



高一學生遺傳學解題表現與 解題策略之研究

楊坤原¹ 鄭湧涇²

¹ 私立中原大學 教育學程組

² 國立台灣師範大學 生物學系

(投稿日期：85年8月7日，接受日期：86年12月23日)

摘要：本研究依台北地區395名高一學生在「遺傳學學習成就測驗」的評測結果，從中選出10位具不同遺傳學學習成就的學生，以放聲思考的方式進行「遺傳學解題測驗」。經原案分析後，探討其遺傳學解題表現、解題策略及其在解題過程所出現之遺傳學迷思概念。

研究結果顯示，遺傳學學習成就較好的學生其遺傳學解題表現與解題策略均較學習成就較差者為優。解題表現較好的學生所使用的解題策略屬推理取向，其領域一般性解題策略包括：「轉移」、「驗證假說」、「先考慮最簡單的情形」與「回溯檢查」等項，而領域專門性解題策略則有：「能辨識遺傳學上的比例關係」、「正確設計基因型」等項。解題表現較差者傾向於使用目標導向的解題策略，未能使用如解題表現較好者之領域一般性解題策略。其領域專門性解題策略包括：「使用不同符號代表同一基因型」、「符號的意義產生混淆」與「使用錯誤的遺傳學詞彙」等項；其所出現的迷思概念主要在「機率在遺傳學上的應用」、「性聯遺傳」與「基因型設計」等方面。高一學生的遺傳學解題模式與教科書中所介紹的內容，大致相似。

關鍵詞：高級中學；遺傳學知識；遺傳學解題表現；遺傳學解題策略。

壹、緒論

一、研究背景與重要性

問題解決 (Problem solving, 簡稱解題) 是人類每天生活的重心。若依訊息處理理論 (Information processing theory) 為基礎之認知心理學的主張, 解題能力是智力中很重要的一種成分 (Holyoak, 1990)。解題與科學過程技能有密切的關係, 是促進科學理論發展的動力 (Holyoak, 1990; Stewart & Hafner, 1991)。在 Gagne (1985) 所列舉之學習階層中, 解題屬最高階層, 是一個涉及知識與策略之使用的綜合表現。就教育的層面而言, 解題可提供學生作為其重建知識內容與檢驗學習成果的方法, 故學生之解題技能的培養是課程與教學的重要目標之一 (Champagne, 1988; Helgeson, 1994)。因此, 在各樣科學學習成就的評量方法中, 解題是頗值採行的一種 (Shavelson, Carey & Webb, 1990)。

根據訊息處理論與建構論 (Constructivism) 的學習觀, 「學習」的意義是指學習者自行掌控內在知識結構改變的歷程。(Stewart & Atkin, 1982; Driver & Bell, 1986; Glynn, Yeany & Britton, 1991)。從晚近許多科學解題的研究顯示, 特定學科的專家與生手解題表現的差異, 係因二者在知識結構、解題策略與後設認知 (Metacognition) 等方面的不同所致 (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Smith & Good, 1984; Smith, 1991)。由此可見, 訊息處理的歷程與結果, 實為決定解題成敗的關鍵。鑑於高層思考 (High order thinking) 技能與包括科學概念、科學方法等之科學素養的培育, 正為現今中外科學教育學者所一致強調的目標 (Uno & Bybee, 1994; 行政院國家科學委員會, 1993), 因此, 若能以解題作為教學、學習與評量的主要方式, 不但能反映出學習的內在歷程, 更能迎合當前與未來科學教育發展的趨勢。

雖然國內外的中學教師大都認為遺傳學是生物學中最重要、也是學生學習最感困難的一個單元 (Finley, Stewart & Yarroch, 1982; Smith, 1991; 黃台珠, 1990), 但與其他科學學科相較之下, 生物學 (遺傳學) 解題之研究為數仍不算多 (Garrett, 1986)。由於遺傳學是學習其他生物學知識的基礎, 亦可幫助學生解決未來因生物技術的進步所可能衍生之社會倫理方面的問題, 故遺傳學的學習具有實質的必要性 (Stewart & Kirk, 1990; Mertens & Hendrix, 1990)。

遺傳學解題的基礎研究尚處於方興未艾的階段。有鑑於此，本研究乃在訊息處理理論與建構論構築而成的理論基礎上，針對我國高一學生之遺傳學知識與解題表現、解題策略的關係作一較為深入的探討。

二、研究目的

本研究旨在探討不同遺傳學學習成就（遺傳學知識）的高一學生之遺傳學解題表現與解題策略的差異，及其在解題過程所出現之遺傳學迷思概念。同時，在分析與整理所有解題者的解題歷程後，並嘗試建立高一學生遺傳學解題之模式。

貳、文獻探討

一、人類訊息處理的歷程

自 Atkinson 和 Shiffrin 於 1968 年提出訊息處理的模式之後，陸續有許多學者也以其主張，發表相似的模式來解釋人類訊息處理系統運作的歷程 (Atkinson & Shiffrin, 1968; Gagne, 1985; Gagne, Yekovich & Yekovich, 1993)。在綜合各學者的模式後發現，基本上，人類的訊息處理系統包括受器 (Receptors)、感覺記錄器 (Sensory register)、短期記憶 (Short-term memory，或稱工作記憶，Working memory)、長期記憶 (Long-term memory)、反應產生器 (Response generator) 與動作器 (Effectors) 等部份。

當學習者藉其各種感官（受器）自外界環境接受訊息後，外來訊息會先暫存於感覺記錄器中。而後學習者乃以其既存的訊息為基礎，從所收到的訊息中加以注意並選出所要的部份送到短期記憶中，在此進行新、舊知識的編碼與組織，最後則將處理後的訊息置於長期記憶中加以儲存，成為一個人的知識系統。長期記憶中的訊息是學習者日後學習其他訊息的基礎，必要時可經由檢索 (Retrieval) 再回到短期記憶以供使用。訊息處理的結果由反應產生器加以組織，再由動作器表現出適當的行動。整個訊息處理過程的每一步驟，均受控制過程 (Control processes，即後設認知，Metacognition) 所監控 (Gagne et al., 1993)。

二、知識與解題的關係

在解題的研究中，「問題」(Problem) 通常是指目標和現況間出現不能立即獲得解答的狀態 (Hayes, 1989; Gagne et al., 1993)。基本上，問題是由「問題

空間」(Problem space)所組成。學者指出，問題空間是由初始狀態(Initial state)、目標狀態(Goal state)、操作子(Operators)與一些限制條件(Constraints)所組成。解題是學生在給定的限制條件下，運用解題策略，從初始狀態過渡到目標狀態的過程。根據 Gagne *et al.* (1993) 的看法，解題過程涉及問題表徵(Representation)、知識轉變與解法評估等認知過程。Hayes (1989) 則舉出，解題過程的順序依次為：發現問題、問題表徵、計畫解題方法、實行解題計畫和評鑑答案。Mayer (1992) 則認為解題過程可分為問題表徵與解決問題兩階段。從以往的研究發現，在解題的過程中，解題者必須視問題狀態的變化，隨時修正其對問題狀態的表徵，選擇合適的領域一般性(Domain-general)和領域專門性(Domain-specific)的解題策略以克服障礙，達成目標(Gagne *et al.*, 1993)。

幾乎各學科領域的解題研究者均指出，由於解題者所具備的知識（尤其是「領域專門性知識」，Domain-specific knowledge）涉及到其在表徵問題的正確性、搜尋問題空間之有效性與使用解題策略的適切性，因此，結構化的知識可說是思考的基礎，也是決定解題成敗的關鍵(Newell & Simon, 1972; Chi *et al.*, 1981; Chi & Glaser, 1985; Chi & Ceci, 1987; Hayes, 1989; Ornstein, 1990; Smith, 1992; Gagne *et al.*, 1993)。從許多專家與生手的解題表現之差異，亦可發現知識對解題的影響。一般而言，專家由於具備良好品質知識，故能根據學科知識來表徵問題。其所作的解題計畫較適切，多採「知識發展」的解題策略，過程所犯錯誤較少，且具備自我監控的後設認知技能(Chi *et al.*, 1981; Chi, Glaser & Rees, 1982; Larkin, 1983; Smith & Good, 1984; Siegler, 1985; VanLehn, 1989; Resnick, 1992; Gagne *et al.*, 1993)。

三、遺傳學解題之研究

遺傳學是令國內外中學生最感到難以學習的單元之一(Stewart & Kirk, 1990; Smith, 1991；黃台珠，1990)。以往的研究已發現，學生在一些遺傳學的專有名詞（如：顯性、染色體、基因、對偶基因等）、機率的應用、孟德爾定律(Laws of Mendel)與減數分裂(Meiosis)等方面，均出現許多迷思概念(Misconceptions)，而影響其學習正確的遺傳學知識(Stewart, 1982; Hackling & Treagust, 1984; Moll & Allen, 1987; Collins & Stewart, 1989; Kindfield, 1991; Stewart & Hafner, 1994; Hackling, 1994；楊坤原，1989；黃台珠，1990)。

近十年來關於遺傳學的解題研究指出，遺傳學知識是影響解題的主要原因之一。成功的解題者能根據遺傳學知識正確地表徵問題、構思解題計畫、選擇使用正確又有效的捷思法 (Heuristics) 並以分析與推理取向的「向前作」(Working-forward) 之策略完成解題，此外，並能於解題完成後評估答案的正誤 (Stewart, 1983; Smith & Good, 1984; Hackling & Lawrence, 1988; Slack & Stewart, 1990; Smith, 1991; Kindfield, 1991, 1994; Hackling, 1986, 1994)。

參、研究方法

一、研究樣本

本研究是以台北地區（台北市、縣）之公立高級中學一年級上過基礎生物之遺傳學部份的學生為母群體，兼採「分層隨機抽樣」(Stratified random sampling) 與「集群抽樣」(Cluster sampling) 的方式進行抽樣。先依八十二學年度公佈之台北區高中聯招之錄取分數，將各校分成高、中、低三個階層，再於各階層中依班級數比例，抽取 9 個班的學生為樣本，於剔除無效者後，共有 395 位學生參與研究。全體學生在施以自編之「遺傳學學習成就測驗」後，由其得分的平均數 (M) 與標準差 (SD)，界定出高分組 (M+1SD) 與低分組 (M-1SD)。再由兩組中選出 10 名自願的學生為樣本（表 1），以放聲思考 (Think aloud) 配合晤談法 (Interview)，進行「遺傳學解題測驗」。

表 1：「遺傳學解題測驗」受試學生之遺傳學學習成就

學生代號	性別	遺傳學學習成就（得分，組別）
S01A	男	40，高
S01B	女	38，高
S02	男	34，高
S03A	男	19，低
S03B	男	12，低
S04	女	39，高
S05	男	35，高
S06A	女	20，低
S06B	男	16，低
S07	女	15，低

二、研究工具

(一)「遺傳學學習成就測驗」(Achievement Test of Genetics, ATG)

本測驗由研究者自編(楊坤原、鄭湧涇, 1996), 旨在評測高一學生的遺傳學學習成就(遺傳學知識)。由雙向細目表與專家審閱, 並經效化後得知, 本測驗之「內部均質性信度」(以 Cronbach α 表示)值為 0.80。可見本測驗具有良好之信度與效度。

(二)「遺傳學解題測驗」(Problem Solving Test of Genetics, PSTG)

本測驗為自編測驗, 共有 4 大題(含 9 小題), 所涵蓋之內容範圍與內容效度的考驗過程均與「遺傳學學習成就測驗」相同, 旨在評測學生的遺傳學解題表現。作答時間約 2 小時, 採放聲思考的方式進行。由於遺傳學理論的發展基本上是屬於假說演繹(Hypothetico-deductive)的過程(Lewis, 1988), 故本測驗除第 1、2 題為基本概念的試題外, 還設計了「由果到因」的問題(第 3 題)與驗證假說(Hypothesis testing)的問題(第 4 題)。

三、研究程序

所選出之 10 位自願參加「遺傳學解題測驗」的學生, 以放聲思考並配合晤談的方式進行測驗。測驗後所得的原案(Protocol)經登錄後, 參照 Smith (1983)所使用以分析解題行為的項目進行編碼(Coding)。

透過解題者所用的解題步驟之適當性、完整性、邏輯性與答案的正誤及理由的解釋等的分析, 分別評定解題表現、解題策略的優劣與出現之迷思概念。再由具備不同遺傳學知識的解題者間的解題策略之比較, 進一步探討遺傳學知識對遺傳學解題表現與解題策略之影響。

肆、結果與討論

一、學生在「遺傳學解題測驗」的表現

如表 2 所示, S01A、S01B、S02、S04 與 S05 等 5 位學生在全部 9 個小題中答對 6 題以上, 答對率高於 60%。S03A、S03B、S06A、S06B 與 S07 等 5 位學生答對題數少於 4 題, 答對率低於 40%。在 10 位學生中, S05 答

表 2：受試學生在「遺傳學解題測驗」的解題表現 *

學生代號	題 號									總 計
	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	4-3	
S01A	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	8.0
S01B	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	6.5
S02	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	6.0
S03A	1.0	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
S03B	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
S04	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	8.0
S05	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	8.5
S06A	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
S06B	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.5	2.0
S07	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0

*「1-1」代表第1題第1小題，餘類推。

「1.0」表示答對；「0.5」表示答案只對一半或過程不完整；

「0」表示答錯

對 8.5 題，是解題成就最好者；S06A 僅答對 1 題，是解題成就最差者。由此顯示，受試學生中，即使是解題成就較差的學生也並非完全不具遺傳學知識，而其知識也未必都是錯的，他們也能解決較為簡易的題目。

若將前述答對率高於 60% 的 5 位學生歸為解題表現較好的一組（甲組），而將答對率低於 40% 的另 5 位學生歸為解題表現較差的一組（乙組），則由原案分析得知，甲組學生所發生的錯誤主要係因忽略題意所致，他們所具備的知識均足以完成解題。相對而言，乙組學生由於缺乏必要的遺傳學知識，他們無法正確表徵問題，也未能考慮題目所給定的條件。此外，由於他們所答對的小題大都不屬於同一個大題，而且其在解題過程所使用的遺傳學知識也並非全然錯誤或完全缺乏，故可推知乙組學生所具者可能為片斷之遺傳學知識。此一結果與 Smith (1986, 1988, 1990; Smith & Good, 1984) 的研究發現相符。由此可知，學生所具有的遺傳學知識的確是影響解題成就的重要因素，二者之間互有密切關係。

二、學生之遺傳學解題策略分析

綜合兩組學生的解題策略，共可歸結出四種較為顯著之整體性差異：

- (一)甲組學生多採推理導向，而乙組則多以目標導向的策略進行解題。
- (二)甲組學生會主動找證據來檢驗據以決定答案之理由的正誤；乙組學生則未加驗證。
- (三)當解題過程遇到疑難時，甲組學生會先轉移至其他部份或改採不同的觀點來完成解題；乙組學生則傾向於放棄解題。
- (四)甲組學生能省略不必要的工作；乙組學生則需有嘗試錯誤的過程。

根據原案分析的結果，10位解題者所使用的領域一般性策略包括如下幾項：

(一)發問

S01A 讀完第3題後，發現題目中的第二子代有兩個「藍眼雌性」，於是發問，以確認問題之原意。另S05讀完第1題後，也透過發問來確定本題之第一子代是否只出現兩種性狀的個體。他們對於問題敘述的關鍵處，皆能發問以澄清其對題意的瞭解。

(二)轉移

S01A 在考慮第4(1)題的遺傳方式時，先假設是性聯遺傳，但發現無法確定，便嘗試由不同觀點重新分析。

I（研究者）：請說出你的想法。

S01A：既然性聯遺傳現在遇到兩種可能，又不容易看的話，那我現在就換個方向，看正常的顯隱性遺傳。

S05 在察覺到4(1)題不是性聯遺傳時，亦轉而考慮顯隱性遺傳的可能性。

I：你的考慮是什麼？

S05：我是想說如果個體1是完全正常的話，會不會是性聯遺傳。

可是既然這是（個體2）媽媽，他如果患病，如果是性聯遺傳的話，就代表他的兩個都是隱性基因，那他的兒子一定全部都會有這種特殊疾病。可是既然有沒病的，好像就不是性聯遺傳。如果為顯隱性遺傳的話，那個體1一定是完全正常，那就

一定會全部都一樣的性狀。如果疾病是隱性基因的話，那個體 1 的基因應該是 AA，個體 2 是 aa。

S03B 在解決 4(1) 題時，也遇到困難，但並未嘗試由不同觀點加以思考，而直接放棄解題。

S03B：他爸爸應該是…有帶致病基因，沒有顯示出來，就是隱性。

I：再看一下題目。

S03B：（發現題目假設個體 1 沒有攜帶致病基因）…我不知道這題應該寫什麼。

S06A 在解題同一題目時，也遇到同樣的困難，但也不願多想便放棄解題。

S06A：我認為這疾病是顯隱性遺傳，但推算結果與題目不符。

I：你如何說明？

S06A：可能是發生突變。

I：題目並沒說有突變發生。

S06A：（再看題目）。這題目有點奇怪。

I：再想一想。

S06A：那這題我就比較不會作。…我覺得根本就不可能。如果個體 1 和 2 的組合的話，根本不可能會產生個體 8 和 9。…（又推算 $AA \times aa$ ）那不可能，我想不出來。

(三)尋找證據來驗證或檢查假設是否成立

甲組學生以概念為基礎來主導解題歷程之進行，能從題目中的條件與遺傳學知識來找出證據，驗證自己的想法是否正確，由此亦可看出其屬於推理導向的解題策略。

在解決 3(1) 題時，S01A 便以一連串「假設…，那麼…」或「如果…，那…」的方式來進行推理。

S01A：假設這是性聯遺傳的話，那麼兩隻都會帶有隱性基因。但是，這兩種雌蠅基因型不同，而且又都是藍眼，一隻可能是

YY，一隻可能是 Yy，這兩種才會不同。然後，這隻藍眼的雄蠅的話，黃眼是 yy，藍眼雄蠅可能是兩種，這樣的話，藍眼雄蠅是 YY、YY。假如這是顯隱性遺傳的話，它子代的基因型比例應該是 1:2:1。假如說隱性基因是附在 Y 染色體上的話，只有這種基因而已，那這在黃眼雄蠅上就不成立了。...

S01B 在決定 4(1) 題中疾病的遺傳類型時，亦採用此一策略。

S01B：因為如果是性聯遺傳的話，男方應該有得這病，女方才有可能的機會。可是男方並沒有這個病，所以說絕對不可能是性聯遺傳。如果是顯隱性遺傳的話，又不太可能。因為如果個體 1 沒病的話，那一定是顯性的基因。可是這樣的話，就變每個人都是帶一個顯性跟一個隱性基因 (Aa)，這也不可能，所以有可能是隱性基因。

S05 在初步決定 4(1) 題的疾病屬顯隱性遺傳後，再進一步由個體 9、10、14 和 15 的性狀來證實。

S05：因為如果說他是顯性的話，如果說這位是一顯一隱，這樣他生出來的男女之 X 染色體都有患病基因，那可能男生正好有一個 X 染色體有這基因，就表現出來了。...再看第二子代。因為個體 9 患病，那他的 X 染色體上有一個顯性基因。個體 10 的兩個基因既然沒有表現出來，那代表正常的一定兩個都是隱性。所以生出來假如是女生就一定會是顯性。可是個體 14 是正常，個體 15 患病，所以應該是顯隱性比較有可能。

乙組學生多為「手段一目的」(Means-ends) 的解題者。這些「目標導向」的解題者傾向於使用「一步解題」與「邊看題目邊寫」、「按圖索驥」的方式，只求能找出問題所要的答案，對於獲得答案的過程所涉及的各種可能狀況並不重視，幾乎沒有採用推理與驗證之步驟。

S03A 在判斷 3(1) 題時，在沒有考慮任何證據下，就猜答案是性聯遺傳。

S03A：我認為是性聯遺傳。

I：請說明原因。

S03A：我想不到為什麼是性聯遺傳。

S03B 在讀完題目後，立即根據題目中的譜系圖決定答案。

S03B：這個疾病應該是性聯遺傳。

I：請說明原因。

S03B：因為題目已經提到性別了。

S06A 即使不清楚性聯遺傳與顯隱性遺傳的差別，仍任意決定答案。

S06A：我不太清楚性聯跟顯隱性遺傳的差別。

I：是否學過？

S06A：我是不太考慮性聯的情形。因為覺得用顯隱性遺傳來作的話，比較好弄。

S07 解決第 3 題的每一步驟，都是依照題目所言，沒有自己的判斷。

S07：題目就是要我們把它的基因型算出來。題目中就作兩次，然後就叫我們自己推第三次，然後就回答這個問題。然後我又看到題目中「眼睛藍色對黃色是顯性」，我會把它的顯性和隱性先寫出來。（寫下基因型，短栗 $aacc$ 、 $aaCc$ ，短白 $aacc$ 。推算 $Aa \times Aa$ ，隨後又塗掉）。

I：請說出你的作法。

S07：因為我看到題目後面說，實驗一的時候，都出現藍色，所以應該是 $Aa \times Aa$ ，這樣子出現的都是顯性的。

.....

S07：（推算 $CC \times Cc$ ）。

I：請說出你的作法。

S07：題目說把這兩隻雄的跟雌的交配，寫出男生、女生。然後我就看題目上的實驗二寫出來的條件跟我算的一樣。

四嘗試錯誤

在決定 2(2) 題所求之基因型組合時，乙組學生 (S03B、S07) 都是經棋盤法逐一推算而得。

S03B：雄的可能是 Aabb、AAbb，雌的可能是 aaBB、aaBb。那這樣要是第一子代是這樣的話，有 1/4 的機率是短角。可是它全部都是長角，所以 AAbb × aaBB 不可能。那 Aabb × aaBb 全是長角。AAbb × aaBB 也是全部長角，所以要看顏色。要是 b × B 的話，變成會一半白色，一半是黑色的，所以我猜是 Aabb × aaBB。

.....

S07：短角黑色毛與長角白色毛公牛，我會寫出有哪些可能。（寫下長角白色為 AAcc、Aacc，短角黑色為 aaCC）。然後題目告訴我們全部都是長角，那表示配出來的有些不是我們要的。我會算算看，看到底哪一個不是我們要的，哪一個跟哪一個配在一起會得到全部都是長角的。然後第 2 題我也是照樣把它寫出來。（寫下基因型，短栗 aacc、aaCc，短白 aacc。又寫出 AACC、AAcc、AACc、AaCC、Aacc、AaCc、aaCC、aacc、aaCc 等基因型）。題目現在問我們要怎樣選才會出來短栗與短白。然後我覺得我會把所有的先拿出來看，看哪兩種在一起只會產生這兩種，用棋盤格算，就除了這兩種不會出現別種。

(五)先考慮最簡單的情形

在解決 3(1) 題時，甲組學生都從顯隱性遺傳的情形先加以考慮，當發現不符題意時，再思考中間型或性聯遺傳。

S01B：我本來是以普通的情況去考慮。可是到後來我發現題目出現黃眼的機率比較小，而且目前看到只有雄性才有可能，所以可能是性聯遺傳。

(六)一次只考慮一個變項

S01A 從基因型來考慮 4(1) 題之疾病的遺傳方式時，曾經想過是否會與血型的基因有關，但因無法確定，隨後即擱置暫不考慮。

S01A：可是這邊又與血型有關...，血型基因在什麼染色體上？...，血型先不看好了。

(七)在讀題過程中表示意見

S01A 在讀完第 4 題之題目後，曾主動表示：「題目好像愈來愈難了」。由於本測驗在設計時，試題的複雜性隨題數而加深，故 S01A 的反應可顯示其在問題表徵上應屬正確。

(八)檢查題目所給定之條件

甲、乙兩組學生在解題過程，都會隨時回顧題目，以對照所求的結果是否有違題意。因乙組學生傾向於採用目標導向的解題策略，其回顧題目的次數較甲組學生更為頻繁，可說是「邊看邊作」的情形。

(九)檢查中間步驟

所有解題者中，唯有 S01A 在解決 4(1) 的過程中，想到要檢查解題步驟與先前假設的一致性。

S01A：因為一個隱性的患病基因，但父親帶的是不患病的基因，所以他就不會生病。那這樣的話，假如說母親可能就是 Aa、AA 兩種情形。然後兒子一定是得到母親的一個患病的顯性基因。然後另一個兒子可能得到隱性，也可能得到顯性。但他沒有患病，可見他得到的是隱性。所以說母親就是異基因型，然後女兒也該是異基因型。...，我想看一下這個情形跟我前面假設的顯隱性基因是不是一樣。

(十)回溯檢查

雖然大部份解題者在找出答案後，都會將之與題意作一對照，確認是否符合所給定的條件，但只有 S01A 在完成第 4 題後，能主動地再對解題的步驟及推算過程進行較為仔細的檢查。

S01A：再把它整理一次。親代的情況就是患病基因在 X 染色體上，而且是由顯隱性來控制患病的，所以，母親是異基因型。然後，患病的女兒也是異基因型，患病的兒子有一個顯性基因。這是假設性聯遺傳的情形。那假如說是顯隱性遺傳的話，它的結果是父親是隱性，母親是異基因型，女兒也是異基因型，患病的兒子也是異基因型，其他的女兒、兒子都是顯性的。那麼，把這兩種加以比較的話，假如說再把 Y 染色體上也

加一個、全部各加一個隱性基因的話，對結果並不影響。所以說這種遺傳方式不是性聯遺傳。

所有學生所使用之領域專門性的解題策略包括：

(一)無須經過棋盤格推算，就能知道某一個交配的結果（自動化）

甲組學生因具備較有組織的遺傳學知識，故可由題目所提供的條件，直接推得正確的基因型。

S02 在讀完 2(2) 題目後，由其中給定的條件，能判斷出該遺傳方式為中間型遺傳，並直接推知出現短角白牛的機率。

S02：設基因型白毛為 b ，黑色為 B ，長角 L ，短角 l 。因為第一子代全部都是栗色毛的牛，屬於中間型遺傳，所以第一子代中公牛與母牛的基因型都是 Bb ，又都是長角，所以基因型是 Ll 。所以第一子代的基因型是 $BbLl$ 。第二子代出現短角白毛的公牛的機會是 $1/4 \times 1/4 \times 1/2 = 1/32$ 。

S05 於推算 4(3) 題出現血型 B 型女孩的機率時，直接由親代的水型推知答案，不需經過逐步推算。

S05：應該不會生出 B 型女孩。

I：請說出你的想法。

S05：因為既然親代兩個都是 AB 型的話，AB 型的基因型是 $I^A I^B$ ，所以生出來如果是 A 型的話，一定是 $I^A I^A$ ，不會有 i 出現。個體 14 是 O 型，個體 15 是 B 型，所以生出來的應該是 $I^B i$ 。配出來的話，頂多會有 AB 型的或者 A 型的兩種情況，不會有 B 型的。

(二)正確設定基因型的符號

甲組學生 (S01A、S02、S05) 會以描述該性狀的述詞之英文字母來設計基因型。例如：以 B 代表黑色 (Black) 毛， L 代表長 (Long) 角。乙組學生在這方面較不注意，大都任意以一英文字母表之。其中，S03A 在解 3(2) 題時，原先是以 A 、 a 來代表眼睛的顏色。後來在考慮有無可能是中間型遺傳時，卻又以 B 、 b 來代表控制同一性狀的基因。又 S03B 在解第 4(2) 與 4(3)

題時，同時以 I、i 來代表控制疾病的基因型和血型的基因型，致使前後所用的符號之意義產生混淆。

(三)能找出遺傳學上常見的比例關係

由於本測驗 1 ~ 3 題所設計的比例關係均出自教科書中，故甲組的解題者均能由題中的數字關係找出遺傳類型，並正確地加以運用。

(四)使用記憶的遺傳類型

S03B 與 S06B 雖能找出比例關係，但由其解題的過程來看，可以發現他們並未完全瞭解。

S03B 在解決 3(1) 題時，因與所想的不符，便以教科書中的例子來解釋。

S03B：(推算 $XY \times XX$ 的結果)。要是它是性聯遺傳的話，這樣...，藍色是顯性。...課本上性聯遺傳不是都是疾病嗎？

S06B 讀完第 2 題後，覺得題目中第一子代全為長角栗色毛，與課本上所舉的例子不同，於是產生疑問。

S06B：這是中間型遺傳。那應該也有出現別的顏色。

I：多於這三種嗎？

S06B：可是課本不是說兩種顏色的親代跑出來的，應該有三隻黑色牛。

(五)不知道或無法應用必要的遺傳學知識

S03A 對「中間型遺傳」與「性聯遺傳」的意義均不知道。

S03A：(讀完 2(1) 題)。黑色跟白色怎麼會產生栗色？

I：有沒有印象？

S03A：課本沒看過。

.....

S03A：(看完 3(1) 題的選項)。「性聯遺傳」是什麼？

I：有沒有講過？

S03A：像色盲一樣嗎？

I：你知道色盲遺傳的特性嗎？

S03A：...，不知道。

S07 因為不知道何謂「性聯遺傳」，故忽略 3(1) 題中的該選項。

I：你的答案是選第幾個？

S07：我覺得是顯隱性遺傳。

I：請說明。

S07：因為題目說藍色是顯性，黃色是隱性。然後推算出出現黃色是隱性，所以我覺得是這個。

I：有沒有其他的可能？

S07：因為我不瞭解性聯遺傳，所以我不選它。

(六)使用錯誤或不標準的遺傳學詞彙

S07 以「爸爸」、「媽媽」、「男生」、「女生」來指稱果蠅的雄、雌；稱「性狀」為「性向」。

綜合兩組學生所用的各種解題策略之分析比較（表 3），如果將解題歷程分為「表徵問題」、「解題所用的捷思法」與「評鑑」三部份來看，甲組學生在前二個部份均較乙組學生有較好的策略，也比較接近專家所使用的解題策略；乙組學生則較傾向於採生手所用的解題策略。此一發現與 Chi *et al.* (1981)、Smith (1986, 1988, 1990, 1991) 與 Smith 和 Good (1984) 等的研究發現相似。就「評鑑」一項而言，只有甲組的 S01A 能主動地在解題過程與獲得答案後，進行檢查與驗證，其餘學生大多僅止於將題目的條件與答案相互對照，而未能作深入的驗證。再者，由原案分析發現，同組內的學生所使用的解題策略無論在質與量上均較為接近，然組間的差異則較為明顯。由此推知，遺傳學知識較好的甲組學生，其解題策略也較好；解題策略的使用的確與解題者所具之領域專門性知識有關。因此，許多研究解題的認知心理學者 (Chi *et al.*, 1981; Chi & Glaser, 1985; Glaser, 1987; Smith, 1990, 1991) 一致強調領域專門性知識是決定解題成敗之重要因素的說法，可由本研究的結果再次獲得確認。

目前國內尚無人對各級學生的遺傳學解題作過較為深入的探討。而林宏一 (1990) 與陳昭錦 (1993) 則曾先後對大一和高三學生之「化學平衡」解題進行研究。雖然學科內容與研究對象和本研究有異，但其結果亦發現解題成就較佳者，傾向採用「演算推理」的解題策略，能將解題視為推理的過程，並能運用相關的原理與概念。

表 3：甲、乙兩組學生遺傳學解題策略之分析比較 *

解題表現較好的學生（甲組）傾向於	解題表現較差的學生（乙組）傾向於
1. 對問題作詳盡的考慮。	猜答或想要一步解題。
2. 找證據來檢驗假說是否成立。	未能以證據來檢驗假說是否成立。
3. 發問以確定對題意的瞭解。	沒有發問。
4. 遇困難或發現錯誤時，立即由不同的觀點重新分析問題。（轉移）	在遭遇困難或發現錯誤時，無法由不同的觀點重新分析問題，故放棄解題。
5. 遇各種可能情形時，先考慮最簡單者。	較少考慮到各種可能的情形。
6. 一次只考慮一個變項。	一次考慮多個變項而產生混淆。
7. 檢查題目所給定的條件。	邊看題目邊解題。
8. 檢查中間步驟的一致性。	沒有檢查。
9. 題完成後，能將題意與答案作較為深入的檢驗。	於解題完成後，僅將題意與答案作對照。
10. 不需經棋盤格法的推算就可知道某一個交配的結果。（自動化）	較需要依靠棋盤格法逐一推算交配的結果。（嘗試錯誤法）
11. 以述詞的第一個英文字母作為代表基因型的符號。	任意選擇英文字母作為代表基因型的符號。
12. 能辨識並正確使用遺傳學上常見的比例關係。	忽視或未能正確使用遺傳學上常見的比例關係。
13. 有較好的遺傳學知識，並能正確應用於解題的歷程。	缺乏或因未能理解遺傳學知識而無法正確應用於解題的歷程。
14. 使用一致的符號代表相同的基因型。	使用不同的符號代表同一性狀的基因型
15. 使用正確的遺傳學詞彙。	使用不標準的遺傳學詞彙。
16. 以概念和邏輯推理來主導解題歷程。（推理導向，知識發展法）	根據問題的敘述來找出答案。（目標導向，手段一目的法）
17. 幾無遺傳學迷思概念出現。	出現較多遺傳學迷思概念。
18. 較少出現不小心的錯誤。	出現較多不小心的錯誤。
19. 有較好的解題效率。	有較差的解題效率。
20. 使用與專家較相似的解題策略。	使用與生手較相似的解題策略。

*表中之1~9項屬領域一般性解題策略的比較；10~15項屬領域專門性解題策略的比較；16~20項屬綜合性的比較

其次，本研究發現兩組學生均出現以檢查題目來確定答案的策略，此與 Smith (1992) 的研究發現相異。究其原因，可能是因為解題者均為高一學生，因而對剛學過的遺傳學知識與解題歷程較不具信心所致。在本研究中，唯有 S01A 能對解題過程與答案作出較為仔細的評鑑，其餘學生雖有評鑑答案的作法，但程度上仍未及 S01A 來得深入。此外，S06B 在解決第 3、4 兩題時，均能畫出教科書中的附圖，但卻無法完全解決這些題目，由此可反映出該生雖可記住教科書的內容，但未必對之有真正的瞭解，故無法正確使用相關知識來完成解題。另 S06B 與 S01A 雖是同班同學，但兩人的解題表現卻有明顯的差別，可見即使在教學情境相似的條件下，每個人的學習成就也未必相同，這將再一次顯示建構論在科學學習上的意義。此外，Alexander 和 Judy (1991) 曾指出領域專門性知識與策略性知識的交互作用對解題表現的重要性。Gagne *et al.* (1993) 也強調敘述性知識 (Declarative knowledge) 是程序性知識 (Procedural knowledge) 的基礎。由此當可解釋遺傳學知識對遺傳學解題有較大之作用的原因。

三、學生出現的遺傳學迷思概念

由 10 位解題者的原案分析得知，學生所出現之遺傳學迷思概念，主要可歸納為「機率在遺傳學上的應用」、「性聯遺傳」與「基因型設計」等三大類。這些迷思概念大都出現在乙組學生的解題過程，甲組除 S04 在血型的基因型之設計出現錯誤外，其他學生並未發現有迷思概念出現。究其原因，應是甲組學生較乙組者具有較好的遺傳學知識所致。

在「機率在遺傳學上的應用」方面的迷思可分為三種。第一種是對於在實際情況下，機率如何應用於遺傳結果的推算有誤解。這類學生 (S03A 與 S07) 在推算男性子代出現 B 血型之機率時，並非根據題意由親代推知，而認為出現男、女子代的機率各為 $1/2$ ，出現四種中的任一種的機率為 $1/4$ ，故答案為 $1/8$ 。另有解題者 (S03B) 是直接將遺傳譜系圖上設計之患病的個體數當作是「某疾病出現的機率」來處理。S07 則誤以為基因型 CC 、 Cc 、 cc 與 AA 、 Aa 、 aa 的組合共有 27 種可能 ($3 \times 3 \times 3$)。

在「性聯遺傳」方面，學生 (S03B、S06B) 只知道「男性較易患病」、「女性要帶有兩個致病基因才會出現疾病」的事實，但對為何會造成此一現象的原因均不瞭解。因此，他們誤以為「只有患病基因在 Y 染色體上才屬性聯遺傳」。

此外，S06B 在設計代表果蠅之「黑眼長翅」的基因型時，是以「 BL 、 Bl 」表之。而 S03B 與 S07 二位均以顯隱性遺傳之對偶基因的方式 (Bi 、 Ai) 來代表人類血型的基因型，這是因不瞭解複對偶基因的遺傳所致。

本研究的學生所出現的迷思概念，與 Hackling 和 Treagust (1984)、Smith (1988)、Slack 和 Stewart (1990)、Hackling (1994) 與楊坤原 (1989) 等的研究結果相似。由此可見，這些概念的確為中外學生皆感困惑之盲點。

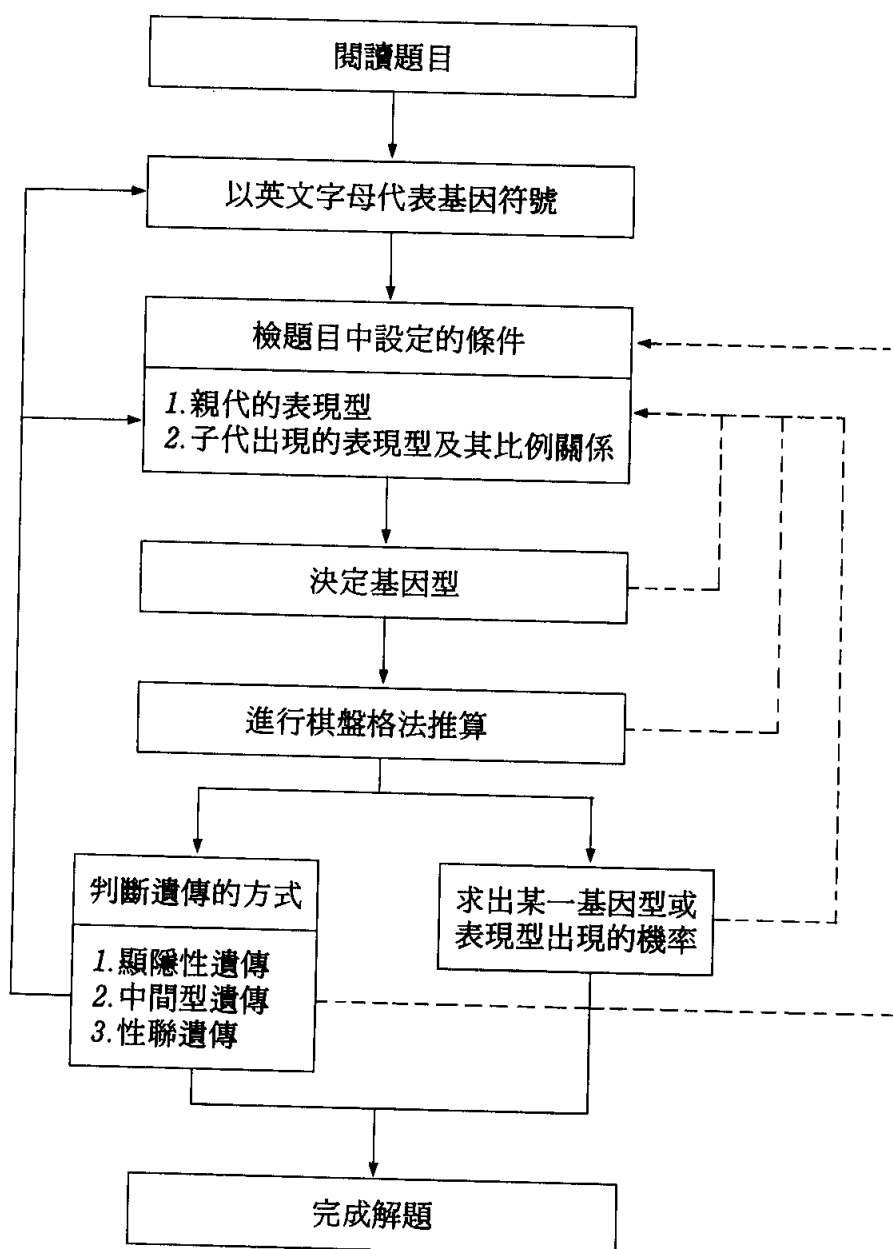
四、學生遺傳學解題之模式

在分析所有解題者之解題歷程的原案並加以整理後，本研究嘗試依此資料建立學生遺傳學解題的模式圖（圖 1）。整體而言，解題者在解決「遺傳學解題測驗」的四個題目時，首先都是先以英文字母來代表基因型，再根據題目中所給定的各種條件（包括：親代的基因型、子代的表現型及其比例關係等）來決定符合題意的基因型。之後，解題者便使用棋盤格進行推算，以求出題目所要求之某一基因型或表現型出現的機率，或進一步由此判斷遺傳的方式。解題者的解題歷程並非只是直線進行，而是出現前後反覆、交錯前進的情形。例如，在設定基因型之後，解題者大都會再一次檢視題目中的條件，以確認其假設的正誤。而在作過棋盤格法的推算後，解題者也多會再回顧題意以決定答案。此外，甲組的學生在判斷遺傳方式時，能同時針對顯隱性、中間型或性聯等各種情形加以考慮。當發現錯誤或推算之後得知某一遺傳類型不符題意時，他們便擱置此一結果，重新再循環一次解題的步驟，直到獲得最後的答案為止。

雖然每位解題者解題步驟的先後次序大抵相似，但兩組解題者的解題策略在質的方面卻有所差異。以兩組學生在解題的前、中、後多會對照題目的條件與答案而言，乙組的解題者只是簡單地看一下答案是否符合題意而已，但甲組則有解題者能重溯整個解題過程，將解法與題意再作一次較為深入的檢驗。另在判斷某一性狀之遺傳方式時，乙組學生均因未能同時考量各種遺傳方式的可能，而未出現如甲組學生之循環的過程。

基本上，由本研究的解題者整理所得之解題模式與現行教科書所介紹的方法相似，也和 Smith (1983)、Stewart (1982) 的研究結果相近。換言之，每位解題者均或多或少使用一些所習得之固定的算則 (Algorithms) 來解題，但甲組學生則因有較好的遺傳學知識為基礎，故在算則的使用上較為正確、完整，在解題和

解法的評鑑上，也較為深入、仔細。



說明：“→”代表解題進行的方向
“--->”代表回顧檢視題目中設定的條件

圖 1：遺傳學解題模式

雖然每位解題者解題步驟的先後次序大抵相似，但兩組解題者的解題策略在質的方面卻有所差異。以兩組學生在解題的前、中、後多會對照題目的條件與答案而言，乙組的解題者只是簡單地看一下答案是否符合題意而已，但甲組則有解題者能重溯整個解題過程，將解法與題意再作一次較為深入的檢驗。另在判斷某一性狀之遺傳方式時，乙組學生均因未能同時考量各種遺傳方式的可能，而未出現如甲組學生之循環的過程。

基本上，由本研究的解題者整理所得之解題模式與現行教科書所介紹的方法相似，也和 Smith (1983)、Stewart (1982) 的研究結果相近。換言之，每位解題者均或多或少使用一些所習得之固定的算則 (Algorithms) 來解題，但甲組學生則因有較好的遺傳學知識為基礎，故在算則的使用上較為正確、完整，在解題和解法的評鑑上，也較為深入、仔細。

伍、結語

解題是一個學習的過程，涉及複雜的思考歷程。知識（尤其是領域專門性知識）既是解題的活動基礎，也是決定解題表現優劣之關鍵。根據本研究的結果，遺傳學知識和遺傳學解題表現、解題策略均存有密切關係，此與訊息處理論與建構論者強調知識對學習的重要性之主張頗為一致。

由學生所出現的迷思概念得知，學生對某些已學過的遺傳學概念，仍未完全瞭解，尤其性聯遺傳的原理、如何由染色體的表現來解釋和判斷性聯遺傳的特性及機率如何應用在譜系的推算等，都是學生出現迷思、而為生物教師在教授時應多加詳述之處。此外，本研究亦發現，雖然學生能憶起教科書的內容，但卻無法正確用之於解題之上，可見學生雖可記憶但未必能活用知識，因此，只用傳統的紙筆成就測驗恐未能測知學生真正的學習成就。故教師若能在平時練習或正式測驗時，多採解題的方式行之，不但可提供學生檢驗自己對所學過的知識有否真正的瞭解，也可讓教師知道學生實際的困難所在，以作為日後教學改進的參考。再者，雖有解題者是同班同學，但其解題表現卻有顯著差異。由此顯示，唯有經過學生主動建構所得者，才是屬於自己的知識。所以，教師宜少用傳輸的方式進行教學，而應多讓學生有較多從事主動探究、發問、討論等思考活動的機會，以幫助其建構可用的知識，達成有意義的學習。

參考文獻

1. 行政院國家科學委員會生物教育學門資源整合規劃小組（1993）：《學門資源整合規劃資料—生物教育》。
2. 林宏一（1990）：《大一與高三學生「化學平衡」解題過程與行為分析》，彰化市：國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版。
3. 陳昭錦（1993）：《高三資優學生「水溶液中的化學平衡」解題之個案研究》，臺北市：國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。
4. 黃台珠（1990）：中學生遺傳相關概念錯誤類型的探討，《科學教育月刊》，第133期，34-53。
5. 楊坤原（1989）：中學生認知能力與遺傳學概念學習之相關研究，《科學教育》，第1期，61-75。
6. 楊坤原、鄭湧涇（1996）：高一學生認知風格、認知策略與遺傳學學習成就的關係，《科學教育學刊》，第四卷二期，135-159。
7. Alexander, P. A., & Judy, J. E. (1991). The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational Research*, 58(4), 375-404.
8. Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. Spence & J. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2). New York: Academic Press.
9. Champagne, A. B. (1988). Definition and assessment of the higher-order cognitive skills. *National Association for Research in Science Teaching, Research Matter...To the Science Teacher*.
10. Chi, M. T. H., & Ceci, S. J. (1987). Content knowledge: Its role, representation, and restructuring in memory development. *Advances in Child Development and Behavior*, 20, 91-141.
11. Chi, M. T. H., Feltovich, P. L., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by expert and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
12. Chi, M. T. H., & Glaser, R. (1985). Problem-solving ability. In R. J.

- Sternberg (Ed.), *Human abilities. An information-processing approach*. New York: W. H. Freeman and Company.
13. Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
 14. Collins, A., & Stewart, J. H. (1989). The knowledge structure of Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 51(3), 143-149.
 15. Driver, R., & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science and Mathematics*, 86(3), 443-456.
 16. Finley, F. N., Stewart, J. H., & Yarroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66, 531-538.
 17. Gagne, R. M. (1985). *The conditions of learning* (4th ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.
 18. Gagne, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1993). *The cognitive psychology of school learning*. New York : Harper Collins College Publishers.
 19. Garrett, R. M. (1986). Problem-solving in science education. *Studies in Science Education*, 13, 70-75.
 20. Glaser, R. (1987). Learning theory and theories of knowledge. In E. D. Corte, H. Lodewijks & P. Span (Eds.), *Learning and instruction* (Vol. 1). Oxford: Pergmon Books Ltd/Leuven University Press.
 21. Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (1991). *The psychology of learning science*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
 22. Hackling, M. W. (1986). Hypothesis testing strategies used in the solution of genetics pedigrees. Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association, San Francisco, April 16-20, 1986.

23. Hackling, M. W. (1994). *Application of genetics knowledge to the solution of pedigree problems*. Paper presented at the 25th Annual Conference of the Australian Science Education Conference, July, 1994, Holsait Tasmania.
24. Hackling, M. W., & Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 197-209.
25. Hackling, M. W., & Lawrence, J. A. (1988). Expert and novice solutions of genetics pedigree problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(7), 531-546.
26. Hayes, J. R. (1989). *The Complete Problem Solver* (2nd ed.). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publisher.
27. Helgeson, S. L. (1994). Research on problem solving: Middle school. In D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
28. Holyoak, V. M. (1990). Students' cognitive styles and their use of problem-solving heuristics and metacognitive processes. (ERIC Document Reproduction Service No. 347 069)
29. Kindfield, A. C. H. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3), 193-200.
30. Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice model of meiosis. *Science Education*, 78(3), 255-283
31. Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models*. Hillsdale: New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
32. Mayer, R. E. (1992). *Thinking, Problem Solving, Cognition* (2nd ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
33. Mertens, T. R., & Hendrix, J. R. (1990). The popular press, scientific literacy in human genetics, and bioethical decision-making. *School Science and Mathematics*, 90(4), 317-322.
34. Moll, M. B., & Allen, R. D. (1987). Student difficulties with Mendelian

- genetics problems. *The American Biology Teacher*, 49, 229-233.
35. Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
 36. Ornstein, P. A. (1990). Knowledge and strategies: A discussion. In W. Schneider & F. E. Weinert (Eds.), *Interactions among aptitudes, strategies, and knowledge in cognitive performance*. New York: Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg.
 37. Resnick, L. B. (1992). Education and learning to think. In M. K. Pearsall (Ed.), *Scope, sequence, and coordination of secondary school science* (Vol. 2). Washington, D. C.: The National Science Teachers Association.
 38. Shavelson, R. J., Carey, N. B., & Webb, N. M. (1990). Indicators of science achievement: Options for a powerful policy instrument. *Phi Delta Kappan*, 71(9), 692-697.
 39. Siegler, R. S. (1985). Encoding and the development of problem solving. In S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (Vol. 2). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
 40. Slack, S., & Stewart, J. (1990). High school student's problem solving performance on realistic genetics problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), 55-67.
 41. Smith, M. U. (1983). A comparative analysis of the performance of experts and novices while solving selected classical genetics problems. *Dissertation Abstracts International*, 44, 451A.
 42. Smith, M. U. (1986). Organization of classical genetics problem by faculty problem solvers. Paper presented at the Annual Conventions of the Society of College Science Teachers and the National Science Teachers Association (San Francisco, CA, March 27, 1986).
 43. Smith, M. U. (1988). Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(6), 411-433.
 44. Smith, M. U. (1990). Knowledge structures and the nature of expertise in

- classical genetics. *Cognition and Instruction*, 7(4), 287-302.
45. Smith, M. U. (1991). *Toward a Unified Theory of Problem Solving*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
 46. Smith, M. U. (1992). Expertise and the organization of knowledge: unexpected differences among genetic counselors, faculty, and students on problem categorization tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 179-205.
 47. Smith, M. U., & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), 895-912.
 48. Stewart, J. (1982). Two aspects of meaningful problem solving in science. *Science Education*, 66(5), 731-749.
 49. Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. *Science Education*, 67(4), 523-540.
 50. Stewart, J. H., & Atkin, J. A. (1982). Information processing psychology: A promising paradigm for research in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(4), 312-321.
 51. Stewart, J., & Hafner, R. (1994). Research on problem solving: Genetics. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
 52. Stewart, J., & Hafner, R. (1991). Extending the conception of "problem" in problem solving research. *Science Education*, 75(1), 105-120.
 53. Stewart, J., & Kirk, J. V. (1990). Understanding and problem-solving in classical genetics. *International Journal of Science Education*, 12(5), 575-588.
 54. Uno, G. E., & Bybee, R. W. (1994). Understanding the dimensions of biology literacy. *BioScience*, 44(8), 553-557.
 55. VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.

A Study on the Performance and Strategies of Genetics Problem Solving of Senior High Students

Kun-Yuan Yang*, Yeong-Jing Cheng**

*Teacher Education Center, Chung Yuan Christian University

**Department of Biology National Taiwan Normal University

Abstract

Based upon the results of the Test of Learning Achievement of Genetics, ten students with different achievement were selected from 395 tenth graders in the Taipei area. All the students took the Problem Solving Test of Genetics using a think-aloud method. An analysis of the interview protocols for the ten students revealed their performance and strategies of problem solving in genetics relationship between the knowledge of genetics and problem solving in genetics, and the genetics misconceptions.

The domain-general problem-solving strategies utilized by the better problem-solvers included shifting, justifying hypotheses, considering simplest condition first, and checking results. The domain-specific strategies utilized in solving problems included designing genotype symbols correctly and recognizing the proportional relation commonly used in genetics. Contrasted with the reasoning strategies of better problem-solvers, the poor problem-solvers tended to use goal-oriented strategies as the better problem-solvers did. They domain-specific problem-solving strategies utilized by the less able problem solver were using different genotype symbols to represent same traits, confusing the meaning of genotype symbols, using incorrect terms. The misconceptions possessed by them were in the areas of the application of probability in genetics, sex-linkage, and designing genotype. The problem-solving model that the ten students revealed in this study was consistent with what had been proposed in the textbook.

Key words: Senior high students; Knowledge of Genetics; Genetics Problem Solving Performance; Genetics Problem Solving Strategies.