科學教育學刊
2004, 第十二卷第一期, 107-131

Chinese Journal of Science Education
2004, 12(1), 107-131

發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念

楊坤原[1]　張賴妙理[2]
[1]中原大學教育研究所暨教育學程中心
[2]中國技術學院共同科

（投稿日期：民國 91 年 9 月 13 日，修訂日期：92 年 4 月 29 日，接受日期：92 年 7 月 23 日）

摘要：本研究旨在發展和效化「遺傳學二段式診斷測驗」以診斷國一學生在學過國中生物之「生殖」與「遺傳」單元後所存有的另有概念。經以隨機抽取之桃園縣六所國中共 1606 名一年級學生爲樣本進行正式評測後得知，「遺傳學二段式診斷測驗」的平均難度爲 0.45，鑑別度指數之平均值爲 0.48，內部一致性信度（Cronbach α）值爲 0.73。由診斷結果的分析發現，國一學生在經過教學後，仍對細胞（有絲）分裂的結果、減數分裂的過程與結果、基因控制性狀表現、顯性基因與隱性基因、同源染色體的定義與辨識、染色體、基因與 DNA 的關係、雙套染色體的定義與成因、後天改變的性狀之遺傳、性染色體及孟德爾遺傳定律等具另有概念。本研究所發展之診斷工具與研究結果可提供未來國中遺傳學概念之診斷、教學與課程設計的參考。

關鍵詞：二段式診斷測驗、國民中學、遺傳學、另有概念。

壹、緒論

隨著科學學習心理學與認知心理學理論的發展及其在科學教育研究上的廣泛應用，一些學者已分從認知發展、個別差異、概念的學習與改變和科學解題各層面，深入探討學習者學習科學知識與思考的內在歷程，以便對科學學習與教學有更多的貢獻（Eylon & Linn, 1988; Tyson, Venville, Harrison & Treagust, 1997）。雖然切入點有所差異，然若針對各觀點加以歸納，則可發現無論所採的向度爲何，其背景都植基於有意義的學習（meaningful learning）的論點之上（Glynn & Duit, 1995; Tyson *et al*., 1997）。根據認知同化理論（cognitive assimilation theory）和有意義的學習之主張，學生的先前知識是影響知識學習最重要的因素。唯有在先前知識的基礎上，透過同化將新、舊知識加以連結，如此方能達成有意義的學習（Ausubel, 1963, 1968）。

有意義的學習理論在科學教育上的研究，可說是以學生各科學學科另有概念（alternative

conceptions）的研究最爲廣泛，並已獲致許多結果（Wood-Robinson, 1995）。爲使這些成果能更有效、實際地應用於科學教室的教學上，有些學者提倡發展二段式（two-tier）概念診斷測驗之必要性（Odom & Barrow, 1995; Treagust, 1988, 1997）。Treagust（1988, 1997）指出，雖然晤談法可深入探究學生的想法，但其具有耗時費力的顧慮，故在一般班級人數多的教室中，教師較易於用以確認學生的迷思概念的方法，還是以紙筆式測驗爲多。因此，若能針對某一特定的學科內容，應用既有的研究發現爲基礎，設計成紙筆式、選擇題型的二段式診斷測驗，當更可幫助科學教師了解學生在教學前、後所存的另有概念，以對症下藥。此外，許多學者亦強調，現今的教學評量應妥善結合認知科學與心理計量的原理，發展出能夠診斷學生學習錯誤並能測知內在思考機制的認知診斷評量工具，如此方能眞正幫助師生達成教與學的成效（Nichols, 1994; Snow & Lohman, 1989）。由此觀之，認知診斷測驗的設計的確是符應了認知心理學發展之趨勢。迄今，二段式設計的診斷測驗已陸續發展且應用於生物（Haslam & Treagust, 1987; Odom & Barrow, 1995; Treagust, 2000）、化學（Peterson, Treagust, & Garnett, 1989; Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2002）及數學（黃桂君和吳裕益, 1999）等學科之學習診斷。

如同許多國外的調查一般，國內的中學學生和教師大都認爲遺傳學是學習與教學上較感困難的部分（黃台珠, 1993; Finley, Stewart, & Yarroch, 1982; Bahar, Johnstone, & Hanesell, 1999），由於遺傳學的學習是研究其他生物學領域（如：演化、遺傳工程）、農學與醫學之重要基礎（Stewart & Dale, 1981），可見，得知學生學習遺傳學的困難與迷思之處，應是中學教學的重點所在。有鑑於此，發展和應用二段式遺傳學診斷測驗以偵測學生所具有的另有概念，實具有教學和研究上的必要性。

基於上述的考量，本研究旨在發展適用於國中一年級之二段式遺傳學另有概念診斷工具，並以此探討在接受遺傳學教學後，國中一年級學生可能出現的各種另有概念，以作爲未來國中遺傳學概念的診斷、教學與課程設計之參考。

貳、文獻探討

一、有意義的學習與科學概念的建構

在許多關於科學概念學習的認知理論中，當以 Ausubel 所提之認知同化理論與有意義的學習理論之影響最大(Duit, 1991)。根據 Ausubel 的觀點指出，學習者的先前知識是影響學習最重要的因素。唯有學習者能以先前知識爲基礎，將新知識整合至既有的知識結構中，形成合乎邏輯、實質性的相連，才能達成有意義的學習。反之，若學習者只是堆積片斷的知識，則將因其不利於知識在認知結構中的保留與檢索，且可能會干擾新知識的學習，致使儲存的知識無法活用，此即所謂機械式的學習（rote learning）（Ausubel, 1963, 1968）。

從知識同化的觀點來看，有意義的學習涉及含攝（subsumption）的過程。透過上位學習（superordinate learning）、下位學習（subordinate learning）與結合學習（combinational learning）的途徑，學習者的知識可不斷地階層化。此外，藉由漸進分化和統整調和的作用，概念的意義逐漸被精緻化和澄清，概念間異同性的區辨也更加清楚，於是知識結構便開始呈現分支、交叉或連結，漸次建構出有意義、組織化的知識結構（Ausubel, 1963, 1968）。

二、科學另有概念的定義與特質

另有概念的研究是當前科學教育一個發展快速且重要的領域之一（Fisher & Moody, 2000;

Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994）。雖然許多持有不同知識論和本體論的研究者使用不同的名詞來界定另有概念的意義，但從這類研究的內容觀之，其結果均在呈現學生所擁有的概念或想法與當前公認的科學理論間的差異。故雖用詞互異，但實質上仍十分相似（Duit & Treagust, 1995）。雖然「迷思概念」（misconceptions）一詞廣爲發展科學診斷測驗的科學教育學者所用（Haslam & Treagust, 1987; Odom & Barrow, 1995; Peterson, Treagust, & Garnett, 1989; Tan *et al*., 2002），且其對大衆和科學教師而言最能清楚傳達其含意，但其對學習者的努力帶有些許輕視的意味。另一個被許多研究者所採的名詞「另有概念」，則指學習者依其經驗對某些自然現象和物體所建構之意義。由於該詞既能彰顯建構主義的寓意，又可尊重持有這些想法的學習者，強調另有概念具有情境上的有效性和合理性，且有可能導致科學概念的學習（Wandersee *et al*., 1994），故亦與當前主張科學知識具有變動性和暫時性的科學哲學觀相符。爲呼應當前科學哲學觀之考量，本研究乃以「另有概念」來指稱學生依其經驗所建構而與正式教學（教科書）所教授者有所不同的概念。

一些學者在探討各科學學科另有概念的大量研究文獻後指出，學生會帶著各種關於自然界事物之另有概念進入正式的教學情境中，而與正式教學所呈現的知識發生交互作用，造成非預期的學習結果。這些另有概念通常具有跨越學生年齡、能力、性別和文化的特性，且與早先科學家與哲學家對自然現象所提供的解釋有相似之處。另有概念起源於不同的個人經驗，是學生依其先存之經驗和知識主動建構意義的產物，而因學生的知識和經驗相對於科學家而言較爲貧乏，故其所產生之另有概念大都起自個人所得之有限資料的結論。由於科學教師大都未能有效察覺這些存於學生心中的想法，且單憑傳統的教學策略並不足以去除難以改變的另有概念，唯有採取促進概念改變的教學策略始可奏效（Fisher & Moody, 2000; Wandersee *et al*., 1994）。審視這些科學另有概念的本質，若欲教學措施眞能對症下藥，當務之急實應先有效地偵測出學生另有概念的內容，方能作出合適的處方。

三、遺傳學另有概念研究之回顧

與學生產生遺傳學另有概念有關的因素很多，主要包括學生的認知發展層次（Lazarowitz & Penso, 1992）、教材與教學（Cho, Kahle, & Norland, 1985; Smith, 1991）、日常生活經驗（Deadman & Kelly, 1978; Ramorogo & Wood-Robinson, 1995）等項。此外，根據一些分析科學概念本質的學者（Herron, Cantu, Ward, & Srinivasan, 1977; Merrill, Tennyson, & Posey, 1992）所界定的規準，則遺傳學領域所涵蓋的概念中，有些是專門的詞彙（如：基因（gene）、染色體（chromosome）等）或記號（表徵基因型的英文字母），有些則爲指稱事物的屬性（如：顯性（dominance）、隱性（recessiveness）），這些均屬符號概念。此外，尚有意指在特定時間內以特殊方式所進行的交互作用（如：減數分裂（meiosis）、有絲分裂（mitosis））之事件概念。若由 Chi 和 Slotta（1993）所主張之概念本體來分類科學概念，基因、染色體等概念在本體上是屬於「物質」（matter）一類；減數分裂、有絲分裂的本體則爲「過程」（processes）類中的「程序」（procedure）；而構成減數分裂的各步驟（如：染色體的複製、互換與分離等）又歸屬「過程」類中之「事件」（event）。可見，即使同爲遺傳學範疇的各概念其本體亦不盡相同。當學生賦予所學的概念不當的屬性時，就會因概念表徵與概念本體的類目間之錯誤配對或不相容性而導致另有概念（Chi & Slotta, 1993）。再者，許多遺傳學概念

因其實體無法直接知覺，故其意義其實是由一些想法結合經驗而得，而具抽象概念的性質（Driver, 1983; Lazarowitz & Penso, 1992）。由於此類抽象概念屬微觀層次，無法由感官直接接觸，甚至需透過數學符號來加以表徵和操弄，故常爲學生學習的困難所在（Bahar *et al*., 1999）。基於上述各項導因與遺傳學概念本身的特性，並衡諸認知取向的學習觀點，不難想見何以遺傳學概念長久以來始終成爲中學教學與學習難以擺脫的困擾之一。

綜合以往國內外相關研究發現，學生在遺傳學方面所出現的另有概念相當普遍，且迷思的程度上亦有所差異。以往曾被探討而與本研究相關的遺傳學另有概念包括：「減數分裂」（黃台珠, 1990; 湯清二, 1991, 1993; 楊坤原和陳進利, 1990; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Stewart, 1982, 1983; Stewart & Dale, 1989; Stewart, Hafner, & Dale, 1990）、「有絲分裂」（湯清二, 1991, 1993; Hackling & Treagust, 1984; Lewis & Wood-Robinson, 2000）、「染色體與基因」（黃台珠, 1990; 湯清二, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Pashley, 1994; Stewart, 1982; Stewart & Dale, 1989）、「同源染色體」（homologus chromosome）(黃台珠, 1990, 1993)、「性染色體（sex chromosome）」（湯清二, 1990; Amir, Frankl, & Tamir, 1987; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Ramorogo & Wood-Robinson, 1995）、「基因、對偶基因(allele)」（黃台珠, 1990; 湯清二, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Mertens & Walker, 1992; Pashley, 1994; Stewart, 1983）、「顯性與隱性」（Clough & Wood-Robinson, 1985; Hackling, 1982; Hackling & Treagust, 1984; Simmon, 1987）、「配子（gamate）」（Clough & Wood-Robinson, 1985; Hackling & Treagust, 1984; Tolman, 1982）、「共顯性（codominance）」（湯清二, 1990; 楊坤原和鄭湧涇, 1997; Slack & Stewart, 1990）、「突變（mutation）」（湯清二, 1990; Albaladejo & Lucas, 1988; Hickman, Kennedy, & McInerney, 1978）、「孟德爾遺傳定律（Mendel's law of inheritance）」（黃台珠, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990; Hackling, 1982; Hackling & Treagust, 1984; Simmons, 1987; Stewart, 1982, 1983）、「機率在遺傳學上的應用」（楊坤原和陳進利, 1990; 楊坤原和鄭湧涇, 1997; Hickman *et al*., 1978; Simmons, 1987）、「後天改變的性狀之遺傳」（薛靜瑩, 1998; Clough & Wood-Robinson, 1985; Deadman & Kelly, 1978; Kargob, Hobbs, & Erickson, 1980; Wood-Robinson, 1994, 1995）等項。而其迷思的現象則可區分爲：(1)對概念或定律的意義不清楚、誤解。(2)只記憶字面上的意義而沒有眞正的了解。(3)對相似概念的混淆。(4)無法正確運用機率的原理來推算個體的基因型。(5)對複雜的細胞分裂過程所涉及之基因與染色體之行爲及各步驟的順序缺乏完整的了解等類。

四、另有概念診斷測驗的發展與應用

爲使研究的結果能對教學產生實質的助益，一些生物教育學者已開始蒐集另有概念的研究文獻，發展出適合教室教學使用的診斷測驗，以利中學教師能藉此快速地診斷出學生的生物另有概念，促進教學成效（Haslam & Treagust, 1987; Odom & Barrow, 1995; Tan *et al*., 2002; Treagust, 1988, 1997, 2000）。此外，多位教育測驗方面的專家也提出呼籲，認爲認知心理學和心理計量的發展應充分與教育測驗結合，使之更能精確地診斷出學生的學習錯誤，以對教學有更多的回饋。於是，發展「認知診斷評量」之構想便應運而生（Nichols, 1994; Snow & Lohman, 1989）。學者指出，認知診斷測驗的主要目的，在透過試題的建構、題型的組織和答案的特質來描述評量試題或作業的本

質，以便能從中有效地推論出受試者的知識結構或思考型態（Ippel, 1991; Lohman & Ippel, 1993）。Nichols（1994）也建議，認知診斷測驗的設計應植基於一個理論或模式以描述與測驗表現有關的知識或技能，再據之以發展足以評測有不同知識或技能的受試者之試題。在執行測驗、結果分析與評分後，還需蒐集評測結果的資料，用以作爲修正實質理論的依據。透過不斷的驗證與修正，逐漸累積證據以支持實質理論的正確性。

在科學教育方面，近年來亦有學者提出發展「二段式診斷測驗」(two-tier diagnostic test) 的具體程序。此一程序共分三個階段，十個步驟（Treagust, 1988, 1997; Odem & Barrow, 1995），包括：

(一)界定內容 — 包含四個步驟

1. 分析所界定之學科單元內容，確認命題陳述（proposition knowledge）。
2. 發展學科內容所含概念之概念圖。
3. 檢視概念圖所含的概念與命題陳述均涵蓋相同的內容。
4. 效化內容：請科教學者和科學教師效化與修正命題陳述和概念圖。

(二)收集關於學生概念的訊息 — 包含三個步驟

5. 回顧相關的研究文獻，以建立發展選擇題的訊息基礎。
6. 執行非結構化的學生晤談，以求對所欲探究的學生概念有更廣泛的觀點。
7. 發展帶有自由回答項目之選擇題式的試題：每題題後均有一處可讓受試學生填寫爲何選擇某一選項的原因，以便由各題之自由回答的部分，發現更多學生的想法。

(三)發展診斷工具 — 包含四個步驟

8. 發展二段式的診斷工具：每個題目的第一部份是選擇題，主要在評測學科單元的內容知識。第二部分的選擇題每題均包含幾個可能選答某一選項的原因。這些原因包括正確的答案、經確認的另有概念或純粹是錯誤的答案。評分時唯有二段都答對才算正確。
9. 設計一個細目表（specification grid），用以確保診斷工具能均勻、完全地涵蓋學科單元內容所含之命題敘述和概念圖中的所有概念。
10. 不斷的改良：透過持續地回顧學生概念之研究文獻、晤談學生和收集相關的試題等方式，針對診斷測驗的試題不斷地加以改良或修正，以使該測驗能迎合需要。

經由諸位主張診斷測驗的學者所提的理念與方法之比較，可以發現診斷測驗的發展均需以相關的理論作爲設計測驗試題的基礎，且其內容應著重於學習者的想法（概念）。此外，診斷測驗應可透過試題及其選項的設計與安排，使研究者能從受試者選擇的答案項目中，推測其內在的想法或思考。而隨著所收集的實證資料之累積，測驗發展者更應不斷驗證理論基礎與試題內容，使試題隨時得以保有診斷的功能。

叁、研究方法

一、研究樣本

本研究以桃園縣各國中學過國中教科書下冊之「生殖」與「遺傳」二單元的一年級學生爲母群體。因桃園縣各國中大都採常態編班，故本研究乃兼採隨機取樣（random sampling）與叢集取樣（cluster sampling）的方式進行取樣。共選取桃園縣六所國中 43 班爲樣本，所抽到的班級之全部學生皆爲研究對象。在剔除無效樣本後之總樣本數爲 1606 名學生，其中男生 913 名，女生 693 名。

由於本研究的母群體爲桃園縣之國中一年級學生，故研究結論如欲推演至該縣以外地區之國中學生，應十分謹愼。

二、研究過程

(一)國中適用之「遺傳學二段式診斷測驗」（Two-Tier Diagnostic Test for Genetics, TTDTG）的發展

參照 Treagust（1988, 1997）與 Nichols（1994）的建議，TTDTG 的發展程序如下：

1. 首先確定以 Ausubel（1963, 1968）所提之認知同化理論與有意義的學習理論作爲發展 TTDTG 的理論依據。
2. 以現行國中生物教科書下册（國立編譯館, 2001）中「生殖」與「遺傳」二單元（第七、八章）爲主要範圍，針對二者之教材進行內容分析(content analysis)，並據以撰寫命題陳述（表 1）和發展概念圖（圖 1）。之後，再檢查命題陳述和概念圖間的關聯性，視二者所含的內容是否相同。
3. 敦請一名於大學任教遺傳學與科學教育之生物教育學者、二名具十年教學經驗之國中生物教師和一名大學遺傳學教授審閱命題陳述和概念圖，並依其建議作修正。
4. 分析國內、外遺傳學另有概念與解題之相關文獻（共 52 篇），作爲發展診斷試題的基本素材。
5. 隨機選取桃園縣內分別位於市區（中壢市）與偏遠鄉間（新屋鄉）各一所國中，每校 4 名自願、修過遺傳學且具不同生物科學業成就之二年級學生進行非結構化晤談，藉以發現更廣泛的遺傳學另有概念之情況。結果發現，接受晤談的學生所出現之另有概念主要集中於「基因、染色體與 DNA 的關係」、「顯性與隱性」、「機率在遺傳學上的應用」和「孟德爾遺傳定律」等項（表 2）。此外，並訪談上述兩校三位生物科教師，以了解其在遺傳學單元之教學心得與建議，同時列爲編擬試題之參考。
6. 綜合上述文獻分析、非結構化晤談、教師訪談的結果和蒐集自桃園縣三所國中的遺傳學測驗試題，設計 TTDTG 初稿。整份調查表共包含 20 個二段式選擇題，每題的第一段爲一個供學生判斷正誤之命題陳述，第二段則含 4 個得自文獻分析、非結構化晤談、教師訪談和三所國中曾考過之遺傳學試題之資料所設計的選項。此外，每題的第 5 選項爲「其他」，其後均有一處可讓學生自由填寫原因。
7. 將初步設計的試題初稿，再經上述之生物教育學者、國中生物教師和大學遺傳學教授進行內容效度考驗後，於民國九十年四月上旬（約爲國中生物第八章教完後一週）隨機抽取桃園縣二所國中共 207 位一年級學生進行預試，以修訂初稿試題，並整理受試學生的答題結果。在每題自由回答的部分，共有 21 位受試學生在 8 個題目的「其他」處填寫自己認爲正確的原因。經研究者與另一位生物教育學者歸納並判斷後，發現除其中 2 位學生自寫的原因可於日後考慮列爲選項外，其餘多爲對試題之第一部分的命題陳述或第二部分的選項之補充或另一種同義的敘述。這些資料均將於編製正式試題時，作爲修正命題陳述或原因選項的用詞之參考。
8. 依預試之結果，去除一題試題—總分相關（item-total correlation）值較小且內容略超出現行教科書之題目後，編擬 TTDTG 的正式試題。整份調查表共 19 個選擇題，每個試題的第一部份爲命題陳述，第

表 1：遺傳學命題陳述—遺傳學概念診斷測驗試題細目表

主概念	次概念	命題陳述	題號
一、細胞分裂的過程與結果。	●有絲分裂的過程與結果。	1.生物細胞長到一定大小時，便會進行細胞分裂以產生新細胞。細胞分裂時，每一條染色體在細胞分裂前會複製成兩條，所以，細胞分裂後所產生的兩個子細胞均含有與原來細胞相同數目的染色體。	3
	●減數分裂的過程與結果。	2.生物在產生配子時，染色體會先複製一次，再經過二次細胞分裂，產生四個子細胞。如此，將使配子中所含的染色體套數僅爲原細胞的一半。此一過程稱爲減數分裂。	8 14
		3.親代的生殖母細胞進行減數分裂形成配子時，成對的同源染色體分離，各對基因也隨著染色體而分離，因此精子或卵中僅具有各對基因中的一個。	
二、生物的有性生殖。	●有性生殖與基因的傳遞。	4.有性生殖涉及受精的過程，需由生物的雌性與雄性個體分別提供雌配子（卵）與雄配子（精子或精細胞），相互結合成一個受精卵，再由受精卵發育成一個新個體，親代的基因則經由精子和卵的染色體而遺傳給子代。	12 13
	●後天改變的性狀不能遺傳。	5.後天獲得的性狀若未涉及生殖細胞中的遺傳物質，則不會遺傳給後代。	17
三、基因控制性狀的遺傳。	●基因、染色體與 DNA 的關係。	6.染色體是一種由遺傳物質 DNA 所組成的構造。	5
		7.基因是指控制某一性狀的 DNA 片段，位於染色體上。每一條染色體上有許多不同的基因，它們分別控制不同的性狀。	
	●成對的基因（對偶基因）會控制性狀的表現。	8.控制一種性狀的基因通常是成對的，分別位於一對同源染色體的相對位置上。	4
	●基因有顯性和隱性之分。	9.孟德爾經豌豆的遺傳實驗後認爲，控制生物遺傳性狀的基因有顯性與隱性之別，可分別用英文字母的大寫和小寫來表示。當顯性與隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來。	15
四、染色體的定義與成因。	●同源染色體的定義。	10.生物細胞中各種形式的染色體都有兩條，這兩條成對且同形狀的染色體稱爲同源染色體。	7
	●雙套染色體的定義與成因。	11.體細胞中具有兩條成對的染色體，即雙套染色體。配子細胞中則具有成對染色體中的一條，即單套染色體。一旦雌雄配子結合後，受精卵又恢復成具有雙套染色體。	11
五、孟德爾遺傳定律。	●由孟德爾的遺傳實驗結果推知的顯性律。	12.孟德爾經豌豆的遺傳實驗後認爲，控制生物遺傳性狀的基因有顯性與隱性之別，可分別用英文字母的大寫和小寫來表示。當顯性與隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來。	1 2 9 10

	●由孟德爾的遺傳實驗結果推知的分離律。	13..親代的生殖母細胞進行減數分裂形成配子時，成對的同源染色體分離，各對基因也隨著染色體而分離，因此精子或卵中僅具有各對基因中的一個。	16
	●由孟德爾的遺傳實驗結果推知的獨立分配律。	14.孟德爾由豌豆雜交實驗指出，細胞中成對的基因彼此獨立不混合，並在形成配子時彼此分離。	
六、人類性別的遺傳。	●男女性的性染色體。	15.人類細胞所含的染色體中有一對能決定個體的性別，稱爲性染色體。在女性這對染色體爲 XX；在男性這對染色體爲 XY。	19
	●性染色體決定人類的性別。	16.人類精子有一種是 22 條普通染色體加一條 X 染色體（22＋X），而另一種精子則是 22 條普通染色體加一條 Y 染色體（22 ＋ Y）。人類的卵子只有 22 條普通染色體加一條 X 染色體（22 ＋ X）一種。當卵和 22＋X 的精子結合，將會生下女孩；而和 22＋Y 的精子結合，將會生下男孩。	18
七、遺傳物質的突變。	●突變的意義與結果。	17.若遺傳物質產生變異而影響到生物的遺傳性狀，這樣的變異稱爲突變。	6
		18.突變並不經常發生，大多對個體本身或其後代有害，但偶而也會產生有利的新基因。	

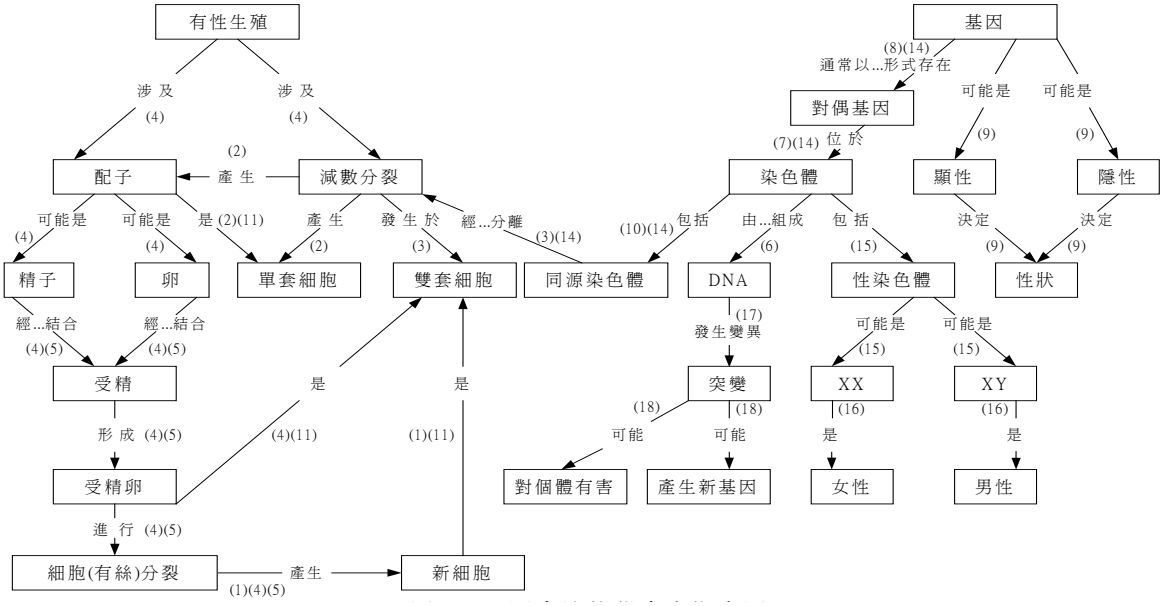


圖 1：國中遺傳學專家概念圖*

*括號中的數字爲相對應之命題陳述

二部分爲每題包含 4 或 5 個可能選答某一選項的原因。而這些原因中有正確者、另有概念或純粹錯誤的誘答。學生唯有在每題的兩個部分都答對才算完全答對。施測時間約爲 30~35 分鐘。

9. 爲確保本調查表的內容能均勻、完全地涵

表2：八名學生於非結構化晤談時所出現之遺傳學另有概念

基因、染色體與 DNA 的關係

1.DNA 位在染色體上

2.染色體上面有控制遺傳的物質 DNA。

3.染色體裏面有 DNA，DNA 裏面有基因。

4.基因組合成染色體。

5.DNA 位在基因上。

6.染色體是基因的片段。

7.一條染色體上只能帶有二個基因。

顯性與隱性

1.大多數的個體都會表現的性狀就是顯性。

2.顯性比隱性厲害。

3.性狀表現出來的就是顯性性狀，性狀沒有表現出來的就是隱性性狀。

4.兩種隱性性狀碰在一起會產生某種遺傳疾病。

機率在遺傳學上的應用

●若一對夫婦所生的四個小孩中有三個能捲舌，一個不能捲舌，則出現捲舌的機率爲四分之三，不能捲舌的機率爲四分之一。

孟德爾遺傳定律

●不知道爲何要用二個小寫字母來代表控制一種性狀的基因。

8.雄果蠅的一個生殖母細胞經過減數分裂後可產生八個雄配子。

□對 □錯

原因：

①減數分裂的過程經過二次分裂，而每次分裂可產生四個子細胞，所以共可產生八個雄配子。

②減數分裂時，染色體會複製一次而產生二份染色體，並將之等分到二個子細胞中，故可產生二個雄配子。

③減數分裂時，必須經過一次染色體複製和二次分裂，所以每次減數分裂會產生四個雄配子。

④爲使雄配子含有與原來細胞中數目相同的染色體，因此一次減數分裂會先發生二次分裂，再進行一次染色體複製，產生八個雄配子。

圖2：「遺傳學二段式診斷測驗」之第8.題

蓋所欲診斷的單元內容之命題陳述和概念圖中各概念的關係，再由預試時的國中教師與專家學者以「遺傳學命題陳述—二段式遺傳學診斷測驗試題細目表」（表1）審查內容效度。

10.編製完成之 TTDTG（例題如圖 2）於民國九十年五月上旬以隨機選取之桃園縣六所國中共 43 班修過「生殖」與「遺傳」單元的學生正式施測。

(二)資料分析

將受試學生正式施測所得的答題結果收集後，先針對學生在第一段和第二段選項的正誤進行批閱，唯有在每題的兩個部分都答對才算完全答對。在此同時亦一併分析全體

學生於第二段部分選擇各試題每一選項及其百分比，以歸納學生所出現之遺傳學另有概念。

進行答題正誤批閱後所得的數據資料，依全體學生 TTDTG 總分的最高與最低之 27 % 區分爲高、低分組。由以高分組答對百分比加低分組答對百分比再除以二，求取 TTDTG 的難度。而後，再由高、低分組答對每一題的人數之百分比的差，分別算出 TTDTG 各題之鑑別度指數。最後，則以 SPSS PC 9.0（SPSS, 1999）版電腦統計套裝軟體程式之「信度分析」（Reliability analysis）指令求取 TTDTG 之信度（Cronbach α係數）值。

肆、結果與討論

一、「遺傳學二段式診斷測驗」（TTDTG）之試題分析與信度

由正式施測的結果（表 3）得知，就本研究所施測之國中一年級學生而言，TTDTG 的鑑別度指數介於 0.11~0.68 之間，其中 0.10~0.19 者 2 題，0.20~0.29 者 1 題，0.30~0.39 者 2 題，0.40~0.49 者 2 題，0.50~0.59 者 5 題，0.60~0.69 者 7 題，鑑別度指數之平均值爲 0.48。難度指數介於 0.16~0.70 之間，其中 0.10~0.19 者 1 題，0.20~0.29 者 2 題，0.30~0.39 者 4 題，0.40~0.49 者 6 題，0.50~0.59 者 3 題，0.60~0.69 者 2 題，0.70~0.79 者 1 題，難度指數之平均值爲 0.45。內部一致性信度（Cronbach α）值爲 0.73。

參照學者之建議，鑑別度指數小於 0.30 的試題宜加以修正，然決定試題取捨或修正與否的關鍵，乃在考量其評測內容的重要與否（Ebel & Frisbie, 1991）。據此觀點，TTDTG 的第 5、10 與 12 三題因鑑別度指數小於 0.30，本應考慮加以修改。但因第 5 題的內容在診斷學生對「基因、染色體與 DNA 的相互關係」的另有概念，此一另有概念不僅在訪談生物教師時多被提及，在以往國內外的研究文獻（黃台珠, 1990; 湯清二, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Pashley, 1994; Stewart, 1982; Stewart & Dale, 1989）和本研究之學生的非結構化晤談中也被發現，而此一概念亦爲遺傳學的重要概念，故予以保留。第 12 題係引自國中生物教科書中第八章第七節「討論」之問題，旨在偵測學生是否了解表兄妹通婚可能對子代造成影響的原因。若教師未能於上課中說明或學生未主動尋找答案，則可能未必能正確回答此題。另第 10 題的命題敘述是透過一個涉及孟德爾遺傳定律的模擬情境來表達，是否因此而造成答題之影響，有待進一步確認。整體而言，第 10、12 兩題將於日後配合學生概念研究文獻之持續探討、晤談其他學生和收集更多各校相關的試題等方式，再加改良或修正，以使本調查表能更迎合實際的需要。

試題的難度指數之大小同時受到試題內容與受測者答題所需的能力之影響（Ebel & Frisbie, 1991）。由表 3 中各題的難度指數及其分佈範圍觀之，可知 TTDTG 涵蓋各種難度的試題，而難度指數大多集中於 0.30~0.60 之間。全體學生在 TTDTG 各題的一段和二段的答對率如表 4 所示。由表中可見，學生答對第一段的百分比介於 21 %~93 %之間，而二段均答對的百分比則爲 16 %~70 %之間。由於二段式的設計可降低猜對答案的機率，且學生雖知道遺傳學的內容知識，卻未必瞭解其背後正確的原因，故各題完全（二段）答對之百分比均低於只答對第一段之百分比。由此反映出學生在經過教學後，雖已習得一些事實而具有部分遺傳學概念，但對 TTDTG 所偵測的遺傳學命題和概念尚未完全瞭解，而有若干的另有概念存在。在以往診斷測驗的研究中，研究者（Gilbert, 1977; Peterson *et al*., 1989）多以每題（四或五

表3：「遺傳學二段式診斷測驗」的特性一覽表

所調查之遺傳學概念（題號）：	細胞分裂（3）		
	減數分裂（8，14）		
	基因控制性狀表現（4，12，13）		
	染色體、基因與 DNA 的關係（5）		
	同源染色體的定義與辨識（7）		
	雙套染色體的定義與成因（11）		
	顯性基因與隱性基因（15）		
	性染色體的存在與性別的決定（18，19）		
	後天改變的性狀之遺傳（17）		
	突變的意義與結果（6）		
	孟德爾遺傳定律（1，2，9，10，16）		
內容依據：	經過審閱之遺傳學命題敘述和概念圖（主要係以國民中學生物教科書下册第七、八兩章之內容爲範圍）		
題數：	19		
答題方式：	二段式單一選擇題。第一段是遺傳學內容知識，第二段是選項的原因。		
適用年級：	國中一年級		
作答時間：	30 - 35 分鐘		
鑑別度指數：	平均鑑別度	範　　圍	題數
	0.48	0.10 - 0.19	2
		0.20 - 0.29	1
		0.30 - 0.39	2
		0.40 - 0.49	2
		0.50 - 0.59	5
		0.60 - 0.69	7
難度指數：	平均難度	範　　圍	題數
	0.45	0.10 - 0.19	1
		0.20 - 0.29	2
		0.30 - 0.39	4
		0.40 - 0.49	6
		0.50 - 0.59	3
		0.60 - 0.69	2
		0.70 - 0.79	1
Cronbach α信度：	0.73		

選一的選擇題）的答對率達 75 %來代表學生對該概念的學習已獲滿意的結果。依此判準，因學生於 TTDTG 各題的答對率均不及 75 %，故本次受試的國一學生之遺傳學概念學習結果

表 4：學生在「遺傳學二段式診斷測驗」答對第一段與二段均答對之百分比（N＝1606）

題號	答對第一段之百分比（%）	二段均答對之百分比（%）
1	88	48
2	71	57
3	52	38
4	63	47
5	75	33
6	87	64
7	47	34
8	61	48
9	67	40
10	42	26
11	47	25
12	21	16
13	80	56
14	48	39
15	58	43
16	68	56
17	93	70
18	81	64
19	56	44

尚有待加強。

從教育測驗的觀點來看，欲判斷一個測驗之信度的高低並無絕對的標準，需視該測驗之目的而定。一般而言，若依測驗分數所作的決定是關乎群體而非個人，則可被接受之最小信度值約爲 0.65（Ebel & Frisbie, 1991）。依此說法，則 TTDTG 的信度（Cronbach α = 0.73）應可符合此一要求。

二、國中一年級學生之遺傳學另有概念

在本研究所設計的二段式試題中，唯有二段均答對者才表示對該題所診斷的遺傳學概念有正確的了解，若二段中只有答對其中一段，則代表學生仍存另有概念。TTDTG 各試題所涵蓋的遺傳學概念如表 1 中的命題陳述所示。爲了儘量避免遺漏診斷結果的呈現，本研究參考 Tan 等人（Tan *et al*., 2002）的做法，乃將 10 %以上的學生均持有的遺傳學另有概念依所診斷的概念加以分類整理後列於表 5，並分述如下。

(一)細胞（有絲）分裂的結果

人類各種細胞最初都是由受精卵行有絲分裂而來，雖然經細胞分化而使不同細胞各具不同的功能，但人體各細胞所含的遺傳物質應該都是一樣的。因有絲分裂的結果可產生二個具有相同染色體的子細胞，故其在生物學上的意義係爲維持母細胞與子細胞間遺傳物質的不變性（國立編譯館, 2001; Campbell, Reece, & Mitchell, 1999）。據此，學生欲判斷「具有不同功能之人類的神經細胞和肌肉細胞具有完全相同的遺傳物質」（TTDTG 之第 3 題）之正誤與原因，應先具有此概念。

評測結果得知，12.8 %的學生認爲由細胞分裂產生的子細胞會具有不同的遺傳物質。32.2 %的學生以爲，因遺傳物質會控制細胞的功能，所以人類的神經細胞和肌肉細胞應含有不同的遺傳物質。此一結果與一些學者的研究發現相同（Hackling & Treagust, 1982, 1984; Lewis & Wood-Robinson, 2000）。雖人類性狀的表現係受遺傳物質（DNA）所構成的基因所控制，但各種細胞所表現的不同功能則是細胞分化的結果，若學生未能釐清此一差異，就可能產生誤解。至於是否如 Radford 和 Bird-Stewart（1982）所言，因教師常以講述的方式來教授有絲分裂與減數分裂這二個看似相近的過程，而導致學生具有「有絲分裂所產生的細胞具有不同的遺傳物質」的混淆，頗值進一步探討。

(二)減數分裂的過程與結果

減數分裂是生物產生生殖細胞的一種細胞分裂。細胞行減數分裂時，同源染色體將經歷複製、配對和分離等過程。因正常的減數分裂

表 5：全體學生於「遺傳學二段式診斷測驗」答題結果所出現之遺傳學另有概念與百分比

遺傳學另有概念	百分比（%）	題號
細胞（有絲）分裂的結果		
1. 由細胞分裂產生的細胞會具有不同的遺傳物質。	12.8	3.
2. 因遺傳物質會控制細胞的功能，而人類的神經細胞和肌肉細胞各有不同的功能，故應具有不同的遺傳物質。	32.2	3.
減數分裂的過程與結果		
1. 減數分裂的過程有二次分裂，每次分裂均可產生四個子細胞，故一次減數分裂共可產生八個子細胞。	22.4	8.
2. 減數分裂的過程是由一個母細胞先分裂成二個具半數染色體的子細胞，而後每個子細胞的染色體進行複製，再各自分裂成二個具半數染色體的子細胞。	32.5	14.
3. 減數分裂時，親代細胞中的染色體在第一次分裂時，會全部移到一個子細胞中，而另一個子細胞由親代細胞複製。之後，二個子細胞再經第二次分裂，將染色體平分到四個子細胞。	11.3	14.
基因控制性狀表現		
1. 因爲 R 基因可控制顯性性狀，r 基因可控制隱性性狀，故一對基因（*Rr*）可同時控制顯性和隱性基因。	27.3	4.
2. 無論父母雙方所具有的性狀是顯性或隱性，子女都只會遺傳雙親的顯性性狀。	16.6	13.
3. 近親結婚容易使男女雙方各自具有的基因在結合後發生突變，而使子代出現不良的性狀。	10.1	12.
4. 近親結婚會增加男女雙方的隱性基因結合而發生突變的機會，而使子代出現不良的性狀。	59.5	12.
顯性基因與隱性基因		
●因隱性基因控制性狀表現的能力比顯性基因弱，所以隱性性狀較少表現出來。	18.0	15.
同源染色體的定義與辨識		
●同源染色體是指任何兩條相鄰且顏色、形狀均相同的染色體。	15.8	7.
染色體、基因與 DNA 的關係		
1. 染色體只是一種承載 DNA 的構造，並非由 DNA 組成。	24.4	5.
2. 基因位在 DNA 上，DNA 位在染色體上。	15.7	5.
雙套染色體的定義與成因		
1. 細胞行減數分裂時，染色體會從中間斷裂成兩半，形成單套染色體。待受精後，二個配子的染色體再度結合，染色體又恢復成一條，稱爲雙套染色體。	31.1	11.
2. 一對同源染色體上只具有一個基因者，稱爲單套染色體。一對同源染色體上具成對基因者，稱爲雙套染色體。	22.0	11.
3. 雙套染色體是指經複製後的染色體。	11.0	11.
後天改變的性狀之遺傳		
●如果親代後天獲得或失去的性狀對其生命而言並不重要，則該性狀不	11.6	17.

會遺傳給子代。		
性染色體		
1. 人類的性染色體只存於精子和卵中。	20.7	19.
2. 除了生殖細胞和構成生殖器官的細胞外，人類的其他細胞都不具性染色體。	11.8	19.
孟德爾遺傳定律		
1. 一對因子雜交的第一子代得自雙親的基因會彼此混合，使第二子代只會出現顯性性狀。	31.1	1.
2. 因純品系的親代交配後所得的第一子代只有顯性性狀才會表現出來，因此第一子代成熟後也只能產生帶有顯性基因的配子。	25.8	9.
3. 分別以不同的英文字母（A 和 b）來代表控制某一性狀表現的顯性基因和隱性基因。	38.2	10.
4. 無論親代的基因爲何，子代中顯性與隱性性狀出現之比例必爲 3:1。	13.5	2.

包含二次分裂，但只有一次染色體複製，故減數分裂的結果可產生 4 個僅具母細胞之半數染色體的子細胞（配子），其主要的功能在造成配對染色體的隨機分配，使生物體的染色體數維持正常。由於染色體隨機的分配促使對偶基因分離，因而增加生物族群內基因隨機組合的機會，以利產生適應環境變異之個體（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。

以往的研究發現，學生對減數分裂的定義、過程和結果都存有各種另有想法(Kindfield, 1991a, 1991b, 1994)。在本研究中，有 22.4 % 的國一學生以爲因減數分裂的過程經過二次分裂，且每次分裂均產生 4 個子細胞，故一次減數分裂共可產生 8 個子細胞。32.5 %的學生對減數分裂過程的次序有誤解，而謂減數分裂的過程是由一個母細胞先分裂成 2 個具半數染色體的子細胞，而後每個子細胞的染色體進行複製，再各自分裂成 2 個具半數染色體的子細胞。這與 Kindfield（1991a）的研究結果相近。另有 11.3 %的學生不清楚減數分裂過程染色體之行爲，而誤以爲減數分裂時，親代細胞中的染色體在第一次分裂後，會全部移到一個子細胞中，而另一個子細胞的染色體則由親代細胞染色體的複製而來。之後，二個子細胞再經第二次分裂，將染色體平分到四個子細胞。此與黃台珠（1990）以高一學生爲樣本的研究有相同的發現。由於 TTDTG 的第 8 與 14 題係分別以文字敘述與圖示的方式來偵測學生對減數分裂過程的了解，由診斷結果得知，上述出現各種另有概念之學生雖學過國中生物教科書（國立編譯館, 2001），卻未必能將書中關於減數分裂過程的文字敘述與所呈現的圖示（國中生物教科書下册第 5 頁圖 7-6）用於第 8、14 兩題的回答上。由此推測，這些學生對減數分裂概念尚未完全了解。

(三)基因控制性狀表現

控制一種性狀的基因通常是成對的，分別位於一對同源染色體的相對位置上。控制生物遺傳性狀的基因有顯性與隱性之別，當顯性與隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。而一般人因帶有數個遺傳自祖先之不良隱性基因，故當近親婚配時，其所生的子代中這些隱性基因所控制的性狀，將較有得以表現的機會（王作仁, 1991）。在本工具中的第 4 題旨在評測學生是否了解一種性

狀通常由一對基因所控制。第 12 題則診斷學生對「近親爲何不能結婚」的遺傳學原理可能具有之想法。第 13 題從胎兒在母親子宮中發育與出生後受到母親照顧較多等現象，偵測學生對子代的性狀表現受雙親遺傳的基因所控制所存之另有概念。

歸納學生的選項後發現，27.3 %的學生認爲因 *R* 基因可控制顯性性狀，而 *r* 基因可控制隱性性狀，故一對基因（*Rr*）應可同時控制顯性和隱性兩種性狀。若學生能了解一種性狀通常由一對基因所控制，且當顯性和隱性基因同在時，則會表現顯性性狀（孟德爾遺傳定律之顯性律），則應可知道一對基因 *Rr* 只能控制一種性狀，且該所表現出來的爲顯性性狀。16.6 % 的學生指出，無論父母雙方所具的性狀是顯性或隱性，子女都只會遺傳雙親的顯性性狀。由於子代究竟會出現顯性或隱性性狀是由雙親的基因組合來決定，且表現於子女身上的性狀未必都是顯性性狀。由此觀之，此類學生的另有概念背後可能對這些相關概念沒有正確的了解。因在表 2 的晤談結果中，確有學生持有大多數個體都會表現出來的性狀就是顯性性狀之想法，故此一推測應亦有其可能性。

關於爲何禁止近親通婚的規定所涉及之遺傳學原理，有 10.1 %的學生認爲是因近親結婚會使男女雙方各自具有的基因在結合後發生突變，而使子代出現不良的性狀。更多（59.5 %）的學生認爲，近親結婚易使子代出現不良性狀的原因，是因這會增加男女雙方的隱性基因結合而發生突變的機會。由此推測，學生大都將子代會出現不良性狀的原因，歸咎於和基因突變或隱性基因突變有關。雖此一問題的設計取材自國中生物教科書下册第八章第七節的內容 (國立編譯館, 2001)，是一個供學生或師生討論的問題。然由本研究發現，尚有超過半數的學生並未正確了解此事的遺傳學原理。可見未來若再討論此一問題時，教師應明述眞正的原因，並指出基因結合未必會造成基因突變，以改變此一另有概念。至於除教學外，是否有其他可能之因素造成這些另有概念，則有待更多研究確證之。

(四)顯性基因與隱性基因

孟德爾當年經豌豆的遺傳實驗後認爲，控制豌豆遺傳性狀表現的因子（即後來所稱的基因）有顯性與隱性之別。當顯性與隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來。然顯性和隱性其實並非基因本身的特性，而是某一基因型（genotype）中基因座（locus）作用的結果（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。TTDTG 中的第 15 題即以此一概念爲核心，請學生判斷「明顯出現於許多人身上的一種性狀必爲顯性性狀」之命題的對錯，並指出原因。

以往的一些研究指出，由於學生常將「顯性」與外顯、較常出現、較（隱性）強勢等想法相聯結，使之對「顯性」一詞的性質具有不完全正確的了解（Donovan, 1997; Hackling, 1982; Pearson & Hughes, 1988）。Hackling（1982）的研究發現，學生認爲顯性基因較隱性基因強勢，顯性基因的力量勝過隱性基因。而在本研究中，也有 18.0 %的學生認爲，因隱性基因控制性狀表現的能力比顯性基因弱，所以隱性性狀較少表現出來。這種將日常生活用語一般性的意義與遺傳學上的定義相混淆的現象，即所謂「錯誤的關聯」（misassociation）（Pearson & Hughes, 1988）。在陳筱莉和林陳涌（2001）以我國國一學生爲樣本的研究中也發現，文字的常用語意的確會影響學生對科學專有名詞的認識。另在表 2 的晤談結果也有人認爲顯性比隱性利害。由此推測，形成本研究的學生所持之另有概念之原因，詞意的混淆可能是其中之一。此外，也有學者認爲一些教科書的敘述將顯性與隱性誤導爲競爭和敵對的觀點，亦爲造成學生對顯隱性概念具另有概念之

原因（Donovan, 1997）。在國中生物教科書下冊第八章第七節描述顯性和隱性的定義處（第24 頁），雖有說明「當顯性和隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來」（國立編譯館, 2001），但學生若未能意識到顯性和隱性其實並非基因本身的特性，而是顯性基因和隱性基因作用的結果，則難免還是可能會受「顯」、「隱」字義的左右。

(五)同源染色體的定義與辨識

生物細胞中各種形式的染色體都有兩條，這兩條成對且同形狀的染色體稱爲同源染色體（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。本診斷工具的第 7 題直接以一個細胞中含甲、乙、丙、丁 4 條染色體（其中甲、丙和乙、丁具相同形狀，甲、丁和乙、丙具相同顏色），讓學生判斷那二條是同源染色體，藉以診斷是否具同源染色體的另有概念。

雖然生物教科書（國立編譯館, 2001）中使用文字與彩圖來介紹何謂同源染色體，但仍有 15.8 %的學生將同源染色體定義爲任何兩條相鄰且顏色、形狀均相同的染色體。至於學生爲何會將顏色也視爲同源染色體的性質之一，可能是受到教科書中有顏色標示的同源染色體所誤導。黃台珠（1990, 1993）也指出，因中學教科書只描述同源染色體的特徵而沒有清楚的解釋，且國內之國高中教材對同源染色體的顏色標示不一，使學生反而會因顏色的標示而徒增辨識上的困擾。可見，因教材圖示而造成學生的迷思概念不無可能。圖形的功能應是在幫助學習者了解文字敘述的意義，並使抽象的概念視覺化。若學生無法因此編排而獲益，則可能徒增學習者認知負荷（cognitive load），而無法發揮功能（Chalender & Sweller, 1991）。據 Chalender 和 Sweller（1991）的研究指出，教科書的圖示若能加入必要的文字以說明重要的細節，便可指引學習者找到學習重點。故爲避免因圖示所造成的誤解，而使教科書也淪爲造成學生迷思概念的原因之一，建議原圖示於日後可考慮依 Chalender 和 Sweller（1991）的建議修正之。

(六)染色體、基因與 DNA 的關係

染色體是一種由遺傳物質 DNA 所組成的構造。基因是指控制生物體某一性狀的 DNA 片段。控制一種性狀的基因通常是成對的，分別位於一對同源染色體的相對位置上。每一條染色體上帶有許多不同的基因以控制不同的性狀表現（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。

由於均屬抽象概念，大部分的學生對基因與染色體的意義、二者間的差異和相互關係均感困擾（湯清二, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990; Donovan, 1997; Lewis & Wood-Robinson, 2000, Stewart, 1982）。此一現象在本研究中亦然。24.4 %的學生認爲染色體只是一種承載 DNA 的構造，但其並非由 DNA 所構成。15.7 %的學生認爲基因位在 DNA 上，而 DNA 位在染色體上。由分子遺傳學的觀點來看，染色體主要是由 DNA 所構成，基因則是位在染色體上能控制某一性狀表現的一段 DNA（Tamarin, 1991）。而在國中生物教科書第七章中亦提及「染色體位於細胞核內，它是一種承載遺傳物質 DNA 的構造，…」；另第八章第一節則有「控制生物遺傳的基本物質是 DNA，而基因則是指控制某一性狀的 DNA 片段」與「基因位在染色體上」等描述（國立編譯館, 2001）。而由表 2 的晤談結果中可以看見，有些學生的確持有「染色體上面有控制遺傳的物質 DNA」、「染色體裏面有 DNA」或「DNA 位在染色體上」的想法，據此推測，本研究的學生出現另有概念的關鍵之一，有可能係因其未能了解染色體的本質其實就是 DNA，而把染色體和 DNA 視爲二種不同的物質。究竟學生是否會因受課文敘述的影響，而對「染色體只是一種承載 DNA 的構造」有不正確的解讀，於是出現上述觀點，

抑或有其他的因素造成學生模糊的認知，尚待更多研究予以證實。

(七)雙套染色體的定義與成因

生物的體細胞中具有兩條成對的染色體，即雙套染色體（diploid）；生物的配子細胞中僅具成對染色體中的一條，即單套染色體（monoploid）。一旦雌雄配子結合後，受精卵才又恢復成具有雙套染色體的細胞（國立編譯館，2001; Campbell *et al*., 1999）。TTDTG 中的第 11 題之用意，即在診斷學生對雙套染色體的定義與成因（由配子結合而形成或由染色體複製而得）存有那些另有概念。

31.1 %的學生以爲單套染色體是指由減數分裂所形成之半條的染色體；而受精後使兩半條的染色體再結合成完整的一條染色體，此爲雙套染色體。這類學生可能是將半條染色體視爲單套染色體，而把整條染色體視爲雙套染色體，於是產生誤解。另 22.0 %的學生將一對同源染色體上只具一個基因者，定義爲單套染色體；一對同源染色體上具成對基因者，則爲雙套染色體。除了不具對偶基因的概念外，這些學生有可能是把染色體的套數與基因的個數（單套 — 一個基因；雙套 — 一對基因）錯誤聯結所致。此外，有 11.0 %的學生認爲雙套染色體是指經複製後的染色體。這些學生可能不知道雙套染色體是由二個具單套染色體的生殖細胞經受精後而形成。其他研究也發現到這種因對染色體的套數和結構間的相對關係不清楚而產生各種令另有概念的現象，其成因係學生誤將教材圖示中之複製後呈 X 形的染色體視爲雙套染色體，將未複製的單條染色體視爲單套染色體而導致（Kindfield, 1991a, 1991b）。

(八)後天改變的性狀之遺傳

生物的有性生殖涉及受精的過程，需由其雌性與雄性個體分別提供雌配子（卵）與雄配子（精子或精細胞），二者相互結合成一個受精卵，再由受精卵發育成一個新個體。親代的基因則經由精子和卵中的染色體（基因）而遺傳給子代。因此，後天改變（獲得或失去）的性狀若未涉及生殖細胞中的遺傳物質之變異，則不會遺傳給後代（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。本診斷測驗之第 17 題即藉由一對夫婦因車禍失去雙手，但其兒女日後仍會具有雙手的情形，要求學生判斷對錯，並選出原因。

結果發現，如果親代後天的變異對其生命而言並不重要，則有 11.6 %的學生判斷該性狀將不會遺傳給子代。換言之，這些學生是以該項變異對當事者生命的重要與否、是否會影響個體的功能爲依據，而未必考慮到該項改變是否發生於生殖細胞。這種以拉馬克式的觀點來解釋後天改變的性狀之遺傳者，亦見於薛靜瑩（1998）、Kargob 等人（1980）、Lawson 和 Thompson（1988）、Springer 和 Keil（1989）等國內外相關研究中。而導致此一另有概念之個中原因，有可能是學生憑藉自己的信念或經驗，而對這些能親眼目睹或可感知的現象所做的詮釋（Kargob *et al*., 1980; Lawson & Thompson, 1988）。

(九)性染色體

人類各細胞所含的染色體中有一對能決定個體的性別，稱爲性染色體。在女性這對染色體爲 XX；在男性這對染色體爲 XY（國立編譯館, 2001; Campbell *et al*., 1999）。TTDTG 之第 19 題主要爲偵測學生是否了解性染色體存在人體的各種細胞中，而非僅爲配子或與生殖有關、構成生殖器官的細胞所獨具。

在所有答題者中，20.7 %的學生以爲人類的性染色體只存於精子和卵中。11.8 %的學生則指出，除了生殖細胞和構成生殖器官的細胞外，人類的其他細胞都不具性染色體。具有這種想法的學生對人類的體細胞均帶有 46 條（44 + XX 或 44 + XY）染色體的概念可能沒有眞正的了解，而以爲只與決定性別或與產生生殖

細胞有關的細胞才具有性染色體。本題係因本研究訪談之國中生物教師認定其爲學生常見的另有概念之一，因而設計之。從診斷所得的結果，確也發現如此。以往曾有研究發現，有學生誤以爲男性具有 X 染色體、女性具 Y 染色體（Amir *et al*., 1987）。究竟爲何出現此類另有概念，因以往的研究不多，有待進一步證實。此外，其他有關性染色體概念方面的研究，多爲學生對人類性別的決定所具之另有概念（湯清二, 1990; 薛靜瑩, 1998; Wood-Robinson, 1995）。然在本研究中，學生對人類子代性別的決定（TTDTG 的第 18 題）則大都能正確了解其原因。

(十)孟德爾遺傳定律

孟德爾遺傳定律原是孟德爾根據其實驗結果所提出的假說，目的在解釋其所觀察而得的現象（這些現象經後來的研究證實，係爲細胞行減數分裂時，染色體與基因之行爲，亦即基因的自由分離與獨立分配等現象）。孟德爾遺傳定律的學習，涉及減數分裂、基因、染色體、顯（隱）性、單（雙）套體等抽象概念爲基礎，學生欲眞正了解孟德爾遺傳定律必須將各概念作有意義的聯結與統整方可致之（Cavallo, 1996）。再者，由於基因的分離與分配是隨機的行爲，欲推算親代雜交的結果，也需利用乘法定律（product rule）、二項式法則（binominal theorem）、大數定律（law of large numbers）等相關機率的原理。只要對每個基礎概念和機率的原理不清楚，學生將不易了解孟德爾遺傳定律也難將之應用於解決遺傳學的問題（黃台珠, 1993; 楊坤原和陳進利, 1990; Stewart, 1982）。TTDTG 分從第 1、2、9、10、16 五題，透過實驗或情境的模擬，讓學生使用孟德爾遺傳定律和機率概念來推算和解釋各題所設定的結果，藉此反映學生對孟德爾遺傳定律和機率概念的了解情形。

31.1 %的學生以爲第一子代得自親代的基因會彼此混合，使第二子代只會表現出顯性性狀。他們並不了解得自親代的基因是彼此獨立而不會混合的。而 25.8 %的學生以爲，源自純品系親代交配後所得的第一子代的細胞中，只有顯性基因才會表現出來，因此第一子代成熟後也只能產生帶顯性基因的配子。由於純品系親代交配所得的第一子代之基因型必爲異基因型，故雖表現出顯性性狀，但仍會產生 2 種配子。上述這兩類學生對於孟德爾所提的獨立分配律、自由分離律和顯性律之實質意義，尚無清楚的了解。此外，38.2 %的學生以不同英文字母來代表某一性狀的顯性基因和隱性基因。這可能是因其尚未了解對偶基因的意義而造成。同樣的發現也見於黃台珠（1990）、楊坤原和陳進利（1990）和 Stewart（1982）的研究中。另 13.5 %的學生可能是記憶而未能對孟德爾遺傳定律加以融會貫通，於是認爲無論親代的基因爲何，子代中顯性與隱性性狀出現之比例必爲 3:1。此一將遺傳性狀出現的機率視爲決定的（deterministic）而非機率的觀點，在以往的研究中亦曾發現（Hackling & Treagust, 1984; Kinnear, 1986），反映出學生對孟德爾遺傳定律和機率原理不具眞正的了解。

小　結

綜合本研究所發現的各項遺傳學另有概念並與現有之文獻作一對照，可以得知一些遺傳學另有概念確實爲國內外中學生所共有，具跨文化的特性。此外，由本次診斷結果，也得知桃園地區國中一年級學生出現下列各項其他研究較少或未曾發現的遺傳學另有概念：

1. 一對基因（*Rr*）可同時控制顯性和隱性兩種性狀之表現。
2. 無論父母雙方所具有的性狀是顯性或隱性，子女都只會遺傳雙親的顯性性狀。
3. 近親結婚會增加男女雙方的隱性基因之

結合而發生突變的機會，故易使其子女出現不良的性狀。

4. 染色體只是一種承載 DNA 的構造，並非由 DNA 所構成。
5. 人類的性染色體只存於精子和卵中。除了構成生殖細胞和生殖器官的細胞外，人類的其他細胞都不具性染色體。
6. 由具同基因型顯性與隱性的雙親交配而產生的第一子代，其基因會彼此混合，而使由第一子代交配所得之第二子代只會表現出顯性性狀。

如同其他的科學學科一般，遺傳學知識也是由許多遺傳學概念組織而成，學生唯有主動建構有意義的概念網路，方能對遺傳學有整體的了解。雖然造成另有概念的來源很多，不易截然予以斷言，然從本研究的結果推測，教科書中的課文之描述，有可能是導致學生另有概念的因素之一。由於當前科學教師大都仍以教科書爲主要的教學材料，故教科書內容的用語及相關概念間的章節編排之適切性尤應謹慎。而由大多數學生在判斷近親不宜通婚的遺傳學原理時，仍未能指出正確原因的現象來推測，這種在教科書中屬於討論而未直接提供答案的設計，可能尚未充分發揮其激發學生或師生間共同討論以獲得正確原因的功能。凡此種種，皆可由本研究中學生想法的診斷結果中見其端倪。

伍、結論與建議

本研究所發展之國中適用的「遺傳學二段式診斷測驗」(TTDTG) 可建議於教學後，用以診斷國中一年級學生所具有的遺傳學另有概念。本研究結果顯示，即使在教學後，大多數國一學生在細胞（有絲）分裂的結果、減數分裂的過程與結果、基因控制性狀表現、顯性基因與隱性基因、同源染色體的定義與辨識、染色體、基因與 DNA 的關係、雙套染色體的定義與成因、後天改變的性狀之遺傳、性染色體及孟德爾遺傳定律等概念仍存有若干與其他研究相同或我國桃園地區的學生所獨具之另有概念。這些發現應可供作國中生物教師設計改變遺傳學另有概念的教學、發展遺傳學課程與遺傳學診斷工具之重要參考。

二段式另有概念診斷測驗因具備實施容易、省時、可大量使用等優點，又可幫助科學教師從診斷測驗的結果迅速得知學生概念學習的情況，作爲日後補救教學的參考。而學生亦可由診斷測驗的結果，清楚概念學習的困難或誤解之處，有助於日後的加強學習。就科學學習的研究者而言，若能在認知診斷測驗編製之初，即對各試題妥予安排，更可從測驗的結果歸納出學生的迷思類型或解題策略，進而推測可能的認知機制。因此，診斷測驗的發展與應用，不啻爲促進科學教學與學習成效的一種利器。未來若再能針對各單元，針對更多學校進行診斷，應有助於全面了解我國學生的科學學習結果，提升未來科學教學的成效。

誌　　謝

本研究之進行，承蒙行政院國家科學委員會補助經費（計畫編號：NSC89-2511-S-033-007）始得完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 王作仁（1991）：**醫學遺傳學**。台北市：聯經出版社。
2. 國立編譯館（2001）：**國民中學生物教科書**（下冊）。台北市：國立編譯館。
3. 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, 133**, 34-53。
4. 黃台珠（1993）：中學生遺傳學習的現況及

問題。**高雄師大學報**, **4**, 269-300。

5. 黃桂君和吳裕益（1999）：應用錯誤類型分析在選擇式診斷試題之編製應用研究。載於中國測驗學會主編**新世紀測驗學術發展趨勢**。台北市：心理出版社。
6. 陳筱莉和林陳涌（2001）：學童眼中的科學專有名詞。**科學教育學刊**, **9**(3), 219-234。
7. 湯清二（1990）：迷思概念與科學教學改進研究（I）「以遺傳學爲例」。**彰化師範大學學報**, **1**, 367-397.
8. 湯清二（1991）：我國學生自然科概念發展與診斷教學之研究：生物細胞概念發展(一)。**彰化師範大學學報**, **2**, 489-515。
9. 湯清二（1993）：我國學生生物細胞概念發展研究—迷思概念之晤談與概念圖。**彰化師範大學學報**, **4**, 141-169。
10. 楊坤原和陳進利（1990）：中學生認知能力與遺傳學概念學習之相關研究。**科學教育**, **1**, 61-75。
11. 楊坤原和鄭湧涇（1997）：高一學生遺傳學解題表現與解題策略之研究。**科學教育學刊**, **5**(4), 529-555。
12. 薛靜瑩（1998）：**國小、國中學生的遺傳先前概念**。台北市：國立台灣師範大學生物研究所碩士論文，未出版。
13. Albaladejo, C., & Lucas, A. M. (1988). Pupil's meanings for 'mutation'. *Journal of Biological Education*, *22*(4), 304-309.
14. Amir, R., Frankl, D. R., & Tamir, P. (1987). *Justifications of answers to multiple choice items as a means for identifying misconceptions*. Paper presented at the Second International Seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics. Ithaca, NY, July 26-29, 1987.
15. Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.
16. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
17. Bahar, M. B., Johnstone, A. H., & Hanesell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education, 33*(2), 84-86.
18. Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (1999). *Biology* (5th ed.). New York: Addison-Wesley.
19. Cavallo, A. M. L. (1996). Meaningful learning, reasoning ability, and students' understanding and problem solving of topics in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, *33*(6), 625-656.
20. Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 293-332.
21. Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, *10*(2 & 3), 249-260.
22. Cho, H. H., Kahle, J. B., & Nordland, F. H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, *69*(5), 707-719.
23. Clough, E. E., & Robinson, C. (1985). Children's understanding of inherence. *Journal of Biological Education., 19*, 304-310.
24. Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, *12*(1), 7-15.
25. Donovan, M. P. (1997). The vocabulary of

biology and the problem of semantics. *Journal of College Science Teaching*, *26*(6), 381-382.
26. Driver, R. (1983). *The pupil as scientist*? Philadelphia: Open University Press.
27. Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Teany and B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
28. Duit, R., & Treagust, D. F. (1995). Students' conceptions and constructivist teaching approaches. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (Eds.), *Improving science education*. Chicago: The National Society for the Study of Education.
29. Ebel, R. L., & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of educational measurement* (5th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
30. Eylon, B. S., & Linn, M. C. (1988). Learning and instruction: an examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research, 58*(3), 251-301.
31. Finley, F. N., Stewart, J. H., & Yarroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, *66*(3), 531-538.
32. Fisher, K. M., & Moody, D. E. (2000). Student misconceptions in biology. In K. M. Fisher, J. H. Wandersee, & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
33. Gilbert, J. K. (1977). The study of misunderstandings in the physical sciences. *Research in Svience Education*, *7*, 165-171.
34. Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
35. Hackling, M. (1982). An examination of secondary students' understanding of inheritance concepts. *The Australian Science Teachers Journal*, *28*(1), 13-20.
36. Hackling, M. W., & Treagust, D. F. (1982). What lower secondary students should understand about the mechanisms of inheritance and what they do understand following instruction. *Research in Science Education*, *12*, 78-88.
37. 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.
38. Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, *21*(3), 203-211.
39. Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R., & Srinivasan, V. (1977). Problems associated with concept analysis. *Science Education*, *61*(2), 185-199.
40. Hickman, F. M., Kennedy, M. H., & McInerney, J. D. (1978). Human genetics education: Results of BSCS needs assessment survey. *The American Biology Teacher*, *39*(2), 285-303, 308.
41. Ipple, M. J. (1991). An information-processing approach to item equivalence. In P. L. Dann, S. H. Irvine, & J. H. Collis (Eds.), *Advances in computer-based human assessment* (pp. 377-396). Boston: Kluwer Academic Publishers.
42. Kargob, D. B., Hobbs, E. D., & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, *14*(2), 137-146.
43. Kindfield, A. C. H. (1991a). Confusing chro-

mosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education, 25*(3), 193-200.

44. Kindfield, A. C. H. (1991b). *Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Fontana, WI, April 1991. (ERIC Document Reproduction Service ED 342 636)
45. Kindfield, A. C. H. (1994). Assessing understanding of biological process: Elucidating students' models of meiosis. *The American Biology Teacher, 56*(6), 367-371.
46. Lawson, A., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, *25*(9), 733-746.
47. Lazarowitz, R., & Penso, S. (1992). High school students' difficulties in learning biology concepts. *Journal of Biological Education*, *26*(3), 215-223.
48. Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosome, cell division and inheritance- Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, *22*(2), 177-195.
49. Lohman, D. F., & Ipple, M. J. (1993). Cognitive diagnosis: From statistically-based assessment toward theory-based assessment. In N. Fredriksen, R. J. Mislevy & I. Bejar (Eds.), *Test theory for a new generation of tests* (pp. 41-71). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
50. Merrill, M. D., Tennyson, R. D., & Posey, L. O. (1992). *Teaching concepts: An instructional design guide* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
51. Mertens, T. R., & Walker, J. O. (1992). A paper-&-pencil strategy for teaching mitosis & meiosis, diagnosing learning problems & predicting examination performance. *The American Biology Teacher*, *54*(8), 470-475.
52. Moll, M. B., & Allen, R. D. (1987). Student difficulties with Mendelian genetics problems. *The American Biology Teacher*, *49*, 229-233.
53. Nichols, P. D. (1994). A framework for developing cognitively diagnostic assessments. *Review of Educational Research, 64*(4), 575-603.
54. Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 32*(1), 45-61.
55. Pashley, M. (1994). A-level students: Their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, *28*(2), 120-126.
56. Pearson, J. T., & Hughes, W. J. (1988). Problems with the use of terminology in genetics education: A literature review and classification scheme. *Journal of Biological Education*, *22*(3), 178-182.
57. Peterson, R. F., Treagust, D. F., & Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 26*(4), 301-314.
58. Radford, A., & Bird-Stewart, J. A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, *16*(3), 177-180.
59. Ramorogo, G., & Wood-Robinson, C. (1995). Batswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*,

29(1), 60-71.

60. Simmons, P. E. (1987). Misconceptions of experts and novices during a genetics computer simulation. Paper presented at the Second International Seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics. Ithaca, NY, July 26-29, 1987.
61. Slack, S. J., & Stewart, J. (1990). High school students' problem-solving performance on realistic genetics problems. *Journal of Research in Science Research in Science Teaching*, *30*(2), 153-173.
62. Smith, M. U. (1991). Teaching cell division: student difficulties and teaching recommendations. *Journal of College Science Teaching*, *41*(1), 28-33.
63. Snow, R. E., & Lohman, D. F. (1989). Implications of cognitive psychology for educational measurement. In R. L. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed). New York: Macmillan.
64. SPSS. (1999). SPSS for Windows [Computer Software]. Chicago: SPSS.
65. Springer, K., & Keil, F. C. (1989). On the development of biologically specific beliefs: The case of inheritance. *Child Development*, *60*, 637-648.
66. Stewart, J. H. (1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher, 44*(2), 80-84, 89.
67. Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. Science *Education*, *67*(4), 523-540.
68. Stewart, J., & Dale, M. (1981). Solutions to genetics problems: Are they the same as correct answers? *The Australian Science Teachers Journal*, *27*(3), 59-64.
69. Stewart, J., & Dale, M. (1989). High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education, 73*(4), 501-521.
70. Stewart, J., Hafner, R., & Dale, M. (1990). Student's alternative views of meiosis. *The American Biology Teacher*, *52*(4), 228-232.
71. Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(4), 283-301.
72. Tamarin, R. (1991). *Principles of genetics* (3rd ed.). Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers.
73. Tolman, R. R. (1982). Difficulties in genetics problem solving. *The American Biology Teacher*, *44*(9), 525-527.
74. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10*(2), 159-169.
75. Treagust, D. F. (1997). *Diagnostic assessment of students' science knowledge*. Paper presented at the 1997 International workshop on student's concept development, understanding diagnosis and teaching. Feb. 17-20, Taipei.
76. Treagust, D. F. (2000). *An unstrument to diagnose students' conceptions of breathing, gas exchange and respiration*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, April 28- May 1, 2000.
77. Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional

framework for interpretating conceptual change events in the classroom. *Science Education*, *81*, 384-404.

78. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. , & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
79. Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, *24*, 29-47.
80. Wood-Robinson, C. (1995). Children's biological ideas: knowledge about ecology, inheritance, and evolution. In S. M. Glynn & E. Duit (Eds.), *Learning science in schools: Research reforming practice*. Mahwah, NJ: LEA.

Development and Application of a Two-Tier Diagnostics Instrument to Assess Seventh Grade Students' Alternative Conceptions of Genetics

Kun-Yuan Yang[1] and Maio-Li Changlai[2]

[1]Graduate Institute of Education and Center for Teacher Education, Chung Yuan Christian University

[2]Section for Core Curriculum, Chung Kuo Institute of Technology

Abstract

The purpose of this study was to develop and validate a two-tier diagnostic instrument—Two-Tier Diagnostic Test for Genetics (TTDTG) to find seventh graders' alternative conceptions of genetics. 1606 students were sampled randomly from six junior high schools in Taoyuan County and diagnosed using the TTDTG. Results showed that the average difficulty and average index of discrimination of the TTDTG were 0.45 and 0.48 respectively. The Cronbach alpha value for internal consistency was 0.73. Even though they had received instruction in biology classrooms, seventh-grade students still had alternative conceptions about the results of mitosis, the process and results of meiosis, genes and traits, dominance and recesseiveness, the definition and recognition of homologous chromosomes, the definition and formation of diploid chromosomes, acquired inherence, existence of sex chromosomes, relationships among genes, chromosomes, and DNA, and Mendel's laws of inheritance. Findings of this study suggested that the TTDTG could be used as diagnostic test for genetics and the identification of alternative genetic conceptions can be valuable resources for diagnosis, instruction and curriculum development of genetics.

Key words: Two-Tier Diagnostic Test, Junior High School, Genetics, Alternative Conceptions.