (1991) 回顧過去的研究指出，許多科學的另有概念是很難被改變的，因為兒童或成人的科學概念具有個人的、固執的、強韌的、一致的、穩定的等特質，這些特質會阻礙學生在科學學習過程中概念的轉變。

有些學者從學生個人和學習情境的角度來解釋，Carey (1986) 指出缺乏科學知識和經驗的兒童在面對自然現象時，只能引用日常生活中熟悉的類似經驗做為「範例」，將新的概念類比並進入原有的概念架構中，因而使得概念架構變得錯綜複雜而不易轉移。Burbules 和 Linn (1988) 指出當學生的經驗，能夠部分的支持他們的另有概念時，概念轉移的難度將更加提高；因為這些經驗會增強他們對另有概念的信念，讓他們無法釐清經驗與另有概念之間的關係。Driver (1989) 也認為學生的生活經驗，深植於他們直覺式的科學概念之中，互相緊密結合而造成概念轉移的困難。Tytler (1998) 則從實徵性的研究中發現兒童的科學概念和自然現象的情境緊密關聯，概念間架構的複雜性遠超過一般的想像。亦有學者從概念本身的角度來解釋，有些科學概念太過抽象 (Brown, 1993) 或是微觀 (Brook, 1984)，學生無法有效的理解而造成概念改變的困難。

Chinn 和 Brewer (1993) 強調「認知衝突」是促使概念發生改變最重要的條件。Vosniadou 和 Brewer (1987) 將 Piaget 認知發展理論中「同化」(assimilation) 和「調適」(accommodation)，更進一步詮釋成為兩種概念改變的形式：「弱重建」(weak restructuring) 和「徹底重建」(radical restructuring)。弱重建讓新的概念能順利加入原有的概念架構，不須更動其原有的核心概念架構；而徹底重建則於新概念加入時，原有的核心概念架構必須修改，甚至重新建構，因此徹底重建的困難度遠大於弱重建。

Chi 等人 (1994) 以本體論的角度將概念實體區分為物質 (substance)、過程 (processes) 和心智狀態 (mental states) 等三個類別的本體樹，彼此間互相獨立。所謂「物質」是指擁有靜態特定條件的概

念，包含了概念的狀態和屬性。「過程」則是動態發生事件的概念，可能有前後序列或因果關係，也可能只是機率問題；而「心智狀態」則是抽象情意或心理狀態的概念。若是在同一個本體樹的概念重組、修正、新增等是屬於類別內的概念改變，比較容易發生；但若要讓概念產生類別間的轉變或根本的概念改變則比較不容易發生。

Thagard (1992) 則從科學史的發展來探討經由科學革命而建立科學模型的過程，並尋找概念改變何以如此困難的解答。他分析科學概念之間的關係，將其分為三大類：類別關係 (kind-relations)、從屬關係 (part-relations) 和連結概念 (link concepts)。所謂類別關係是指兩個以上樹狀概念架構之間的關係，例如綠色植物、動物和微生物之間的關係即屬類別關係。從屬關係是指同一個樹狀的概念架構之中，不同位階概念之間的關係，例如綠色植物具有根、莖、葉的構造，綠色植物和根、莖、葉之間的關係即為從屬關係。連結概念是指兩個概念之間的連結法則，例如綠色植物利用根吸收水分，利用莖輸送水分和養分，利用葉進行光合作用。

Thagard 同時指出概念改變具有不同的型式及階層性，由容易到困難可分為九個階層，分別是：增加新例子、增加弱原則、增加強原則、增加新的從屬關係、增加新的類別關係、增加新概念、瓦解從屬關係的階層、藉由分枝跳躍重組階層性和樹的遷移。另指出科學知識發展過程中最常見的是信念的修正、概念的增加或刪減和概念階層簡單的重組，而如同科學革命的分枝跳躍與樹遷移在整個科學發展史上較為罕見，這也說明了概念的增加或刪減是比較容易成功進行的，而將原有的類別關係或從屬關係重新組織，如樹枝般的跳躍則是很困難的。

以上認知學派的理論解釋了為什麼概念改變的發生如此困難，但是很可惜並沒有為教學的實務上，提供一套有效的教學策略。隨後這個目標成為概念改變研究中重要的研究方向之一 (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994)。

在科學教育的領域中，最具有影響力的概念改變理論即為 Posner 等人 (1982) 提出要產生概念的轉變，必須要滿足四個條件：

1. 學生必須對於現有的概念產生懷疑或不滿足 (disatisfaction)。
2. 學生對於新的概念必須能夠理解 (intelligible)，以確定其適用性。
3. 新的概念是必須是合理、可行的 (plausible)。
4. 新的概念具有豐富性 (fruitful)，可以詮釋更大或更新的領域。

Posner 等人(1982)更提出概念生態圈 (conceptual ecology) 的想法。所謂的概念生態圈指的是個體在呈現某個概念時，隱藏於該概念背後的所有所有概念架構的總和。它的運作猶如自然界維持生態平衡的模式，將會影響個體學習時對於新概念的選擇與調適的方向。其組成包括有：

1. 異例 (anomalies)：異例會衝擊或挑戰學習者原有的概念架構，將會導致學習者尋找新的概念取代之。
2. 類比 (analogies) 和隱喻 (metaphors)：這兩者是可以讓個體容易理解並接受新概念的方法。
3. 範例 (exemples) 和想像 (images)：學習者在某個概念上曾經經歷的體驗，會成為他日後解釋這個概念的範例。如學習者對概念的推理思考上曾作過的嘗試而累積的經驗，學習過程中被其他人想法影響而設立的學習目標及學習過程，這些都會影響到學習者對概念合理性的判斷。
4. 過去的經驗 (past experience)：如果新概念和學習者過去的經驗相衝突，就不容易被接受。
5. 認識論的規準 (epistemological commitments)：對於概念的本質與屬性及階層自有其判斷規準，會影響到最後概念架構的本體。
6. 形而上學的信仰與概念 (metaphysical beliefs and concepts)：這些會形成許多不需要理由的假設，(例如宇宙間的變化一定有規則可循、或宇宙的架構一定具有對稱性等信念)，這些想法往往左右了學習者的思考方向。
7. 其他知識 (other knowledge)：概念有時會受到其他領域知識的交互影響，進而相互競爭，能夠最有效整合原有個人知識架構的新概念，就會被接受而強勢的取代原有概念。

余曉清 (2002) 提出概念難以改變的原因，除了微觀、抽象與動態外，最主要的是因概念本身的階層性愈高，則概念愈難改變。階層愈高的

概念，包含愈多的概念，因此概念階層性愈高的概念其若要概念改變成功，則非單一類比教學、衝突事件可達成，將需要一系列緊密相關的事件才能達成。

余曉清（2004a）更進一步認為概念改變的分析方式不應單以本體論的角度觀之，還需針對概念本身內涵的複雜度與階層性來分析概念改變的形式。包含屬性越多（如：抽象、動態...等特質）、層次性越高的概念越不容易改變，若不能針對概念本質、學習者對科學概念信念，進而學習者所缺的概念設計一系列教學事件，概念改變將難發生。因而提出「雙重情境學習模式」（Dual Situated Learning Model, DSLM），使得概念改變的理論，有了實際且有效的教學模式。

情境學習（situated learning）表示概念的改變的發生必須根據學生所缺少的心智架構去設計一系列由淺入深、環環相扣的情境學習事件，而每一學習事件必須架構在前一事件之上，使能緊密相關，當科學本質和學生對科學概念的信念被改變時，概念改變也隨之發生。

雙重（dual）的含意之一為情境學習事件一方面造成學習者認知的不協調，另一方面也提供其新的心智架構；含意之二則在情境學習過程中一方面要激發學習者概念重整的動機，另一方面要挑戰學習者原本的科學信念；含意之三為科學概念的本質與學習者對科學的信念之雙重交互影響。所以稱為「雙重情境學習模式」（DSLM）。如圖 2.2.1 所示。

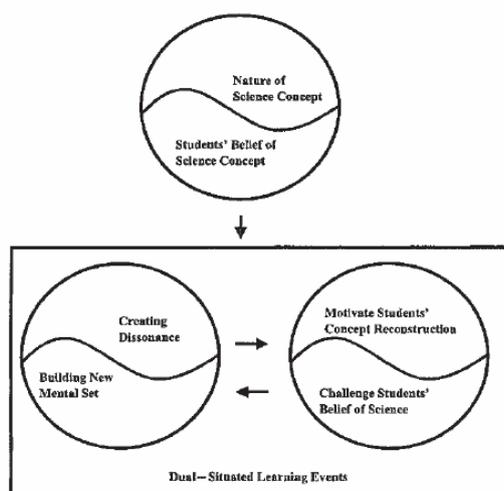


圖 2.2.1 雙重情境學習模式結構圖（She, 2004a）

二、概念改變的教學策略

(一) 五階段教學法

Driver 和 Oldham (1986) 認為學習者對於自然現象在學前的原有知識、學習者主動建構的知識論以及學習乃是概念上的改變等三方面，是促使自然科學的教學需要仔細重新考慮的主要因素 (摘自郭重吉, 1992) 因此他們發展出五階段教學法，第一階段是幫助學習者找到探究的方向；第二階段是設法引導出學習者的原有想法；第三階段是修正重組學習者的想法，使之接近科學的概念；第四階段是讓學習者運用新形成的想法，來驗證其合理性進而強化新的想法；第五階段則是讓學習者回想整個概念改變的過程，培養其後設認知的能力。

(二) 類比與類比教學策略

類比是一個確認不同概念間相似處的過程，主要目的在於將抽象的事物或概念，以學生較熟悉或具體化的方式表達。通常將未知事物或抽象的概念稱為目標物 (target)，已知事物或熟悉的概念則稱為類比物 (analog)。

Duit (1991) 為類比下了一個明確的定義，「類比」是兩個不同領域的知識系統，藉由彼此間某種關係的相似性，由已知的知識系統，推論到欲知的知識系統，從過程中獲得知識的理解。一般而言，類比的使用目的有兩種；1. 用於解說、傳達概念，2. 用於推理或產生新概念。Indurkha (1992) 將類比分成簡單和預測性兩種：簡單性的類比必須能夠區分出與已存在事物間的相似性，並將已知的事物之特徵及關係與未知的相互連接，如 Bohr 運用太陽系來描述原子的結構；而預測性的類比則是以現有的概念去預測新的事物且顯示出相似性，其目的在於超越已知與未知事物間的關係，進而產生出新的解決問題的方式，如運用開車的經驗去推理如何駕駛船隻的情形。

科學教育學者已經發展出數種的類比教學方式，根據 Dagher (1995a) 並依相關文獻整理成以下七種：

1. 一般類比教學模式 (The General Model of Analogy Teaching, GMAT)：

Zeitoun (1984) 是最早提出以類比進行科學教學模式的研究者之一，此模式包含九個與情境有關的步驟，簡述如下：

- (1) 評量學生類比推論的能力、處理視覺影像或認知需求複雜工作的能力等相關特質。
- (2) 評量學生的先備知識以決定類比是否有所幫助。可採用班級討論、晤談或問卷調查等方式來加以瞭解。
- (3) 分析主題學習的材料以決定是否已存在類比；若沒有則需尋找適當的類比或另行建構新的類比。
- (4) 依據類比物學生是否熟悉、類比的複雜程度、與目標物間相似的特質等來判斷類比的恰當性。
- (5) 依據學生的特質來決定類比的特徵，可協助教師決定使用實物模式的必要性和類比的具體性。
- (6) 選擇教學的策略與教學媒體，教學策略包括學生自我發展、引導式教學或解釋性教學；教學媒體的運用則包含書寫、口語、示範、操作模型、圖形或圖片等等。
- (7) 依介紹目標概念、介紹類比物、將類比物與目標物連接等三步驟呈現類比，並從最顯著的相似幸特質開始，利用轉移的語句呈現不同的屬性，最後再討論不相關的屬性。
- (8) 評量學生的學習成就，以瞭解學生對於主題概念知識的特質，並診斷出使用類比可能造成學生哪些另有概念的產生。
- (9) 在之前的每一步驟實施後加以評估修正，以決定是否需要額外的討論或其他替代類比的不同教學策略。

2.類比模式的教學 (Teaching With Analogies Model, TWA)：TWA 模式

(Glynn, 1991) 依據廣泛研究高中物理、化學和生物課本而建立，此模式共分為六部分：(1) 目標概念的介紹；(2) 回憶類比概念；(3) 找出目標物與類比物間的相似特質；(4) 標出相似的特質；(5) 依據概念得到結論；(6) 指出哪些類比物的特質與目標物有所不同。

3.銜接類比模式 (Bridging Analogies Model)：Brown 和 Clement (1989)

利用學生直覺的想法，以一系列仔細設計的中間類比引導學生思考，每

一個類比都是建立在前一個類比之後，經由不斷的修飾直到學生獲得科學概念。此模式能否成功，取決於以下四個重要因素：(1) 學生必須擁有可用的定錨概念 (anchoring conception)。(2) 假如學生無法看出定錨概念和目標物之間的類比，則必須經由使用銜接類比的發展，使其明顯看到其間的關連性。(3) 類比物與目標物之間的連接可以在互動式的教學環境中充分達成。(4) 必須協助學生以新的方式來看待目標物，使其覺得科學概念合理而願意接受。

同時他們也指出有兩個因素可能會造成此模式的使用失敗：(1) 對一些需要運用空間影像操作的技能有困難，如解釋月亮的盈虧；或是與先備知識相互競爭，如桌子是堅硬的障礙而非有彈性的力。(2) 學生對於所設計用於解釋目標物的模型之合理性的看法，是影響其是否能改變概念的重要因素。

4. 多元類比模式 (Multiple Analogies Model)：由 Spiro 等人 (1989) 所發展出來的，主要是為了去除一個類比物與一個目標物的連接限制，可以選擇數個類比物來說明一個目標物。適用於處理複雜的目標物，可以有計畫和系統地使用漸進的類比，而每一個類比都是建立在前一個類比之上，並且除去潛在之另有概念。在這不斷修飾的過程，提供一個自我修正的機制，同時減低無意識中造成另有概念的可能性。多元類比和銜接類比的模式看起來類似，實際上具有一些差異存在，茲將兩者相似和相異之處做一比較，列於表 2.2.1：

表 2.2.1 多元類比和銜接類比模式的相似與相異比較

	銜接類比模式	多元類比模式
相同	1. 都是採用一連串的類比 2. 每一個類比都是依據前一個類比而改進	
相異	1. 媒介物類比 2. 根據學生直覺的程度而定	1. 連續類比 2. 根據修改前一類比的錯誤看法程度而定

本研究在主題一介紹遺傳物質（DNA、基因、染色體）時，先採用毛線做為類比說明，再輔以動畫模擬類比，較接近於多元類比，但又與雙重情境學習模式相互結合，故另配合衝突情境事件，期望學生能先建構遺傳物質彼此間的關係，以便做為遺傳概念教學的基礎。

5. 學生產生類比模式 (Student-Generated Analogies Model): 此教學模式包含: (1) 呈現給學生一個主題，其中包含一系列的科學概念; (2) 學生針對特定現象加以解釋; (3) 建立屬於自己的類比，得以深入理解現象; (4) 運用類比於該現象，並找出其間相似與相異性; (5) 重複 2~4，並在課堂討論用於解釋現象之建議類比的恰當性。Wong (1993) 研究經由學生自己發展創造的類比來改善對大氣壓力現象的解釋，可協助學生澄清、評量與修正所提出的類比解釋模型。
6. 故事性類比模式 (Narrative Analogies Model): 源自於 Dagher (1995a) 所做的研究，教師採用多樣的資源 (source) 來解釋目標物的概念，其最大的特徵是以吸引人的故事情節來進行教學。此方式包含下列特點: (1) 選擇熟悉的事物; (2) 發展多個連接圖; (3) 探索其間的相關性; (4) 建立在學生的直覺和先備知識上。其中最困難的步驟是找出豐富的類比領域，使期能按次序發展，在課程進行時隨著故事情節延伸，伴隨者延伸的類比、互動式討論其相似與相異性，可使學生因而參與目標概念與類比概念間關係的主動建構。
7. 以實例為基礎的推理模式 (Case-Based Reasoning Model): Kolodner (1997) 提出此模式，提供學生機會去學習及給予問題，讓學生依據過去的經驗、同儕或教師的經驗來設計解決的方法，進而解決問題。此模式主要在協助學生記憶所提供的舉例再存取其經驗，及增進對系統間相似功能的看法。另在設計的部分可促使學生在抽象與具體間來回，測試修正之前所假設之新解決方式的想法，具有引發學生的動機的效果。

Gentner 等人 (1997) 說明類比有助於改變知識與理論的架構，並提出若學生能描述目標概念的普遍適當的層級，他們就能夠解決四種形式的類比問題：強調 (highlighting)、投射 (projection)、再表徵 (Re-representation) 與重建 (Re-structuring)。同時也指出，類比是知識

改變架構中很重要的一環，經由此方式可以促進個體對新事物的洞察。在自發性類比學習包括以下五個部分：1.類比物系統的存取，2.執行類比物與目標物的配對，3.配對的評價，4.在目標物中儲存推理，5.選取共同性。

Dagher (1994) 指出類比可以傳達給學生有關科學家是如何工作的具體影像，及科學知識是如何建構與有效化的明確訊息。整體而言，類比教學的優點有：生活化、簡化概念的複雜性、銜接不同的類比形成推理過程、提昇學習者學習興趣、使概念從抽象到具體、可使概念間產生連結、加強概念的理解等；缺點為：若舉例不當易使學習者產生另有概念、類比舉例困難等。

Duit (1991) 綜觀要使學習者的概念能利用類比轉移的必要且成功的兩個條件：一為採用的類比物必需是學習者所熟悉的；二為學習者對於此類比領域是不會產生另有概念的。因此影響類比教學成功與否的主要因素在於學生對於目標和類比系統的理解程度及目標概念與類比概念間的相似與相異關係的瞭解，故教師使用類比的方式是否適當才是決定學習者概念建構或改變的成敗主因。

Dagher (1995b) 提出類比教學的選擇必須依據下列三種因素進行評量：

1. 認知上的可使用性：例如常用水流來類比於解釋電流。
2. 將目標物與類比物進行適當的連接：比較兩者間相似與相異之處。
3. 文化上的可用性與適切性：如使用蘇俄娃娃來類比地層，但學生可能未曾見過。

Clement (1993) 注意到先前關於類比教學或衝突事件 (discrepant event) 研究常受限於僅能協助學生建構一個新的模式或僅創造不協調 (dissonance)，故建議謹慎選擇的衝突事件應做為建構新基模 (schma) 與引發內在不協調的開始，以便進行概念的改變。如何結合衝突事件和運用類比教學，引導學生徹底推翻舊有的模式或建立全新的架構，也是本研究企圖達到的目標之一。

(三) Hewson 和 Hewson 的概念改變教學模式

Hewson 和 Hewson (1983) 根據 Posner 等人 (1982) 概念改變的理論，提出概念改變的模式，以學生的先備知識來設計概念改變的教材，並運用於質量、體積、密度等概念的教學上均獲得良好的成效。

(四) 雙重情境學習模式

余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b) 提出雙重情境學習模式 (Dual Situated Learning Model, DSLM)，企圖結合認知心理和科學教育兩大學派的理論基礎，以進行有效的概念改變。DSLM 強調概念改變的成功與否須根植於科學概念的屬性與階層性，以及學生對於科學概念本質的信念。再則，其學習事件的設計強調不僅需要造成學生另有概念的不平衡，同時提供學生所欠缺的心智架構，進而修正舊有架構或重新建構新的概念。且在概念改變過程還強調要引發學生重新建構概念的動機，以及挑戰其原有科學概念之信念。DSLM 的進行可分成六階段，簡述如下：

階段一：分析科學概念屬性。即檢測科學概念的本質與屬性，並能提供建構此科學概念所需的心智架構。

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念。此階段需偵測學生對此概念的理解並了解學生在概念上所存有的另有概念。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。藉由前兩階段的資料比較分析，便可找出學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，以作為設計一連串的 DSLM 情境學習事件的依據。

階段四：設計雙重情境學習事件。此階段運用的原理是先設計一連串讓學生另有概念無法解決的衝突情境事件，而產生不平衡、不滿足的認知狀態。接著找出學生可能提出的想法解答，並設計讓學生能親自體驗、操作、思考驗證其答案正確性的學習情境，試著將學生所缺少的心智架構導入，逐漸讓學生建構較接近科學概念的概念輪廓。

階段五：進行雙重情境學習模式的教學。每一情境皆依據學生常見的另有概念設計問題並引導學習，接著藉由設計好的活動事件，讓學生從親自體驗、操作、思考中驗證其答案的正確性，試著將

學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構出較接近科概念的概念輪廓。為了解學生在教學活動中概念改變的過程，每次只顯示一個問題，且同樣的問題在事件的開始或結束都會提問一次，學生不得更改先前的回答。同時也可以運用晤談法，讓學生『放聲思考』（將思考過程用言語呈現）以了解學生概念改變的過程。

階段六：挑戰情境學習事件。此階段可以檢驗學生是否真的從教學過程中獲得原來缺少的心智架構，並能運用新的科學概念來解決類似的情境學習事件。

雙重情境學習模式（DSLMM）的概念改變策略揚棄單以本體論作為概念分析的方式，改以概念本身包含的屬性與階層性的觀點切入，分析概念改變的可能性，是一項創新的觀點。本研究即採用雙重情境學習模式概念改變教學策略，進行遺傳的概念改變教學設計。

此模式的重大特色是概念改變教學設計必須建立在科學概念本質與學生原有概念之本體架構的分析之上，而此概念改變的過程必須挑戰學生的科學知識之本體觀（ontological beliefs）信念，以理解學生究竟缺乏哪些心智結構因而無法建立完整的概念。其次，本模式另一個重點是所設計的雙重情境學習活動必須兼具產生不和諧（dissonance）以及提供新的心智結構（mental set）的功能，而該架構對於學習者必須合理的、易理解的、有利的、有效的，正如 Posner 等人（1982）所建議的。同時學習活動的設計必須要使學生親眼見到具體的實物或模型等促使概念的重新建構得以產生。當產生不和諧的過程中，則同時引發學生的學習動機、興趣、好奇心與挑戰學生科學概念的信念，概念改變才有可能達成。因此，She（2004a）認為在此六階段的教學過程中，教師應要求學生完成作業單，以確保在整個創造不一致的學習過程中，學生皆有主動參與，並挑戰科學概念的信念，提昇學習動機和建立新的心智模式。

雙重情境學習模式已實際應用在不同類別的學科教學，如透過晤談法教學促進學生概念改變的「浮力」單元（She, 2002），和透過班級教室教學的熱膨脹（She, 2003）、熱傳播（She, 2004a）、溶解和擴散（She,

2004b)、生殖 (Tang, She & Lee, 2005a, 2005b)、黴菌 (易國榮和佘曉清, 2004) 等單元, 並證明可克服不同本質的科學概念 (如: 微觀的、抽象的、動態過程及高階層性的) 教學上的困難, 促使 70%~95% 的學生產生概念之改變。

第三節 科學推理

一、科學推理的定義

學生在學習科學時, 常可藉由觀察、操作的直觀方式來理解科學概念, 但是在教學的情境中, 無法呈現所有的科學現象, 於是就必須藉由間接的認知來達成概念的理解, 而所謂間接的認知正是「推理」。

Glynn 等人 (1991) 以認知模式來解釋學生在推理科學現象時的心智過程。學生在工作記憶區中對外界的科學現象進行推理時, 會引用存放於長期記憶區中的科學事實、原則與技能。這些技能包括了科學的基本方法和統整方法。基本方法如觀察、分類、傳達、應用數字和測量、預測等; 統整方法則包括了控制變因、繪製圖表、解釋變因、獲取和處理資料間的關係、下操作型定義、設計實驗並驗證等。

一般而言在推理的技巧上, 最常用的兩種推理方法為「演繹推理」(Deductive reasoning) 和「歸納推理」(Inductive reasoning)。(Vosniadou, 1989) 演繹推理依據邏輯命題而來, 以已知的一般原理為基礎, 去推論某類事物特殊事例的真偽, 其主要型式可分為兩大類:

1. 條件推理 (conditional reasoning), 以若...則 (if...then) 的邏輯命題得到結論。例如: 學生觀察到蠟燭燃燒時需要在開放空間中進行, 以廣口瓶蓋住燃燒中的蠟燭會使蠟燭熄滅, 學生因而可能做出如果 (if) 沒有空氣, 則 (then) 蠟燭無法進行燃燒作用的推論。
2. 三段論法 (syllogistic reasoning), 以兩個邏輯命題經過推理而得出結論。依邏輯命題的性質內容又分為:

(1) 線性演繹法 (linear syllogism)：邏輯命題之間的位階關係相等。

例如：植物會進行呼吸作用 (第一命題)，呼吸作用需要氧氣 (第二命題)，則植物呼吸時也需要氧氣 (結論)。

(2) 分類演繹法 (categorical syllogism)：邏輯命題之間的位階關係有階層性。例如：學生知道氣球內裝入比重大於空氣的氣體會使氣球下沉 (主要命題)，當看到氧氣裝入氣球後使氣球下沉的現象 (次要命題)，則可能推論氧氣的比重會大於空氣 (結論)。

歸納推理則是藉由觀察眾多個別事物的特質，從其中抽取出一般規律的共通性並概括到同類事物上，一般而言歸納法所運用的技巧，大致可分為兩大類：

1. 因果推論：依據個別事物性質的觀察或資料做出前提，經由可能的因果推論，尋求其中共通性而推導出結論。
2. 分類推廣：一般的運用為由下而上 (bottom-up) 以相同的模板、原型、特徵、結構比對模式為前提，或依個人知識架構之下的相關背景由上而下 (top-down) 來進行推廣的歸納。

由於自然界中充滿了太大的變異性，用歸納法可以有效的預測未知事件，且隨著新的觀察事例增加，更可以逐漸修正結論使預測的不確定性大為降低。例如：學生可能從觀察鐵、銅、鋁等金屬 (個別事物) 生鏽的現象 (共通性)，而推導出金屬都會生鏽 (結論)，但是在觀察過黃金、鉑等金屬的特性後 (新的事例)，則重新歸納而得到並非所有的金屬都會生鏽 (修正後的結論)。

Michalski (1989) 指出若是統整目標物和類比物的類比建構就為歸納推理；但類比的使用就為演繹推理。因為從客觀角度去認識事物，必須兩種方法共同發展；演繹需要可靠的歸納基礎才能產生具有信度的結論，而歸納是在一般原理、原則或某種假說、猜想下進行的，所以在推理過程中兩者是相輔相成的。

二、推理的相關研究

(一) Kuhn 對批判性思考和科學推理的研究

Kuhn (1993) 認為個人進行科學推理思考的過程恰似一場理性的辯論，無需像一般對話式的辯論般強烈表達自己的主張，只要依個人原有的信念，從已知的正、反證據中進行判斷性思考，得到最後的結論或做出判斷。她為了探討科學推理和批判式思考的關係，對 160 位從 9 年級學生到 60 歲的受訪者進行訪談，並從辯論的角度，以證據 (evidence)、另有理論 (alternative theories)、反詰 (counterargument)、反證 (rebuttal) 等四個向度分析受訪者的回答內容，以了解他們推理運作的程度。研究結果顯示在「性別」、「年齡」兩分組間的推理能力並沒有顯著的差異，只有在「教育程度」的分組上，大學以上教育程度的受訪者在應用辯論技巧來推理的能力明顯優於高中以下程度的受訪者，這表示過去中小學的教育課程中，尚不能使學生具備足夠的推理技能。

(二) Vosniadou 和 Brewer 對兒童科學推理的詮釋

兒童在建構理論時是否會運用到推理的方法？Piaget 認為若要進行科學的推理過程，必須先要有一定的邏輯能力才能完成。因此過去在教學實務上多半認為小學階段的兒童屬於具體運思期，無法進行抽象的科學推理過程，故鮮少進行較抽象的科學推理教學。但是之後的學者如 Carey (1985) 認為兒童建構科學理論的方法其實和科學家十分類似，Brewer 和 Samarapungavan (1991) 以天文學的主題——地球的形狀為主題，對國小學童進行個別訪談，探討兒童如何應用自身的科學推理能力，來解釋他們所認知的地球形狀。

Vosniadou 和 Brewer (1992) 並在後續的研究中歸納出兒童所建構的地球形狀有矩形、圓碟形、扁平 and 球體並存、中空球體、扁平球體和完整的球體等不同的形式。以中空球體模型為例，兒童在形成這個模型的過程中，運用了他們學得的知識 (地球是球體) 和既有日常生活的經驗 (地面是平的) 來進行推理，建構地球形狀的模型。兒童能夠統整兩個衝突的概念，完整的融入自己概念架構中，使他們建立的模型具有解釋力，解決了概念衝突所造成的不滿足。儘管他們所建立出來的模型不合

於現今科學社群所公認的科學概念架構，但是他們在整合概念過程中，已表現出具備了一定的推理能力，是不爭的事實。因此在自然科學課程中適時的引導，可以使學生有更多的機會練習推理的技巧，以剛脫離兒童期的國一學生而言，對其心智的成長應有一定的助益。

(三) Driver 等人的知識論推理 (epistemological reasoning)

Driver, Leach, Millar & Scott (1995) 以知識論的觀點，從學生如何進行科學探索活動 (science inquiry)、學生如何看待科學理論的本質和狀態，以及學生「使用理論所作的解釋」和「對證據的描述」之間的關係，來分析學生進行科學推理活動的表徵，並將推理歸納為三類：

1. 現象推理 (phenomenon-based reasoning)

- (1) 科學理論：理論來自於對現象的描述，常常是情境依賴的。
- (2) 解釋和描述：學生將對現象的描述直接作為證據，和理論解釋之間的說法並沒有區別。
- (3) 科學探索：直接觀察自然現象或設計活動再嘗試操作後，觀察結果和現象。

2. 關係推理 (relation-based reasoning)

- (1) 科學理論：理論來自歸納法，於經驗的概括化中浮現，找出可觀察或假定存在的現象中所包含的特性或變數之間的關係。可以用兩種方式達成
 - a. 變數間的相關：如「晶體越大、溶解越慢」。
 - b. 線性因果推理：如「熱使空氣上升，空氣上升使熱氣球擴張開來」但是這以上兩者會互相干擾，因為線性因果推理的關係，使得在進行變數相關的推理時，傾向只接受一個原因而忽視其它可能的原因的情形。
- (2) 解釋和描述：仍然用對現象的觀察來作為證據描述，以變數之間的關連做為解釋的理論依據，缺乏對潛在科學機制的說明。
- (3) 科學探索：決定現象中可辨識的特性或變因來描述現象的行為，設計實驗、控制變因、計畫觀察的變項，最後探討起始因子和結果之間的關係。

3.模型推理 (model-based reasoning)

- (1) 科學理論：理論無法直接由現象的觀察資料推論得到，而是經由「創意」來產生理論模型，同時存在多個可能的理論模型。理論的存在是暫時性的，可以從「對現象的觀察」和「推理的理論模型」之間的一致性來評估理論的優劣。
- (2) 解釋和描述：理論解釋並非來自於觀察，而是以理論系統的科學機制來解釋。例如說明熱氣球上升這類巨觀的現象時，是以假定的實體「氣體分子」的行為來解釋。
- (3) 科學探索：以證據來評估各種模型的優劣。

(四) Hogan 等人對推理的分類和層級的定義

Hogan 和 Fisher (2000) 將科學推理定義為六種型式：

- 1.分析式推理 (analytical reasoning)：檢查整體的組成以及他們的功能是怎麼結合起來的，包括分析個體的推理成分，例如假定、主張及解釋。
- 2.類比式推理 (analogical reasoning)：分析兩件或多件事情之間的相似點，通常藉著一些相似案例的比較，了解或找出新奇狀況、想法或問題的重大特徵。
- 3.對話式推理 (dialogical reasoning)：考量不同的觀點或在多元參考架構中思考。對話式推理的另一種形式是辯證式推理 (dialectical reasoning)，即測試對立觀點的強弱。
- 4.推論式推理 (inferential reasoning)：連結兩個狀況而後得到結論，因為某事如何而導致此事如何。推論式思考有兩種形式：歸納思考是由特定的事例 (instances) 或證據而得到結論及通則；演繹思考是利用普遍的原理 (general principle) 或前提 (premises) 形成結論或解釋事例。
- 5.評價式推理 (evaluative reasoning)：根據一些外在判準去評斷想法、論點或知識主張的價值或品質。
- 6.統整式推理 (integrative reasoning)：把不同的資訊或知識來源組合成一個整體。

Hogan, Nastasi & Pressley (2000) 指出學生對於知識的觀點會引導科

學推理中的計畫、監控和評估等執行的過程，故學生個人知識觀點的標準對於進行科學推理有極為重要的影響。針對 12 個八年級學生進行訪談研究，並將學生回答的內容依科學推理的層級分為六種：

- 1.概述 (generativity)：學生以直覺的觀察結果或質樸的想法及主張等較低階的思考來說明待解答的現象。
- 2.精緻化 (elaboration)：能以科學的方式敘述待解答的現象，例如加入測量或估計的方式。
- 3.論證 (justification)：可分為「證據取向」及「推論取向」兩類來判斷待解答的現象。學生的每個想法若能運用越多的證據及推論來確認判斷，得分越高。
- 4.解釋 (explanation)：學生以作用機制來說明待解答的現象，採用的機制越多，得分越高。
- 5.邏輯演繹 (logical coherence)：學生對現象的論述中包含了判斷或解釋，這些論述並不嚴格要求概念的正確性，主要評斷學生所做的判斷及解釋，是否依照原先的前提和假設進行邏輯演繹而得。
- 6.綜合 (synthesis)：評斷學生如何在對現象的論述中，整合相反的觀點，它足以顯現出學生具有辯證思考等高階思考的能力。

Hogan 等人定義的推理層級若從 Driver 等人的認識論角度來看，概述和精緻化的能力相當於現象推理的層級，論證的能力則相當於關係推理的層級，解釋以上的能力則相當於模型推理的層級。本研究參考並簡化 Driver 和 Hogan 等人的推理層級分類，將學生在晤談與學習歷程中所運用的推理層級定為四級：

- 1.概述 (Generativity)：學生僅敘述現象的觀察或自己猜測的想法或主張等來解釋待解答的現象。
- 2.精緻化 (Elaboration)：學生能以科學的用語或操作方法來解釋待解答的現象，例如加入測量或估計的方式。
- 3.論證 (Justification)：在「證據取向」方面，學生能利用變因之間的關係來解釋現象；在「推論取向」方面，學生能利用簡單的線性因果關係來解釋現象。

4.解釋 (Explanation)：學生以類似科學模型的作用機制來說明待解答的現象。

(五) Keys 對推理技巧的研究

Keys (1995) 以社會建構論的角度研究學生合作進行科學寫作的情形，並從作品內容的模式 (pattern) 中整理出有用的推理技巧：

1. 評估科學現象的既有模型

- (1) 提出預測 (posing prediction)：以個人直覺觀念、先備知識或特定的資料中判斷未來事件可能的結果，在此過程中可以同時考慮多個預測的假設。
- (2) 評量預測 (evaluating prediction)：判斷自己或同儕提出預測的適切性。
- (3) 解釋—判斷預測 (explaining-justifying prediction)：以個人直覺觀念、先備知識或教科書上的資料，說明並判斷所提出的預測。

2. 針對科學現象產生新的模型

- (1) 評估觀察 (evaluating observations)：決定觀察目標的適切性和是否可由此觀察推導出結論。
- (2) 找出模式和特質 (identifying patterns and properties)：以模式 (pattern) 來表達觀察資料，將資料整理成為模式，指出資料中特定目標或符號的共通性。
- (3) 提出結論 (drawing conclusions)：說明科學事件的結果，並和原先預測的結果互相比較。
- (4) 形成模型 (formulating)：針對科學現象使用所有可能的資料來源 (包括直覺概念、觀察現象、先備知識及和同儕、教師的討論等) 建構並形成模型。

3. 擴展模型到新的情境

- (1) 推論 (inferring)：使用所有可能的來源將情境與科學現象建立連結。
- (2) 比較/對比 (comparing/contrasting)：運用言語比較兩個物體或現象間的相似或不同之處。

4. 支持其他形式的推理

(1) 討論概念意義 (discussing concept meaning)：參與討論以建構或澄清科學形式、物體、圖像或現象。

(2) 定義出相對訊息 (identifying relevant information)：從教科書、圖表、圖片或之前的作業中定位或回顧一些特定的訊息。

(六) Tytler 對推理的研究

Tytler 和 Peterson (2004) 針對國小學童的科學推理能力提出了四個不同的向度：本質的探索 (the nature of exploration)、知識處理過程的深度 (the depth of processing)、處理競爭知識回應的能力 (responses to competing knowledge claims) 以及變數的處理 (handling variables)。以晤談法研究結果顯示出兒童具有不同層次的科學推理能力，且在面對不同的科學任務時，會展現並使用不同的科學推理能力。他並進一步地指出兒童的科學推理能力與兒童是否能進行較為高層次的推理過程間有著緊密的關聯性。

不同推理型態能幫助學習者在科學學習探索目標上產生不同的意義，而且能從蒐集的證據中找到想法的關聯性，而形成知識競爭的論點。不同的推理模式暗示著不同變數觀點間的內在關聯性，變數的掌控與關聯性、概念性推理息息相關。因此教師可針對不同的科學概念採取適當的推理模式，並明確掌控變數以輔助學習者建立科學推理能力。

(七) Lawson 對科學推理的看法

Lawson, Abraham & Renner (1989) 提出學習環的三部分包括：描述 (descriptive)、經驗 - 誘導 (empirical-abductive) 和假設 - 推論 (hypothetico-deductive)，而每種學習環的型式可由低到高歸類成不同層級的科學推理模式，例如排序、分類、守恆為基本推理型式，若再結合控制變數、相關性、假設推論等便形成高階的推理型式。此外 Lawson (1992) 提及在課程中所包含的科學本質與學生推理能力之間的關聯性。當考量不同假設性的概念型式時，會呈現出多樣的心智基模能力，如控制變數、相關性、機率等的推理。學生若能培養到高階的科學推理

能力，便能輕而易舉的回答推理層級較高的相關問題。

測量學生推理能力的量化分析中，一般都採用 Lawson (1978, 1987, 1989, 2000) 發展的科學推理測驗 (Classroom Test of Scientific Reasoning) 來測量學生的科學推理技巧 (包括解釋、假設與驗證等)。但是就文獻探討中，可以歸納出影響學生推理能力的因素有：1. 年齡：Piaget 認為學生在不同的發展時期 (如具體運思期或形式運思期等)，推理能力亦不相同；2. 科學本質：不同假設性的概念形式時，會呈現出多樣的心智基模能力 (Lawson, 1992)；3. 學習背景 (Faulkner, Joiner, Littleton, Miell & Thompson, 2000)；4. 教學中的引導 (Vosniadou & Brewer, 1994)；5. 學生的知識觀點 (Hogan, *et al.*, 2000)；6. 根據不同類型的概念，使用不同的推理能力 (Tytler & Peterson, 2004)。因此學生的推理能力，除了科學推理技巧之外，還需考慮與學生學習相關主題的概念推理能力，故另設計遺傳單元主題相依測驗，其主要目的在於探討學生經過教學之後，是否會因為學生對於遺傳概念的瞭解，因而增進學生對該概念的推理能力。

三、科學推理在教學上的應用：

Browing 和 Lehman (1988) 利用推理模式針對國一學生進行生物單元中的演化和遺傳單元的研究，結果顯示形式推理 (formal reasoning) 的教學對減少生物學的另有概念是必須的。

Baker 和 Lawson (2001) 發現運用類比連結推理的教學策略能協助理論概念的建構，並成功應用於遺傳教學上。

Pallant 和 Tinker (2004) 運用分子動態模型促進他們對於物質的不同狀態間原子吸引力的推理能力，結果顯示教學前測有 54% 的學習者認為原子和分子的性質可用巨觀描述或不知道，但經過推理學習過程後僅剩 23% 有相同的錯誤概念；且從晤談中也發現 12 位學生中有 10 位能夠經由推理教學後，從物質不同狀態間的分子與分子密度的觀點來轉移其知識，並能對新的情境加以解釋。

Saayman (1991) 針對大一新生診斷其形式認知操作之科學推理能力，發現至少有 1/4 到 1/3 的學生可以理解組合性 (combinatorial) 和假

設性 (hypothetical) 的推理問題，而在比例性 (proportional) 和機率性 (probabilistic) 的推理問題上僅有 1/3 無法理解。另針對非主修科學的大學生探索科學推理中的假設性 (hypothetical) 測驗的能力，結果發現如果加入讓學生能夠使用未觀察的機制提出假設之教學策略，且能夠辨識學生所運用的技能，便可以證明假設性的推理模式於大學的科學教育中是可行的。

第四節 遺傳相關的教學研究

根據 Venville 和 Treagust (1998) 研究結果，十年級學生 (約 14-15 歲) 上完十週的遺傳課程之後，基因的心智模式改變的歷程如圖 2.4.1，顯示教學時若能提供合理、有用且豐富的訊息給學生，將會幫助他們獲得概念上的改變。

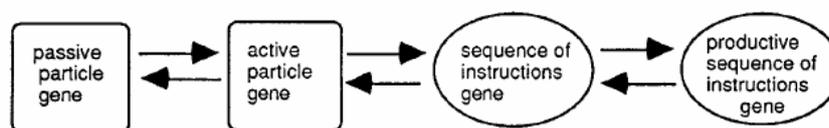


圖 2.4.1 基因的心智模式變化之路徑 (摘自 Venville & Treagust, 1998)

Venville 和 Treagust (1998) 整理出基因、染色體和 DNA 的另有概念為：

1. 存在每個人身上的 DNA 都是不同的。
2. 染色體、DNA 存在於血液或腦部。
3. DNA 會構成人類的身體構造。
4. 基因使我們成長。
5. 染色體組成基因。
6. DNA 是基因和染色體的科學用語。

Hernandez 和 Caraballo (1993) 針對 197 名非生物系大學生以診斷測

驗研究其對於孟德爾遺傳率和減數分裂的另有概念，發現 27.9% 的學生認為單套細胞進行減數分裂，雙套細胞進行授精作用；14.2% 的學生認為單套細胞染色體是奇數的；且孟德爾遺傳率的理解與數學成績呈顯著相關。

湯清二（1997, 2000）陸續針對 DNA、細胞分裂等主題進行中小學學生及非生物系大學生的另有概念及互動式多媒體教學研究，發現學生常見的另有概念包括：

1. 細胞分裂是指染色體數目的增加，減數分裂所指之「減數」為染色體數目減半。
2. 不知道哪些細胞行細胞分裂與減數分裂
3. 肌肉細胞不會行細胞分裂；精子與卵子也是由細胞分裂而來。
4. 一個細胞行減數分裂將產生一個子細胞。

楊坤原與張賴妙理（2000）以二階段式診斷測驗調查 1606 名國一學生在遺傳領域的另有概念，結果顯示國一學生在教學後，仍對細胞分裂的意義、減數分裂的過程、基因與性狀、同源染色體與雙套染色體的定義、染色體與 DNA 的關係及孟德爾遺傳法則等概念存有迷思。

張賴妙理等人（2001, 2003）針對國一學習者進行遺傳另有概念分析，發現以下的概念最不容易從一般的教學中得到正向的概念改變（從另有概念轉變為科學概念）：

1. 基因重組可能使子代產生與親代不同的遺傳性狀。
2. 依據子代表現型的比例，可以判定基因的顯隱性。
3. 生物體的每一個細胞（除了生殖細胞外）皆具有相同的遺傳基因
4. 親代的基因型決定子代的遺傳性狀的表現。

由上述文獻探討，我們可以發現國內外學生不論年齡大小（10~18 歲）對於精卵結合、胚胎發育過程、細胞分裂與減數分裂等概念，存在較多的另有概念，縱使已是大學生，仍無法清楚理解何謂減數分裂。顯示若牽涉到比較複雜、抽象的觀念時，例如：細胞分裂會產生的相同基因的細胞、減數分裂過程的基因重組、遺傳物質如何傳遞，及遺傳法則的規律，棋盤方格法和實際的遺傳過程間的關係等，單靠傳統的教學方式是沒有辦法讓學生建構出科學的遺傳概念。

Lawson (1992) 指出，基因概念是建構遺傳學抽象假設性推論概念系統的基礎。Baker 和 Lawson (2001) 發現運用類比結合推理的教學策略能協助理論概念的建構，並成功應用於遺傳教學上；且推理能力的高低顯然較類比的使用與否對於成就表現上有較大的影響。顯示遺傳是屬於理論的抽象概念，需要解由類比教學來協助其具體化，但仍需配合推理的技巧訓練，才能有效達到概念改變的目標。

Tang 等人 (2005a) 研究發現 DSLM 教學模式針對學習者的另有概念，及學生建構科學概念所欠缺的心智架構設計概念改變教學，應用在「細胞分裂與減數分裂」的成效顯著，且能建構完整的「細胞分裂與減數分裂」概念，有助於學生改變其另有概念，並增進對遺傳概念的理解。

綜合以上所述，若要運用雙重情境學習模式來進行概念改變的教學，遺傳概念的層次性、複雜度皆高，需要一系列相關的情境學習事件才能將此概念說明清楚，故本研究將遺傳單元切割成四個子單元主題，從「遺傳的概念」、「細胞分裂與減數分裂」、「遺傳法則及棋盤方格法」與「突變」，由淺至深、緊密相關地進行教學，期望能夠讓學生建構完整的遺傳概念。另結合類比教學、科學推理的訓練，希望學生能夠有效進行另有概念的轉變，以協助遺傳概念的學習。

第三章 研究方法

本研究是運用雙重情境學習模式結合類比教學與科學推理，協助國中一年級學生建構「遺傳」的概念，並對其另有概念進行概念改變，研究採用準實驗設計的方法進行。本章內容以研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計及資料的收集與分析等分別加以敘述與說明。

第一節 研究對象

本研究以新竹縣某國民中學一年級未曾學過「遺傳」單元概念的三個班級學生為對象，學生人數共 98 人，分班方式為常態編班。研究者為具有多年教學經驗之自然與生活科技領域教師。

本研究中所有學生皆採用科學推理結合雙重情境學習模式，在專科教室內利用多媒體簡報方式進行互動式教學。

第二節 研究設計

本研究採用準實驗設計法，以三個國中一年級的班級作為研究對象 (N=98)。研究的自變項為自然科學業成績分組與科學推理分組，依變項為遺傳概念成就測驗、主題相依推理測驗、科學推理測驗、晤談結果分析及遺傳概念學習歷程等，研究架構如圖 3.2.1。

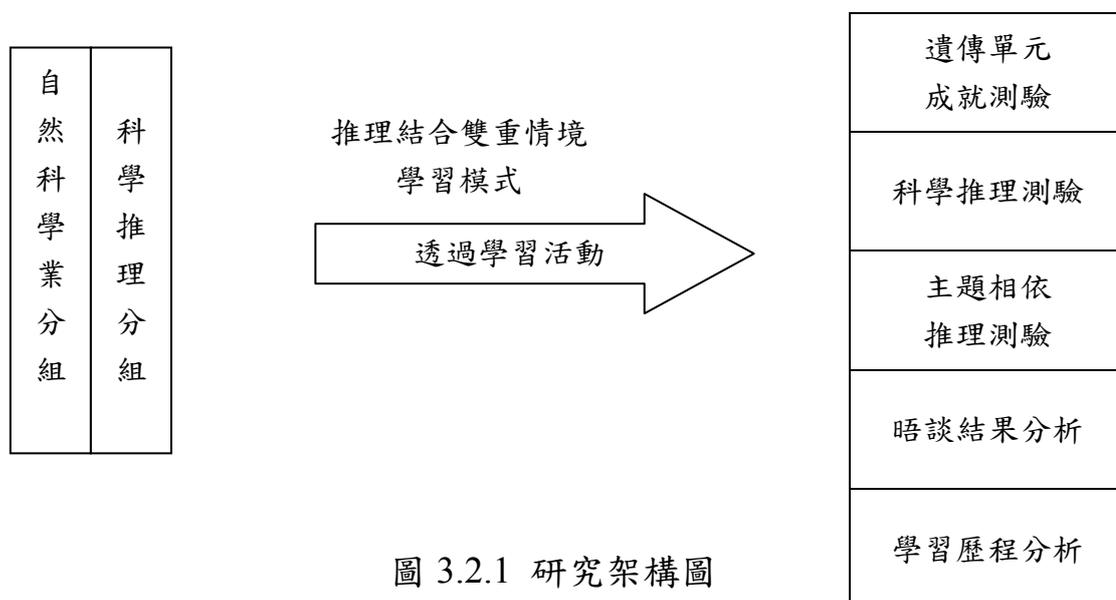


圖 3.2.1 研究架構圖

一、自變項：為不同的自然科學業成就分組與科學推理分組。

自然科學業分組是以學生在九十三學年度第一學期三次段考的自然科平均成績為依據，75分（全體學生的平均分數前 1/3）以上稱為自然科成就高分組、54分（全體學生的平均分數後 1/3）以下稱為成就低分組，介於中間者則為成就中分組。分組人數如表 3.2.1。

科學推理分組是依照科學推理測驗前測成績為依據，將學生分成具體運思前期（成績為 1~2 分）、具體運思後期（成績為 3~4 分）與轉變期（成績為 5 分以上）。但因轉變期的人數過少（全部學生中僅有 8 人），不具有有效性，故併入具體運思後期中進行討論。分組人數如表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 學業成就分組與科學推理分組人數一覽表

各分組類別變項	推理結合雙重情境學習 模式教學之學生
自然科學業成就分組	
低分組	24 人
中分組	38 人
高分組	36 人
科學推理分組	
具體運思前期	70 人
*具體運思後期	28 人

註：*具體運思後期中也包含了轉變期的學生。

二、依變項：本研究的依變項為學生的「遺傳單元成就測驗」、「科學推理測驗」和「遺傳單元主題相依推理測驗」之前測、後測與追蹤測成績、晤談結果分析及遺傳概念學習歷程。

依據自然科學業成績，於成就高分組、中分組和低分組各選取二名學生（男女各一位）進行晤談，全程錄音並轉成逐字稿後，再依序繪成語意流程圖（flow map）的形式，以便進行概念數、正確概念數、概念改變量及推理層級（G、EL、J、EX）之分析，探討學生在教學前、後的概念改變歷程及對於推理層級的影響。

在概念改變的歷程分析方面，採用學生在進行推理結合雙重情境學習

模式教學時，對學習事件前後與挑戰題之答案和理由，以路徑分析的方式探討學生在進行學習事件前後概念的改變成效，及其推理能力之變化。

第三節 研究流程

研究流程分為三階段，依序為研究準備、概念改變教學及資料分析三階段。

第一階段：確立研究目的與問題之後便進入研究準備階段，工作項目有蒐集相關文獻及測驗工具的內容設計，並以同校同年級之大樣本的施測進行信度分析，完成具有信效度的相關測驗。同時並進行雙重情境學習模式前三階段之分析。

第二階段：概念改變教學階段，這一階段最大的特色在於設計出符合雙重情境學習模式之教材，並在教學過程中結合科學推理的訓練，讓學生進行遺傳單元概念改變之學習。

第三階段：資料分析階段則是將研究期間所蒐集到的所有資料進行彙整分析與結論報告。研究流程如圖 3.3.1：

階段流程	工作細項
研究準備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蒐集相關文獻及設計建立具有信效度之相關測驗。 2. 研究工具設計。 3. 進行雙重情境學習策略前三階段之分析
↓	
概念改變教學	<ol style="list-style-type: none"> 1. 教學設計（雙重情境學習活動內容及學習單設計） 2. 教學前測（進行遺傳單元成就測驗、主題相依推理測驗、科學推理測驗前測及訪談） 3. 實際教學與遺傳概念改變歷程測驗（進行六週的教學） 4. 教學後測（實際教學後一週進行遺傳單元成就測驗、主題相依推理測驗、科學推理測驗後測及訪談） 5. 追蹤測驗（實際教學後五週進行遺傳單元成就測驗、主題相依推理測驗及科學推理測驗追蹤測驗及訪談）

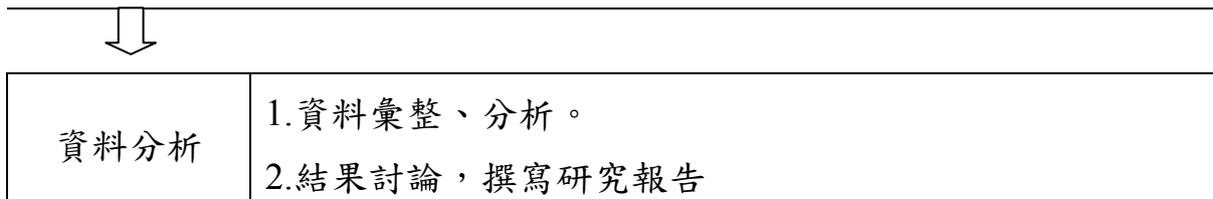


圖 3.3.1 研究流程圖

第四節 研究工具

本研究運用的工具有遺傳概念成就測驗、科學推理測驗、主題相依推理測驗、晤談題目與遺傳概念改變歷程學習單等。

一、遺傳概念成就測驗

由三位自然與生活科技領域教師依據教材內容共同編寫出認知測驗題目共四十題（參見附錄二），並由一位科學教育專家檢驗，以求其專家效度。題目型式採單一選擇題，用以檢核學生在「遺傳」單元的學習成效。此試卷於九十三學年度下學期遺傳單元課程教學前（前測）、教學結束後一週（後測）及教學結束後五週（追蹤測）時施測同年級六個班級的學生，共 197 人。整體試卷以 Cronbach's α 值求其信度，得前測信度為 0.58，後測信度為 0.91，追蹤測信度為 0.89。

二、科學推理測驗

本測驗依據 Lawson (1978, 1987, 1988, 1989, 2000) 所發展的「Classroom Test of Scientific Reasoning」加以翻譯修訂而成「科學推理測驗國中版」（參見附錄三）。由三位自然與生活科技領域教師共同將英文試題翻譯成中文，再由兩位科學教育專家翻譯成英文與原試題進行效化檢驗。此試卷於九十三學年度下學期「遺傳」單元教學前（前測）、教學結束後一週（後測）及教學結束後五週（追蹤測）時施測同年級六個班級的學生，共 197 人。整體試卷以 Cronbach's α 值求其信度，得前測信度為 0.67，後測信度為 0.68，追蹤測信度為 0.71。

依科學推理能力的發展，題目主題依序為：

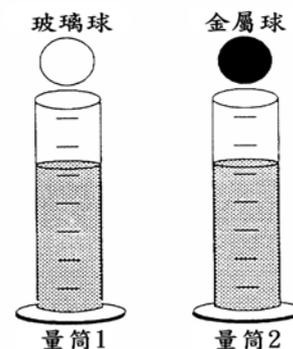
1. 質量守恆 (conservation of weight)

2. 置換體積守恆 (conservation of displaced volume)
3. 比例 (proportional thinking)
4. 進階比例 (advanced proportional thinking)
5. 辨識並控制變因 (identification and control of variables)
6. 辨識並控制變因、機率 (identification and control of variables and probabilistic thinking)
7. 辨識並控制變因、機率 (identification and control of variables and probabilistic thinking)
8. 機率 (probabilistic thinking)
9. 進階機率 (advanced probabilistic thinking)
10. 關聯性思考, 比例和機率 (correlational thinking includes proportions and probability)
11. 假設演繹思考 (hypothetico-deductive thinking)
12. 假設演繹推理 (hypothetico-deductive reasoning)

以下舉出一個例題加以說明, 如表 3.4.1:

表 3.4.1 科學推理測驗例題

2-1. 在右圖中有兩個量筒注滿了相同高度的水, 兩個量筒的形狀與大小皆相同。在右圖中, 有兩個小球, 一個是玻璃製的, 另一個是鐵製的。兩個球體形狀相同, 但是鐵球的重量比玻璃球還要重。把玻璃球放入量筒 1 後, 發現玻璃球沈到量筒的底部, 然後發現量筒的水位上升到刻度 6 的位置。假如我們將鐵球放入量筒 2 後, 請問水面會上升到哪個刻度?



- (1) 與量筒 1 的水位高度相同(刻度都是 6)。
- (2) 比量筒 1 的水位還要高(比刻度 6 還要高)。
- (3) 比量筒 1 的水位還要低(比刻度 6 還要低)。

2-2. 你所根據的理由是:

- (1) 因為鐵球沈到量筒底部的速度較快。
- (2) 因為兩個球狀物是不同的材質所製成的。
- (3) 因為鐵球的重量比玻璃球的重量還要重。
- (4) 因為玻璃球所造成的壓力比較小。
- (5) 兩個球的體積相同。

測驗題採兩階層式選擇題，第一層依題意回答可能的現象或觀察結果，第二層回答推理的依據。需兩階層均答對才獲得分數。本研究在比例、假設演繹思考、假設演繹推理等主題各加入一題，故總分為 15 分。

三、遺傳單元主題相依推理測驗

由三位國中自然與生活科技領域教師依據遺傳單元課程內容及國中學生常見的遺傳另有概念，共同整理編寫三十三個遺傳主題相依推理測驗題組（參見附錄四），並由一位科學教育專家檢驗，以求其專家效度。用以檢核學生是否具備正確且完整的遺傳相關推理概念。題目型式為兩階層式選擇題，第一層題目為學生可能具有的另有概念，第二層題目則為以上一層題目進行科學推理後所得到的理由或證據，兩階層題目均答對才算得分。於九十三學年度下學期遺傳單元課程教學前（前測）、教學結束後一週（後測）及教學結束後五週（追蹤測）時施測同年級六個班級的學生，共 197 人。整體試卷以 Cronbach's α 值求其信度，得前測信度為 0.84，後測信度為 0.93，追蹤測信度為 0.88。茲整理各項測驗各次的信度值於表 3.4.2：



表 3.4.2 各項測驗信度值

信度值 (Cronbach's α)	前測信度	後測信度	追蹤測信度
單元成就測驗	0.58	0.91	0.89
科學推理測驗	0.67	0.68	0.71
主題相依測驗	0.84	0.93	0.88

四、遺傳概念改變歷程

由三位任教多年的生物科系畢業之自然科教師共同討論學生可能具有的另有概念，並經由文獻探討，共同設計二十五題遺傳概念改變歷程學習事件（詳見附錄一），讓受測者分別在教學前、後作答，且在作答每一題時，必需先選擇第一層的答案選項並寫出選擇的理由與想法，然後在第二層選出和想法最接近的理由。藉由受測者教學前後的回答了解其

每個情境事件中概念建構與改變的歷程，並要求受測者回顧兩次的答案與理由，若有改變則提出解釋，以觀察其推理過程。問題型式舉例如表 3.4.3：

表 3.4.3 遺傳概念改變歷程學習事件舉例

★教學前問題：

有一隻剛出生的小鴨被綁架了，兇手在現場留下血跡，經分析細胞構造圖如下，有四種動物具有嫌疑，你認為兇手是哪一種？

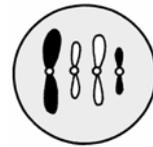
- (A) 有四條染色體的動物 (B) 有六條染色體的動物
(C) 有八條染色體的動物 (D) 以上生物皆有可能。

➤你的答案是_____。

你的理由是？_____。

☆你的理由和下列哪一個最接近？

- (1) 同種生物具有相同數目的染色體。
(2) 染色體數目越少的生物越低等。
(3) 無法由染色體數目來判斷。
(4) 染色體數目越多，體型越大，越有機會成為兇手。



★教學後問題：

有一隻剛出生的小鴨被綁架了，兇手在現場留下血跡，經分析細胞構造圖如下，有四種動物具有嫌疑，你認為兇手是哪一種？

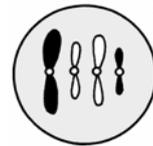
- (A) 有四條染色體的動物 (B) 有六條染色體的動物
(C) 有八條染色體的動物 (D) 以上生物皆有可能。

➤你的答案是_____。

你的理由是？_____。

☆你的理由和下列哪一個最接近？

- (1) 同種生物具有相同數目的染色體。
(2) 染色體數目越少的生物越低等。
(3) 無法由染色體數目來判斷。
(4) 染色體數目越多，體型越大，越有機會成為兇手。



◎如果後來的理由和原來的不一樣，

請問讓你改變答案的原因是：_____

五、晤談題目

為深入探討學生學習遺傳單元另有概念的改變、正確概念的建構與呈現認知結構及推理能力之增進，研究者在每一子單元設計相關的概念性

問題（參見附錄五），根據學業成就分組於高、中、低分組中各挑選 1 位男生和 1 位女生，共 18 位學生在教學前、後與追蹤進行每次約 20-40 分鐘的訪談。將訪談內容錄音並轉成逐字稿，再整理成流程圖（flow map）的形式，以便進行概念改變及推理能力的研究。

第五節 教學設計

研究者採用余曉清（She, 2002, 2003, 2004a, 2004b）發展出的雙重情境學習模式（Dual situated learning model, DSLM）結合推理與類比教學而設計出遺傳單元概念改變的教學活動。各階段敘述如下：

階段一：分析科學概念屬性。依據國立編譯館九十學年度出版的教科書內遺傳相關內容分析，欲建構完整的遺傳概念，需擁有的心智架構整理如 3.5.1：

表 3.5.1 建構遺傳概念需要擁有的心智架構列表

主題一 遺傳概念
1.遺傳的意義與目的。(抽象)
2.遺傳物質(DNA、染色體和基因)彼此間的關係與功能、所存在的位置。(微觀、抽象)
3.染色體數目、對數及套數的判斷。(微觀、抽象)
主題二 細胞分裂與減數分裂
1.細胞分裂和減數分裂的目的及過程。(微觀、抽象、動態)
2.比較細胞分裂與減數分裂的異同。(微觀、抽象、高階層)
3.減數分裂所形成的配子具有不完全相同的遺傳物質。(微觀、抽象、高階層)
主題三 孟德爾遺傳法則與棋盤方格法
1.顯性和隱性基因的定義。(抽象)
2.減數分裂和孟德爾遺傳法則的連結。(抽象、動態)
3.基因型和表現型的意義。(抽象)
4.棋盤方格法的原理與應用。(物質)
主題四 突變
1.突變的定義與原因。(抽象)
2.自然突變與人為誘變產生原因與相關疾病。(物質)

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念。文獻研究分析顯示學生對遺傳常有以下幾個另有概念整理於表 3.5.2：

表 3.5.2 學生常見遺傳的另有概念列表

主題一 遺傳概念
1.遺傳上父母親對後代的貢獻不同。 2.遺傳物質存在血液或大腦內。 3.基因與染色體的關係。 4.染色體「套數」的定義。
主題二 細胞分裂與減數分裂
1.不知道細胞分裂和減數分裂的目的。 2.不清楚細胞分裂和減數分裂時染色體的變化情形。
主題三 孟德爾遺傳法則與棋盤方格法
1.不瞭解孟德爾遺傳法則的意義。 2.無法判斷顯性和隱性基因。 3.不瞭解比例、機率的意義。 4.無法理解基因型和表現型的對應關係。
主題四 突變
1.突變可能因營養不良或疾病所造成。 2.突變會隔代遺傳。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。比較科學概念與學生的另有概念，我們可以發現學生缺乏的心智架構有：

表 3.5.3 學生缺乏遺傳的心智架構列表

主題一 遺傳概念
1.遺傳的意義與目的。 2.遺傳物質存在的位置、彼此間的關係。 3.染色體的「對數」與「套數」判斷。
主題二 細胞分裂與減數分裂
1.細胞分裂和減數分裂的目的。 2.細胞分裂和減數分裂的過程變化。 3.比較細胞分裂與減數分裂的異同。
主題三 孟德爾遺傳法則與棋盤方格法
1.孟德爾遺傳法則和減數分裂的概念連結。 2.顯性和隱性基因的定義。

3.機率在遺傳學上的應用。

主題四 突變

1.造成突變的原因。

2.自然突變與人為誘變的原因與相關疾病。

階段四：設計雙重情境學習事件。依據學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，研究者所設計的一連串遺傳主題情境學習事件整理如表 3.5.4：

表 3.5.4 遺傳主題的情境學習事件整理

主題一 遺傳概念
1.遺傳的意義。 2.遺傳物質存在的位置和彼此的相互關係。 3.同種生物的染色體數目相同。 4.同源染色體的定義。 5.套數的觀念。
主題二 細胞分裂與減數分裂
1.有性生殖的過程。 2.細胞分裂的意義。 3.細胞分裂的過程。 4.減數分裂的意義。 5.減數分裂的過程。 6.減數分裂和細胞分裂的比較。 7.減數分裂產生的配子會有不同的基因組合。
主題三 孟德爾遺傳法則與棋盤方格法
1.基因的顯隱性定義。 2.基因型和表現型定義。 3.成對基因由親代雙方共同提供。 4.瞭解分離律及平均分配率的含意。 5.將分離律和棋盤方格法結合。 6.熟悉與應用棋盤方格法的比例。
主題四 突變
1.突變的意義。 2.造成突變的原因（自然突變與人為誘變）。 3.突變與遺傳疾病之關係。

階段五：進行雙重情境學習模式的教學：研究者以問題引導、實物類比、模擬動畫、概念探究等活動事件交替進行，並加上教師的輔助說明，在二十堂課時間內完成整個概念改變教學的學習活動。每一情境主題事件皆以問題引導（依據學生常見的原有概念所設計）展開序幕，讓學生提出自己的概念詮釋，再藉由實物類比、模擬動畫、概念探究等活動事件引發學生的不平衡，同時讓學生親自體驗、思考、探究且進行類比推理，並導入學生所缺少的心智架構，讓學生自行建構出接近科學觀點的概念。為了解學生在教學活動中概念改變的過程，一次只出現一個問題，且同樣的問題在情境事件開始與結束時都會提問一次，然後再依據兩次回答的不一致性提出合理的解釋。

階段六：挑戰情境學習事件教學。完成每一概念的所有情境事件教學後，便進入挑戰情境學習事件，設計於每一主題的概念結束或教學最後，目的是讓學生藉由挑戰相關情境以檢測學生的概念是否真的經由此學習情境而改變。



第六節 資料蒐集與分析

本研究期間所蒐集的資料包括遺傳單元成就測驗成績、科學推理測驗成績、遺傳單元主題相依推理測驗成績、遺傳單元概念改變歷程測驗及訪談資料等。

當測驗結束後，隨即進行資料的整理與分析，有關於多種測驗的數據資料分析主要是以SPSS 10.0 套裝軟體進行統計分析，晤談內容分析是將錄音檔轉化為文字資料，以語意流程圖的方式呈現，再探討受訪者的概念數、正確概念分數、推理層級及概念改變量之變化情形，而遺傳概念改變的歷程分析，是由研究者將受測者所選擇的答案及理由逐題進行統計分析，另針對填寫開放式理由與改變答案的解釋，進行分類彙整及探討。

一、遺傳單元成就測驗：以遺傳單元成就成績（前測、後測與追蹤）為變數，進行重複量數分析，比較自然科學業成績分組（高、中、低成就）與科學推理分組（具體運思前期、具體運思期、轉變期）的成績表現有何差異。

二、科學推理測驗：以科學推理成績（前測、後測與追蹤）為變數，進行重複量數分析，比較自然科學業成績分組（高、中、低成就）與科學推理分組（具體運思前期、具體運思期、轉變期）的成績表現有何差異。

三、遺傳單元主題推理測驗：以遺傳單元主題相依推理成績（前測、後測與追蹤）為變數，比較自然科學業成績分組（高、中、低成就）與科學推理分組（具體運思前期、具體運思期、轉變期）的成績表現有何差異。

四、遺傳概念轉變的晤談分析：挑選不同學業分組的學生進行晤談，先以錄音檔儲存每位學生的晤談內容，再轉譯成文字進行質化分析，藉以深入了解學生在學習遺傳概念上的認知轉變，並運用語義流程圖（flow map）（Anderson & Demetrius, 1993）依序呈現出教學前、後與追蹤時學生的概念數、正確概念分數、概念改變量及推理層級的情形。圖 3.6.1 表示語意流程圖的範例，其中每個方框代表一個概念數，為晤談內容中所呈現的概念數目；正確概念分數則依據每個概念的內容給予「全對」（2 分）、「半對」（1 分）及「錯誤」（0 分）。實線代表回答的概念順序，虛線則代表有概念改變的連結數，依教學前至教學後、教學後至追蹤兩部分，將連結方式分為「維持：全對至全對」、「進步：半對至全對、錯誤至全對與錯誤至半對」、「維持：半對至半對、錯誤至錯誤」、「退步：全對至半對、全對至錯誤與半對至錯誤」等類型，以便探討學生在教學前、教學後、追蹤時的概念改變量。學生回答的敘述後（）內的文字代表每個概念中所包含最高的推理層級和理由個數，其中推理層級類型依據 Hogan 等人（2000）所提出的分類方式再加以修正，在本研究共分成下列四種層級類型：

1.概述 (Generativity, G): 對自然現象作直觀的描述或以質樸概念來回答。概述 (G) 又可細分為 G_0 、 G_1 和 G_2 。 G_0 表示學生的回答中完全不包含任何和問題相關的論述，或無法分辨其含義， G_1 是學生僅運用一個簡單概述， G_2 是同時運用了二個以上概述。

例如：(1) 不知道、我忘記了。(G₀)

(2) 細胞由一個變成兩個。(G₁)

(3) 遺傳應該是把上一代的東西像外型、容貌保留給下一代。
(G₂)

2.精緻化 (Elaboration, EL): 學生能以正確科學術語、或科學方法如運用測量、估計、數字關係等，對問題相關的現象進行說明。精緻化 (EL) 可細分為 EL1 和 EL2。EL1 是學生僅運用一個精緻化的說明，EL2 是運用二個以上精緻化的說明。

例如：(1) 受傷的時候要進行細胞分裂，替補壞死的細胞。(EL1)

(2) 染色體會先複製，再分裂一次，數目和原本的一樣。(EL2)

3.辯證 (Justification, J): 在「證據取向」方面，學生能利用實驗變因和結果之間的關係來說明現象；在「推論取向」方面，學生能利用簡單的線性因果關係演繹推論來解釋現象，分為 J1 和 J2。J1 是學生運用了一個判斷的說明，J2 是二個以上判斷的說明。

例如：(1) 細胞分裂時，染色體會先複製一次，然後分裂，產生的兩個新細胞中的會有數目相同的染色體。(J1)

(2) 因為染色體在複製的時候，上面帶的基因有些是顯性、有些是隱性，在分裂的時候隨機分配到細胞裡面，所以分裂出來的四個子細胞所帶的基因都不一樣。(J2)

4.解釋 (Explanation, EX): 學生以類似科學模型或遺傳過程機制，做為推理的依據，來說明待解答的現象。分為 EX1 和 EX2，EX1 是學生運用了一個解釋來說明，EX2 是運用二個以上解釋來說明。但因學生程度所限，在本研究中最高只能達到 EX1。

例如：染色體複製一次，然後分裂兩次。第一次分裂的時候是同源染色體分離，第二次分裂是複製的染色體分離，最後分裂出來的是不

成對的 23 條染色體。(EX1)

如果學生提出的論述中同時包含了不同層級的推理論述，則以提出論述中所達到最高的層級為準。而概念數與推理層級中 G、EL、J、EX 的評分者間一致性分別為：0.89、0.88、0.85、0.82、0.83。

舉例說明如圖 3.6.1，在方框中「遺傳物質有遺傳身體長什麼樣子的，然後會長多大，或者跟細胞核一樣圓圓的吧，圓圓的裡面有很多的遺傳物質」為一個概念數，且因為內容不完全正確，所以正確概念分數為「半對」(1 分)。雖然敘述的很多，但因為只有運用一個科學術語「細胞核」，故推理層級達到精緻化，因此為 EL1。而在圖中的虛線 A 表示從教學前至教學後的概念改變量，連結方式類型為「進步：半對至全對」；虛線 B 則表示從教學後至追蹤的概念改變量，連結方式類型則為「維持：全對至全對」。



班級座號：10619
 學生程度：03
 主題名稱：01
 題目代號：02

遺傳物質包括哪些？它們
 存在於身上的何處？
 遺傳物質具有什麼功能？

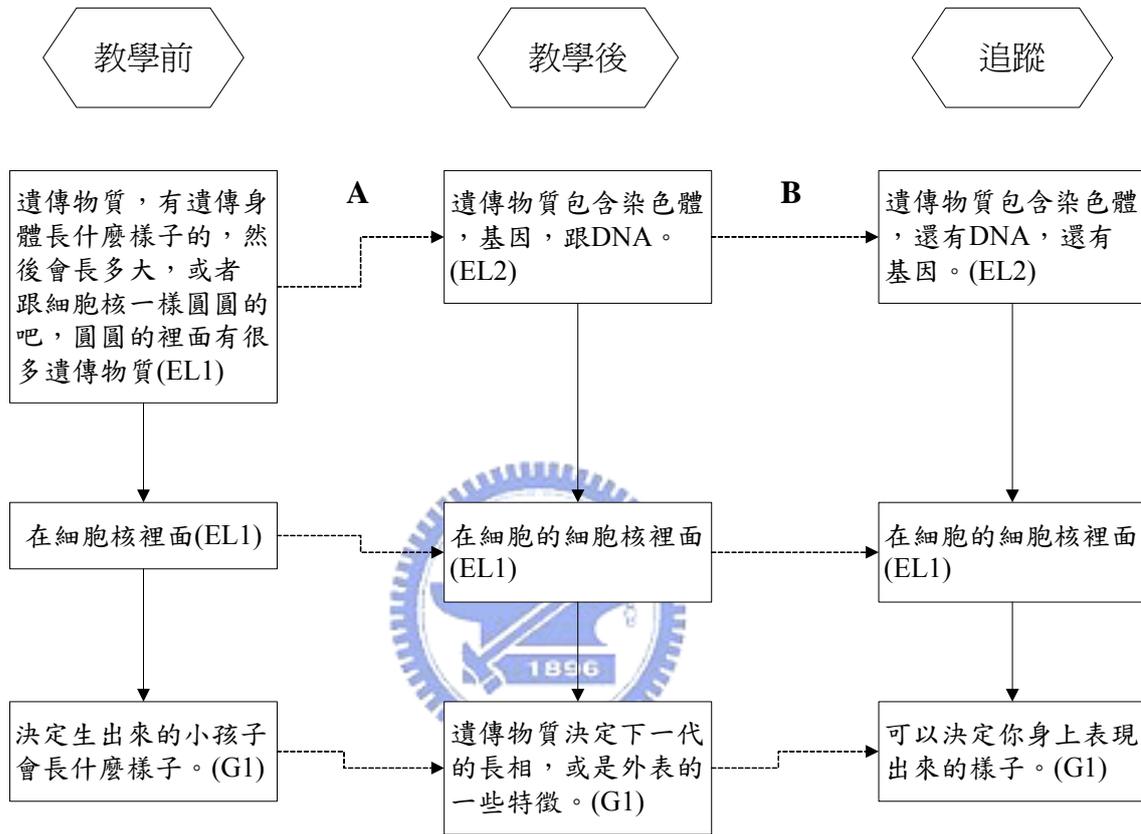


圖 3.6.1 語意流程圖 (Flow map) 範例

五、遺傳概念改變歷程：學生進行推理結合雙重情境學習模式學習事件或挑戰題時，包括選項式回答（答案、理由）與開放式的理由作答情形，將質性結果分類以進行量化統計。並以修正Hogan等人（2000）的推理層級類型，包括概述（G）、精緻化（EL）、辯證（J）、解釋（EX）等進行教學事件前後推理層級的歷程分析。如學生回答的理由類型為EL2，其推理層級為精緻化，理由說明有2個以上。（「1」表示只有1個理由、「2」為2個理由以上）。而推理層級中G、EL、J、EX的評分者間一致性分別為：0.88、0.84、0.85、0.82。之後並針對教學事件前後的概念改變成效與推理層級變化進行分析與比較。