科學教育學刊
2004, 第十二卷第三期, 365-398

Chinese Journal of Science Education
2004, 12(3), 365-398

遺傳學迷思概念之文獻探討及其在教學上的啓示

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]中國技術學院通識教育中心

（投稿日期：民國 92 年 5 月 15 日，修訂日期：92 年 8 月 29 日，接受日期：93 年 1 月 5 日）

摘要：遺傳學是各級學校的師生一致感到難以教和學的生物學單元之一。爲使國內外遺傳學迷思概念的研究能有效促進遺傳學的教學，本研究採文獻探討的研究方式，分析自 1970 年至 2000 年共 48 篇遺傳學迷思概念相關文獻，從中歸納出導致學生遺傳學迷思概念的來源與成因大致可分爲個人、家庭與社會文化和學校教學三大類。此外，本研究亦列舉各年級學生對細胞分裂（包括有絲分裂、減數分裂）、有性生殖（包括配子、性狀遺傳）、孟德爾遺傳定律（包括機率在遺傳學上的應用、基因型）、基因（包括對偶基因、DNA 的化學組成與結構、顯（隱）性、共顯性和不完全顯性）、染色體（包括同源染色體、性染色體和性聯遺傳）、突變與遺傳工程等七類主要概念及其相關概念所出現之各項迷思概念。最後則參照各研究文獻的啓示與認知心理學的觀點，對遺傳學概念的教學提出各項建議。

關鍵詞：遺傳學、迷思概念、教學。

壹、緒論

迷思概念（misconception）是當前科學教育一個發展快速且重要的研究領域。除了在各科學學科領域已累積衆多的研究發現外，由各文獻中對指稱迷思概念的用詞之歧異現象亦可顯示，許多持有不同知識論和本體論的研究者，已分別針對概念發展的層次、時間和情境等層面進行深入的剖析，從而揭示出學生想法之多樣性的本質（Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985a, 1985b; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994）。爲了釐清各詞彙間的含意，學者將迷思概念的研究分成二類，一類持實證論（positivism）的哲學觀，強調學生的知識與被接受的科學知識間的一致性。因此，慣用「迷思概念」、「誤解」（misunderstanding）或「素樸的理論」（naïve theory）等詞彙。另一類則由學生的角度來探測其對自然界事物的瞭解，採建構論（constructivism）的觀點，多用「另有架構」（alternative framework）、「兒童的科學」（children's science）或「直覺的信念」（intuitive belief）來表示（Driver & Easley, 1978;

Gilbert & Watts, 1983)。也有學者認爲當前科學教育界雖多主張以建構論來詮釋學生的學習，惟這二種研究取向均有其意義而應加以整合（ Gilbert & Watts, 1983; Wandersee *et al*., 1994)。縱然有學者覺得「迷思概念」一詞具貶抑學生主動學習的價值之意味，但從這類研究的內容觀之，無論研究者屬何取向，其結果均在呈現學生的概念或想法與當前公認的科學理論間的差異。故即使用語互異，實質上仍十分相似 (Duit & Treagust, 1995)。鑑於「迷思概念」仍常爲科學教育研究所用(Haslam & Treagust, 1987; Peterson, Treagust, & Garnett, 1989)，且對大衆與科學教師而言最能清楚傳達其含意（ Wandersee *et al*., 1994)，又因本研究旨在探討教學意涵，於是以「迷思概念」來涵蓋各研究之結果，代表各年級學生在教學前後所具而與公認的科學理論或教科書不同的概念。

促使學生形成迷思概念的訊息來源很多，包括感官的印象、生活中的語言、社會環境的文化薰陶、同儕團體的互動、媒體的傳播或科學教學（ 包括教師與教科書 ）等均有可能（ Barrass, 1984; Cho, Kahle, & Nordland, 1985; Duit & Treagust, 1995)。此外，由於學生無法認清所觀察的自然現象背後的機制、不正確的運用類比、未能組織所習得的知識或無法將所學的科學知識與生活中的現象相關聯等，也都會導致迷思概念 (Eylon & Linn, 1988)。即使學生對所要學習的科學現象或知識不具先存概念，但因知識或經驗有限，只好就所存的概念中找出最有可能者來加以解釋，這也可能產生迷思概念 (Dreyfus & Jungwirth, 1989)。在這些因素個別或交互作用的影響下，學生的迷思概念出現如下幾項特徵 (Claxton, 1993; Driver, 1983; Driver, Squires, Rushworth, & Wood-Robinson, 1994; Osborne & Freyberg, 1985; Russell, 1993; Solomon, 1993; Tasker & Osborne, 1985)：

一、主動地以自己的經驗、知識和語言，並藉由與他人的溝通來瞭解周遭的生活世界。因此，其在尚未接受學校的正式教學之前，已對一些科學概念發展出屬於個人的意義。

二、在瞭解各種自然界的事物時，深受知覺所支配。常藉由片段、個別的直接經驗拼湊之未分化、籠統想法爲基礎來解釋新經驗和新知識。

三、迷思概念的形成主要是憑個人自發性的反應和直覺的判斷。因注意的焦點易受特定的知覺特徵所左右，一般只能作出單面向的思考和直線式的因果推理。因其抽象推理的能力有限，故常以自我中心或人類中心的觀點來解釋事物。常以不同的理由來解釋相同的事物或現象，即使有明顯的衝突也可以忍受。這可能是因其未必能察覺此一不一致性與爲何需有一致的解釋之必要性所致。

四、迷思概念形成後甚難改變。雖然與科學家的觀點明顯不同，但學生卻以爲這些概念既合理又連貫。由於不易改變生活中慣用的想法，故在大多數的情境下仍持續使用已建立的迷思概念。只有在學校的教學情境中，才會使用符合科學思考的方式。

五、雖然應用的範圍有限，但具備實用的價值，能於日常生活中發揮功用，可解釋事物並進行溝通。

Wandersee 等學者回顧三千多篇各科學迷思概念的研究文獻後，歸納出如下觀點 (Fisher & Moody, 2000; Wandersee *et al*., 1994)：

一、學生普遍會帶著各種關於自然界事物之迷思概念進入正式教學的情境，但科學教師大都未能察覺這些想法。

二、學生所出現的迷思概念，跨越學生年齡、能力、性別和文化之界線。

三、單憑傳統的教學策略無法去除難以改變的迷思概念。由於學生的迷思概念有堅固或令其感到滿意的證據支持，教師單憑言語指正尙無法消除迷思概念。此外，許多科學理論或概念對學生而言是外來的或未必可信的，再加上學生對自己的想法有情緒上的偏愛，故其往往會拒絕接受或扭曲科學上的觀點以符合自己的想法。

四、學生的迷思概念通常與早先的科學家和哲學家對自然現象所提供的解釋有相似之處。這些迷思概念因可直接感知，故可跨越時空、廣泛出現。此外，因學生的知識和經驗貧乏，許多迷思概念都是得自有限資料的結論。可見，科學概念對學生而言，大都是反直覺的（counter-intuitive）。

五、迷思概念起源於不同的個人經驗，包括：直接的觀察與知覺、同儕文化、語言、教師的解釋和教材等。可見迷思概念是學生依其經驗與知識主動建構而得。

六、教師也會具有與其學生一樣的迷思概念。這是因大部分人在日常環境中，未必使用科學的方法來瞭解世界，也未必能運用科學知識所致。

七、學生的先前知識與正式教學所呈現的知識交互作用，造成各種非預期的學習結果。

八、促進概念改變的教學策略才是除去迷思概念的有效工具。

綜合上述各文獻可知，迷思概念的研究發現適足以反映出 Ausubel（1968）等學者的認知論與建構論（Glynn, Yeany, & Britton, 1991）所言，學習者會主動以個人經驗爲基礎，不斷地與外在環境中的人、事、物進行交互作用，以認識其生活世界。雖從科學界的標準來看，學習者所建立的科學概念是片段的、直覺的、有限的甚或錯誤的，但因對科學之目的、方法和嚴格的知識品質要求均未完全熟悉、抽象思考能力的限制或無法將所習得的與生活經驗相結合，學習者非但無法察覺所建構概念的缺失，反因這些概念在日常生活中有其功能而感到滿足，於是固守這些與科學界相左的想法，進而影響課堂上的學習。這些現象在一些探討遺傳學迷思概念及其成因和起源的研究中亦可得見（Lewis & Wood-Robinson, 2000）。

遺傳學是生物學的核心領域之一（Wandersee, Fisher, & Moody, 2000），學習遺傳學可幫助學生認識因生物科技快速發展所衍生的一些社會議題，故其亦爲具有科學素養的未來公民所必需（Browning & Lehman, 1988; Mertens & Hendrix, 1990）。從知識的本質觀之，生物學在研究對象、所探討事物的性質、理論形式和內容與解釋的類推性等方面，均與物質科學有所差異。而生物學知識的廣度和複雜度、不同階層知識間的相關性與許多無法直接目視的過程等特性，使生物學成爲一門不易教授和學習的學科（Lazarowitz & Penso, 1992; Wandersee *et al*., 2000）。學者指出（Herron, Cantu, Ward, & Srinivasan, 1977; Merrill, Tennyson, & Posey, 1992），遺傳學的概念中有些是專門的詞彙（基因，gene）或記號（基因型，genotype），或指稱物體的屬性（顯性，dominance），是爲符號概念；有些則是指在特定的時間內以特殊方式所進行的交互作用之事件概念（如減數分裂，meiosis）。依 Chi 和 Slotta（1993）所主張之本體論（ontology）來分類，基因、染色體（chromosome）等在本體上是屬於「物質」（matter）一類，減數分裂則屬於「過程」（processes）類下的「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）又分屬「過程」類下的「事件」（event）。因此，這些概念在本體上亦不盡相同。再者，基因、減數分裂一類

的概念因其實體無法直接知覺，其意義是由一些想法結合經驗而得，故屬抽象概念（Driver, 1983; Lazarowitz & Penso, 1992）。由於這些特性，使遺傳學概念成爲學生學習與教師教學上的一個難題，也是各級學生常會出現迷思概念的單元之一。此一事實可由國內外的研究或調查得到印證（黃台珠, 1993; Bahar, Johnstone, & Hansell, 1999; Finley, Stewart, & Yarroch, 1982）。可見，若要改進遺傳學教學，遺傳學迷思概念實應投予更多關注和瞭解。

以往採文獻分析來回顧生物學迷思概念之研究爲數不多。Mintzes 和 Arnaudin（1984）曾蒐集自 1963 年至 1983 年間關於「生命」、「動物和植物」、「人體」、「生物的延續」（生殖、遺傳和演化）和「其他生物現象」等五類生物概念的發展與迷思概念之原創性研究進行回顧。他們除透過電腦線上檢索美國教育資源資訊中心（Educational Resource Information Center, ERIC）與國際博士論文摘要（Dissertation Abstracts International, DAI）二資料庫外，還查閱 9 種科學教育類期刊。如此所得之 68 篇文獻再依概念的種類、研究方法與評量方式等項加以分類與分析（Mintzes & Arnaudin, 1984）。此外，Wood-Robinson（1994, 1995）也曾回顧遺傳和演化的迷思概念之相關文獻，惟其所採的研究方法較未如 Mintzes 和 Arnaudin（1984）一般嚴謹。

貳、研究目的

唯有得知遺傳學迷思概念的內容及其來源與特徵有所認識，方能採取有效的教學措施予以導正。有鑒於此，本研究的焦點在分析與歸納各年級學生遺傳學迷思概念的內容，並兼探各遺傳學迷思概念可能的起源或成因。最後，參照當前的認知學習觀點和各學者之主張，提出協助學生正確學習遺傳學概念之教學策略。

參、研究方法

本研究採文獻探討（literature review）或稱文獻分析（literature analysis）的研究方法（Cooper, 1998），蒐集、整理國內外遺傳學迷思概念的研究文獻，針對各研究之結果與教學建議進行分析與討論，進而獲知各項遺傳學迷思概念的內容與可能成因，再配合認知取向的學習原理，提出因應的教學策略與建議。

一、文獻搜尋

本研究分別以 ERIC、DAI、中華民國期刊論文索引系統（WWW 版）與全國博碩士論文摘要檢索系統等資料庫爲主要管道，選擇 'genetics'、'heredity'、'meiosis' 等作爲第一個關鍵詞，而 'misconceptions'、'alternative frameworks'、'alternative concep-tions'、'preconceptions'、'naïve theories'、'children's science'、'intuitive theories' 與「錯誤概念」等較常被國內外學者所使用的詞彙爲第二個關鍵詞，再將二者作各種組合後，輸入上述各資料庫進行檢索（其中「錯誤概念」一詞僅用於中文資料庫）。由於各資料庫所涵蓋的年代範圍不一，故本研究取其交集，設定 1970~2000 年作爲文獻搜尋的起迄點。

爲兼顧蒐集文獻的廣度和品質的嚴謹度，本研究所選取的文獻以發表於學術期刊（包括國內各師範校院的學報）的論文爲主。學術研討會論文和博碩士學位論文亦含之，惟其如已正式發表於期刊者，便改擇該期刊論文取代之。國科會研究計畫成果報告也在收納之列。各篇文獻先由論文題目與摘要作初步判斷，若無法確認，再詳閱全文以決定取捨。因不擬實施定量分析，故無論所採的研究方法、研究樣本數及其年齡爲何，只要涉及遺傳學迷思概念內容分析而非僅爲文獻探討者，均納入本研究的分析。此外，涉及遺傳學迷思概念之遺傳學

表 1：本研究所分析文獻之作者、出處、研究樣本與評測方法一覽表

作者（年代）	論文出處	年級或年齡（人數）	評測方法
陳世輝（1994）	國科會專題研究計畫成果報告	國小二年級（80）；國小四年級（83）；國小六年級（81）	畫人測驗；晤談
黃台珠（1990）	科學教育月刊	國中一年級（58）；高中一年級（58）	晤談
黃台珠（1993）	高雄師範大學學報	國中一年級（604）；高中一年級（401）；高中三年級（223）	紙筆測驗
湯清二（1990）	彰化師範大學學報	國中各年級（271）；大學二年級（102）	紙筆測驗
湯清二（1991）	彰化師範大學學報	國小六年級（151）；國中二年級（131）；高中一年級（152）	紙筆測驗
湯清二（1993）	彰化師範大學學報	國小六年級（104）；國中二年級（116）；高中一年級（85）	紙筆測驗
楊坤原和陳進利（1990）	科學教育	國中二年級（100）；高中二年級（100）	紙筆測驗
楊坤原和鄭湧涇（1997）	科學教育學刊	高中一年級（10）	解題（放聲思考）；晤談
薛靜瑩（1998）	碩士學位論文	國小五年級（135）；國小六年級（146）；國中一年級（168）；國中二年級（166）	紙筆測驗；晤談
Albaladejo & Lucas (1988)	JBE [a]	14 - 18 歲（131）	問卷
Amir, Frankl, &Tamir (1987)	研討會論文	高中三年級（354）	紙筆測驗
Bahar, Johnstone, & Hansell (1999)	JBE	大學一年級（207）	問卷
Brown (1990)	JBE	大學（614）	實物操作
Browning & Lehman (1988)	JRST [b]	大學各年級（135）	解題（透過電腦）
Clough & Wood-Robinson (1985)	JBE	12 - 16 歲（84）	晤談
Costello (1984)	研討會論文	大學（10）	紙筆測驗
Deadman & Kelly (1978)	JBE	11 - 14 歲（52）	開放式晤談
Hackling (1982)	ASTJ [c]	高中一年級（100）；高中一年級（32）	紙筆測驗
Hackling & Treagust (1982)	RSE [d]	高中一年級（48）	晤談

Hackling & Treagust (1984)	JRST	高中一年級（48）	晤談
Hendrix, Mertens, & Baumgartner (1981)	ABT[e]	高中二、三年級（38）； 大學（12）； 高中生物教師（39）	紙筆測驗
Hickman, Kennedy, & McInerney (1978)	ABT	高中（724）； 大學（189）	問卷
Kargob, Hobbs, & Erickson (1980)	JBE	7 - 13 歲（32）	臨床晤談
Kindfield (1991a)	JBE	大學教授與研究生（5）； 遺傳學系大學生（5）； 選修遺傳學的大學生（5）	解題；晤談
Kindfield (1991b)	研討會論文	大學教授（1）； 大學講師（2）； 遺傳學研究生（2）； 大學四年級（5）； 大學一 ~ 三年級（5）	解題（放聲思考）；晤談
Kinnear (1986)	研討會論文	大學二年級（68）	解題（透過電腦）
Kinnear & Martin (1987)	研討會論文	小學教師（7）	問卷；自由回想（free-recall）
Koch (1986)	研究報告（收錄於 ERIC）	大學一年級（7）	臨床晤談；紙筆測驗
Lawson & Thompson (1988)	JRST	國中一年級（131）	論文式測驗（essay test）
Lewis & Wood-Robinson (2000)	IJSE[f]	14 - 16 歲（482）	紙筆測驗；小組討論
Lock & Miles (1993)	JBE	14 - 16 歲（188）	問卷
Longden (1982)	JBE	大學（114）	晤談
Mertens & Walker (1992)	ABT	大學（44）	紙筆測驗
Moll & Allen (1987)	ABT	大學（34）	解題；晤談
Pashley (1994)	JBE	大學（96）	紙筆測驗；口頭解釋
Ramorogo & Wood-Robinson (1995)	JBE	國中（12 歲以上）（64）	晤談
Simmon (1987)	研討會論文	大學教授（3）； 高中（10）	解題（透過電腦）；晤談
Simmons & Lunetta (1993)	JRST	生物學博士（3）； 中學生（10）	解題（透過電腦、放聲思考）；晤談
Slack & Stewart (1990)	JRST	國中三年級~高中三年級（30）	解題（透過電腦、放聲思考）
Smith (1991)	JCST[g]	大學（6）	晤談；放聲思考；圖示
Smith & Good (1984)	JRST	大學教授和研究生（9） 大二學生（11）	解題(配合放聲思考)；自然晤談

Solomon, Johnson, Zaitchik, & Carey (1996)	CD [h]	6 - 7 歲（16）；高中以上畢業之成人（16）；4 - 5 歲（16）	晤談
Springer & Keil (1989)	CD	實驗一：4 歲（36），5 歲（44）； 實驗二：6 - 7 歲（20），27-28 歲（15）； 實驗三：4 - 5 歲（8），6-7 歲（8）； 實驗四：4 - 5 歲（20），6 - 7 歲（20），27 - 28 歲（5）； 實驗五：4 - 5 歲（5），6 - 7 歲（6）	晤談
Stewart (1982)	ABT	國中三年級（14）	解題；晤談
Stewart (1983)	SE [i]	國中三年級 ~ 高中三年級（27）	解題（放聲思考）；臨床晤談
Stewart & Dale (1989)	SE	高中一、二年級（3）	解題（放聲思考）；晤談
Stewart, Hafner, & Dale (1990)	ABT	高中一年級（21）； 高中二年級（29）	解題（放聲思考）；晤談
Tolman (1982)	ABT	國中、高中（30）	解題（放聲思考）

a: *Journal of Biological Education*

b: *Journal of Research in Science Teaching*

c: *The Australian Science Teachers Journal*

d: *Research in Science Education*

e: *The American Biology Teacher*

f: *International Journal of Science Education*

g: *Journal of College Science Teaching*

h: *Child Development*

i: *Science Education*

解題研究，雖未必含有前述的關鍵字，但因合乎本研究之旨趣，亦一併納入。據此程序與原則，本研究共選取 48 篇國內外文獻進行分析，其來源的分佈和各篇論文之要項，列於表 1。其中，國科會專題研究計畫成果報告、《科學教育月刊》、《高雄師範大學學報》、《科學教育》、《科學教育學刊》等各 1 篇，3 篇出自《彰化師範大學學報》，1 篇爲碩士學位論文。國外研究除 1 篇研究報告和 6 篇研討會論文外，各有 1 篇出自 *The Australian Science Teachers Journal*、*Research in Science Education*、*International Journal of Science Education* 和 *Journal of College Science Teaching* 等期刊，*Journal of Biological Education* 11 篇，*Journal of Research in Science Teaching* 6 篇，*The American Biology Teacher* 7 篇，*Child Development* 和

Science Education 各 2 篇，共 39 篇。若依 Wandersee 等人的建議，進行文獻探討所涵蓋的論文篇數至少應爲該領域或主題總量的 20 %（Wandersee *et al*., 1994）。本研究因透過多個常用且資料內容較多的資料庫進行檢索，相信在「遺傳學迷思概念」的研究領域中，應可符合此一要求。

二、文獻分析

蒐集所得之各篇論文，先依各研究的迷思概念內容、研究樣本的年級或年齡（學前、國小、國中、高中、大學）、評測工具或方法（紙筆測驗、晤談、問卷、解題與放聲思考、其他）、迷思概念的成因（認知發展、詞彙、生活經驗、視聽媒體、教材與教學）和對教學的啓示（教材圖示與內容的設計與編排、概念教學的順序與重點）等項逐一詳閱。之後，再根據各論文所研究之迷思概念，進行歸類、登錄與分析。若遇一篇研究中所涵蓋迷思概念的內容涉及其他迷思概念或有疑義時，則由本研究之二位研究者按該篇論文之題目和內容進行討論後，始予分類。最後，再將全部文獻分析之所得作整體性的歸納與綜合。

肆、結果與討論

爲強調各概念間的連貫性，本研究乃以 Pearson 和 Hughes（1986）以及 Campbell、Reecec 和 Mitchell（1991）的觀點爲主要依據，同時配合 Chi 和 Slotta（1993）的分類法，將文獻分析的結果整理成細胞分裂（包括有絲分裂（mitosis）、減數分裂，均屬「事件」類）、有性生殖（包括配子（gamete）和性狀遺傳二概念，前者屬「自然物質」類，後者屬「事件」類）、孟德爾遺傳定律（Mendel's laws of inheritance）（包括機率在遺傳學上的應用與基因型）（分屬「過程」類與「自然物質」類）、基因（gene）（包括對偶基因（allele）、DNA 的化學組成與結構、顯（隱）性（dominance/recessiveness）、共顯性（codominance）、不完全顯性（incomplete dominance），前二者屬「自然物質」類，後三者均爲由基因所控制的現象，屬「事件」類）、染色體（包括同源染色體（homologous chromosome）、性染色體（sex chromosome）和性聯（sex-linked）遺傳，前二者屬「自然物質」，後者爲與性染色體有關之「事件」類）、突變（mutation）（屬「事件」類）與遺傳工程（genetic engineering）（屬「事件」類）等七大類大、中、小學生出現的遺傳學迷思概念。從遺傳學知識結構（Campbell, Reece, & Mitchell, 1991）與課程設計的架構（Pearson & Hughes, 1984）觀之，因遺傳學在解釋有性生殖及其機制，故有性生殖是屬於含括性最廣的概念。有性生殖涉及由減數分裂產生具單套染色體之雌、雄配子，二者結合爲具雙套染色體、帶同基因型或異基因型的同型或異型合子後，再經有絲分裂長成一個完整的個體。從染色體及其上的基因之複製、分離等可詮釋減數分裂和有性生殖的關係。染色體是由 DNA 所組成，其變異稱爲突變。透過 DNA 的操作來製造新產品的技術稱爲遺傳工程。性染色體則決定性別。基因以對偶基因的形式存在，可透過顯隱性遺傳、共顯性遺傳與不完全顯性遺傳等方式來控制性狀的表現。整個減數分裂過程可以孟德爾遺傳定律和機率的原理來說明之。可見遺傳學各概念間彼此關聯，構成複雜的遺傳學概念結構。只要對概念或概念關係有所誤解，都會造成單一概念及其相關概念的迷思。

茲將文獻分析所得之七大類遺傳學迷思概念及其相關概念並可能造成迷思概念的來源或成因，分別歸納（附錄二~附錄八）並討論如下：

一、細胞分裂

由附錄二可以得知，學生在細胞分裂方面

的迷思概念主要包括：有絲分裂的結果（1-1）、有絲分裂過程的染色體行爲（1-2）及其在生物學上的意義（1-3）、減數分裂的定義（2-1）、減數分裂過程各階段之染色體行爲和先後順序（2-2~2-11）、X 形染色體的成因（2-4）與減數分裂的結果等項（2-12、2-13）。細胞分裂均在描述分裂過程之染色體行爲，尤其在減數分裂二次分裂的各階段中，染色體結構的轉變與聯會、互換、排列、分離等發生順序間的關係更是複雜。Kindfield（1991b）認爲學生須將減數分裂過程各事件的順序與染色體結構之轉變相互配合，才能完整了解減數分裂。Smith（1991）指出，染色體的複製與分配是學習有絲分裂過程的基本概念。因此，欲避免學生只記憶細胞分裂字面上的定義，而有正確的細胞分裂概念，應先對同源染色體、姊妹染色分體、四分體等名稱和形狀加以釐清。此外，若學生能知道有絲分裂的目的在確保新舊細胞間具有相同的染色體數和遺傳物質，而減數分裂是爲維持子代細胞的染色體數和增加族群內遺傳變異的機會以適應環境（Campbell *et al*., 1999），或可有助於對二種分裂結果有較清楚的認知。再者，因減數分裂過程的了解還涉及配子、對偶基因和孟德爾遺傳定律（含機率概念）等抽象概念，故學生也應將這些概念加以聯結，才能獲得完整的知識。有些學生以爲「各種細胞只帶有表現其功能所需的遺傳物質」（Lewis & Wood-Robinson, 2000），這還可能是因其不具細胞分化的概念所致。

減數分裂是學生學習遺傳學知識與解決相關問題必備的概念（Fisher *et al*., 1986; Kindfield, 1994）。然各年級學生對之均感困難而缺乏瞭解（黃台珠, 1990; Bahar *et al*., 1999; Cho *et al*., 1985）。因減數分裂與有絲分裂均屬微觀的抽象概念，故其對尚未具備形式操作認知能力的學生而言，應屬較難了解的概念（湯清二, 1990, 1993; 楊坤原和陳進利, 1990; Hackling & Treagust, 1982, 1984; Lazarowitz & Penso, 1992; Moll & Allen, 1987）。Lazarowitz 和 Penso（1992）的研究發現，爲學習複雜的減數分裂概念，學生須具備較多的工作記憶（working memory）空間，以進行相關概念間的聯結。除此個人因素外，教學和教材也是可能導致細胞分裂迷思概念的成因。由於有絲分裂與減數分裂過程表面上看似相近，且教師一般只以講述方式來教導這些概念，故學生容易對二者產生混淆（Radford & Bird-Stewart, 1982）。教科書的圖示不夠明確也是造成學生認爲「有絲分裂的結果會使子細胞的染色體數倍增」的潛在原因（Smith, 1991）。研究指出，教材圖示未能有效呈現減數分裂的動態過程（Kindfield, 1991a; Mertens & Walker, 1992; Smith, 1991）。教材的敘述使學生覺得減數分裂是一個既定的事實、學生無法確實了解到減數分裂在生物學上的意義、無法將相關概念作有意義的聯結（Cavallo, 1996; Hackling, 1982; Hendrix *et al*., 1981; Kindfield, 1994; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Stewart, 1982; Stewart *et al*., 1990）等，也可能是促成學生慣以記憶的方式來學習減數分裂的動態過程，而對染色體的複製、配對、互換等發生次序產生模糊之潛在因素。一些學者認爲，在有限教學時間內同時教授有絲分裂和減數分裂，易使學生因未能充分了解，而造成混淆（Lewis & Wood-Robinson, 2000）。

染色體的複製和分離的關係是教學必須澄清的重點（Longden, 1982）。國內目前使用之中學的生物教科書述及減數分裂的部分，除文字敘述外，均有附圖簡要說明減數分裂過程染色體的行爲（國立編譯館, 2001; 國立台灣師範大學科學教育中心, 2000）。然生物教科書中以「細胞分裂」來指稱有絲分裂的敘述方式，是否會如 Pearson 和 Hughes（1988）所言，因該詞是一混成詞（pontmanteau），可同時意指有絲分裂和減數分裂，而致使學生對二者造成混

淆，值得考慮。爲明示減數分裂各階段染色體的行爲與結構之變化，促進正確解決遺傳學問題，教師應將肉眼不易看見之染色體行爲透過模型加以具體化，或可藉助教具模擬或教學科技的方式，來促進學生的了解。

二、有性生殖

關於有性生殖及其相關概念的迷思（附錄三），包括：不清楚配子所帶的染色體數（1-1、1-2）、以非遺傳的因素來解釋性狀遺傳（2-1~2-11）和後天改變的性狀可以遺傳給後代（3-1~3-9）三大類。在有性生殖的過程中，配子是減數分裂的產物，故其所具的染色體數應只有原來細胞的一半，以使雌、雄配子結合所形成的合子（zygote）又恢復親代細胞所具的染色體數。可見，子代與親代間性狀的差異實受合子所帶的基因所控制（Campbell *et al*., 1999）。據此，生物體因後天的作用而改變原有性狀，若其未影響到生殖細胞中的遺傳物質，應不會遺傳給後代。因有性生殖的過程與生物學意義與減數分裂彼此相互連貫，故學生如對減數分裂過程不清楚或未將減數分裂、配子形成與有性生殖三者加以關聯，就可能不知配子所帶有的染色體數，也不會從雙親的基因組合決定子代性狀的觀點來解釋子代性狀的差異與後天改變的性狀不會遺傳之原因。

學生在接受正式教學之前，已可從日常生活中所飼養的家畜、寵物或家人身上觀察到親子個體間的相似性，而對有性生殖有不同程度的認識（Ramorogo & Wood-Robinson, 1995）。即使是學前兒童也能以生物性的過程來解釋嬰兒如何產生（Bernstein & Cowen, 1975; Goldman & Goldman, 1982），也會根據父子間共同的物理特性來判斷親子間的關係（Solomon, Johnson, Zaitchik, & Carey, 1996; Springer, 1992, 1995, 1996）。這都是因兒童對這些現象均爲表面的認識，並未眞正瞭解其內在機制及其生物學上的意義所致。許多探討學前兒童和小學生對性狀遺傳和後天改變的性狀能否遺傳二概念所存之教學前概念的研究也發現，這些學生的想法大都把注意集中於外部可觀察的性狀，這是起自個人平日對周遭現象的觀察，再根據其感覺、日常經驗和信念之自發性的詮釋（陳世輝, 1994; 薛靜瑩, 1998; Deadman & Kelly, 1978; Hackling & Treagust, 1982; Kargob *et al*., 1980）。Springer 和 Keil（1989）指出，由於自然的情況下幾乎無獲得性遺傳（acquired inheritance）的事例，故學生的迷思概念可能都是因其過度引伸其信念所致。綜合各研究發現可知，導致這些想法的來源，多因學生受文化薰陶，累積生活經驗而得的產物（陳世輝, 1994），部分源自學生的直覺（Clough & Wood-Robinson, 1985; Deadman & Kelly, 1978），有些也可能受教材或教學的影響（薛靜瑩, 1998）。由於這些特性，此類迷思概念即使在教學後也較難使之改變（Kargob *et al*., 1980）。除深受來自家庭與社會文化經驗之影響外，學生能否能瞭解受精和減數分裂的概念，再將之與有性生殖概念相關聯，也會決定其對有性生殖在生物遺傳之目的瞭解程度（Hackling, 1982）。

學生對性狀遺傳和後天性狀的改變能否遺傳之概念有隨年齡發展的趨勢，而其背後的原因乃學生的生物學知識增加所致。研究指出，十歲以下的兒童多以環境因素、天生自然或身體器官的影響來解釋性狀遺傳的現象，但十歲以後因生物學知識增加，便能以合乎遺傳學的觀點來解釋（Kargob *et al*., 1980）。薛靜瑩（1998）也發現，國一學生對此概念的理解顯著優於國小五、六年級的學生，可見，遺傳學知識的增加應可使學生逐漸正確了解該概念。年幼的兒童在考慮後天獲得的性狀能否遺傳時，往往因只考慮一個變項便決定特徵能否遺傳，故其在不同情況下的解釋會出現不一致的情形（Kargob *et al*., 1980）。此外，四或五歲的

幼童會採素樸的（naive）拉馬克主義者之觀點來解釋獲得性性狀之遺傳，但隨著遺傳學知識的增加，這些先前的想法就會改變（Springer & Keil, 1989）。由此可看出學生對此概念的發展應與遺傳學知識的獲得有關。

根據上述的研究結果，教師在教授性狀遺傳的概念時，需在說明減數分裂概念的同時，一併強調減數分裂、配子形成與有性生殖三者間的關聯，以幫助學生對之作出有意義的聯結。此外，教學時可多舉一些反駁迷思概念的日常現象（如弟弟未必長得比哥哥瘦或矮、父親未必都比母親強壯、子女的性狀有的像父親有的像母親等例子），使學生產生認知衝突（cognitive conflict）而修改其由經驗而生的想法。

三、孟德爾遺傳定律

從附錄四的各項研究結果可知，學生對孟德爾遺傳的分離律不具正確的了解（1-1）、無法以孟德爾遺傳定律來解釋棋盤格（Punnett square）操作的原理（1-3、1-4）、未具備之機率的相關概念（2-1~2-4）和不會設計正確的基因型（3-1~3-3）等。孟德爾遺傳定律原是孟德爾爲解釋其實驗結果所提出的假說，而後隨著染色體、減數分裂的發現與遺傳學者的觀察與實驗驗證，終爲孟德爾遺傳定律提供了細胞學上的基礎（Campbell *et al*., 1999）。孟德爾遺傳定律主要在描述減數分裂時，基因的自由分離與獨立分配等現象，涉及減數分裂、基因、染色體、顯（隱）性等概念。因減數分裂時基因的分離與分配屬隨機行爲，故學生在學習孟德爾遺傳實驗時，須知此實驗的結果，是由大量豌豆子代出現的各種性狀推算而得，如果期望獲得「顯性和隱性性狀之比爲 3：1」的結果，須在實驗次數或樣本數夠多的情形下才能實現（此即二項式法則（binominal theorem）和大數法則（law of large numbers）的原理）。此外，爲推算兩親代個體交配後子代可能出現的性狀，除需正確設計基因型外，還得應用機率中的總和律（sum rule）和乘積律（product rule）來計算機率的組合。一些研究發現中學生認爲「子代出現顯隱性性狀之比例必爲 3：1」、（Hackling & Treagust, 1984; Kinnear, 1986）「不知將合乎孟德爾遺傳情境所設計的題目中所設定之表現顯、隱性性狀的個體數化約成3：1 的關係」（楊坤原和陳進利, 1990）與不會推算一對夫婦生出一男一女的機率（Hickman *et al*., 1978）等現象，可知學生未必眞了解機率在孟德爾遺傳定律上的應用。一些中學和大學生因無法以減數分裂與孟德爾遺傳定律來解釋棋盤格的操作，而出現種種錯誤的操作方式，亦反映出學生只是憑藉所習得的算則（algorithm）進行刻板的棋盤格操作，故即使獲得正確答案也未必代表眞正瞭解（黃台珠, 1990, 1993; Kindfield, 1991a; Moll & Allen, 1987; Stewart, 1982; Tolman, 1982）。有些學生雖能用機率來預測事物出現的機會，但卻無法將之應用於解決譜系圖之遺傳學問題（Hickman *et al*., 1978），這也是因無法整合機率和遺傳學概念所致。此外，雖已學過孟德爾遺傳實驗，仍有國三以上學生不清楚基因型的定義（Hendrix, *et al*., 1981）、不會用小寫的英文字母來代表隱性性狀、不知如何設計二對基因的基因型（楊坤原和陳進利, 1990）或同型合子的基因型（Stewart, 1983）。這可能是因學生對孟德爾遺傳實驗中爲何要以英文字母的大小寫來代表顯隱性的用意無眞正的瞭解使然。

依概念階層的心理學觀點，學習孟德爾遺傳定律因需以其他遺傳學概念爲基礎，故屬高層概念。學生須具備有意義的學習心向以統整各相關概念，否則難以正確習得孟德爾遺傳定律（黃台珠, 1993; 楊坤原和陳進利, 1990; Cavallo, 1996; Stewart, 1982）。因該定律所牽涉的相關遺傳學概念均屬抽象概念，故尚未具形

式操作能力的學生恐不易了解（楊坤原和陳進利, 1990; Radford & Bird-Stewart, 1982）。國內的小學科學課程並未涵蓋遺傳學單元，而國一學生在初學孟德爾遺傳定律時，數學課程尚未述及機率概念，故學生若只記憶課本上該實驗的結果，一味的練習使用棋盤格的推算，將可能只是死記字面的意義，而將概念做錯誤的解釋或不當地用於解題之上。

孟德爾遺傳定律是一個透過實驗建立科學定律的過程（Campbell *et al*., 1999），爲增進學生對此概念有完整的了解，教師或可配合教材內容，補充說明孟德爾遺傳定律的發展史，並輔以例子解說機率的意義，讓學生有機會在情境化的實驗中，模擬演練孟德爾實驗的過程，藉以從實做中體會各概念間的關聯與科學實驗的意義，避免學生以記憶的方式來學習。

四、基因

由附錄五顯示，學生在基因與對偶基因的關係（1-1、1-2）、基因在染色體上的位置（1-3、1-4）、DNA 的化學組成與結構（2-1~2-4）、顯（隱）性的意義（3-1~3-3）、共顯性的意義（4）與不完全顯性的意義（5-1）及成因（5-2）等概念上，均存有若干的迷思概念。孟德爾最初假定每一種遺傳的性狀，都是由一對特定的遺傳因子（即基因）所決定，換言之，生物的遺傳性狀皆由一對基因的組合方式所決定（Campbell *et al*., 1999）。這一對基因即由 2 個對偶基因所組成。待染色體學說獲證實後，遺傳學者於是得知基因乃是位在染色體上的一種遺傳單位，對偶基因則分別位於成對的同源染色體上。之後，科學家又從染色體的分析，確認基因的本質就是 DNA 的複雜結構（Campbell *et al*., 1999）。除了孟德爾遺傳定律所解釋的顯隱性遺傳外，尚有些與孟德爾遺傳定律不盡相符，屬不完全顯性的中間型遺傳（由於對偶基因之一可能爲不完全顯性所造成）和由複對偶基因（multiple allele）所控制之共顯性遺傳（人類血型的表現則是由 I^A、i、I^B 三個對偶基因所支配，I^A 與 I^B 均爲顯性基因，可分別產生抗原 A 和抗原 B；i 爲隱性基因，不產生任何抗原）等現象（Campbell *et al*., 1999）。

基因與對偶基因的意義及兩者間的差異和相互關係是各年級學生常見的難處之一，即使經過教學也不易了解（Bahar *et al*., 1999; Collins & Stewart, 1989; Donovan, 1997; Edwards, 1991; Kindfield, 1994; Pashley, 1994）。究其原因，可能係基因爲肉眼所不能見，故對不具抽象思考能力的學生而言，較難學習（湯清二, 1990; 楊坤原和陳進利, 1990）。再者，學生之所以會認爲基因與對偶基因不同，主要是因教科書模糊和不正確地使用遺傳學詞彙，而使學生以爲豌豆具有「高莖和矮莖二種不同的基因」之錯覺（Radford & Bird-Stewart, 1982）。我國國中生物教科書下冊第八章中雖有對偶基因的圖示（圖 8-1），但並無定義（國立編譯館, 2001）；高中基礎生物第三章中則有定義，無特定的圖示，但有舉例說明「若基因型爲 *Rr* 時，R 爲 r 的對偶基因，r 亦爲 R 的對偶基因；若基因型爲 *YY* 之一對基因時，Y 即爲 Y 的對偶基因，但決不是 R 或 r 的對偶基因」（國立台灣師範大學科學教育中心, 2000）。是否這樣的說明會如 Radford 和 Bird-Stewart（1982）所言，造成學生以爲有二種不同的基因之誤解，值得注意。爲避免學生只是記憶字面的定義，而產生混淆，教學時應特別釐清基因與對偶基因二者的關係（Donovan, 1997; Stewart, 1983; Wood-Robinson, 1994, 1995）。關於 DNA 的化學組成與結構應屬高中或大學生物課程的內容，然高中和大學生對此仍感困惑。由於 DNA 分子的化學結構和組成相當複雜，若學生不具化學相關概念實難清楚，可見遺傳學的學習尚須藉助化學的相關概念（Radford & Bird-Stewart, 1982）。學生欲了解「基因位在染色體上」的

眞正意義，需對減數分裂過程之染色體行爲與基因離合之間的關係有所認識。而欲將一對基因正確標示在染色體上，還需瞭解「控制一種性狀的成對基因通常位在一對同源染色體上」、「基因與染色體的本質都是 DNA」且「基因就是一段染色體上有功能之 DNA 獨特序列」的意義，並將之與圖示相聯結方可致之。故國中生物教科書下册第八章中雖有圖示（圖 8-1）與課文說明，但國內的中學生尙有無法正確標示基因在染色體上者，可見他們在教學後，仍未能結合圖與文的內容而對這些概念關係產生有意義的聯結。

國內學者發現，國小學生雖未經過學校教學，已能由生活經驗中，自發地發展出不正確但類似顯隱性和中間型遺傳的想法（陳世輝, 1994）。國外的研究指出，學生根據家庭中遺傳類型的觀察所獲得的具體經驗來解釋顯性的意義，比正式教學以基因的形式來解釋更爲容易（Hackling & Treagust, 1982），故其雖經教學但迷思猶存。有些中學和大學生可能是因無法將基因、對偶基因、染色體等相關概念作有意義的聯結（Fisher, Lipson, Hildebrand, Miguel, Schoenberg, Porter, 1986）或將日常生活中一般性的意義與遺傳學上的意義相混淆，使其對顯性一詞的定義，常與外顯、較常出現、較強勢等想法相聯結而賦予一些未必完全正確的性質，因而形成錯誤的關聯（misassociated）（Donovan, 1997; Fisher *et al*., 1986; Hackling, 1982; Pearson & Hughes, 1988）。還有些教科書將顯性與隱性形容爲競爭和敵對的說法，也是造成錯誤印象的來源（Donovan, 1997）。這種因具體經驗和日常用語的影響而造成與遺傳學上的意義相互混淆之情形，也見於不完全顯性的概念中（Hackling, 1982; Hackling & Treagust, 1982）。究其原因，可能如陳筱莉和林陳涌（2001）所述，文字的慣用語義會影響學生對科學專有名詞的瞭解。而學生在學習生物學的複合詞之概念意義時，會從複合詞中個別的字或詞來猜測整個詞的意義。故學生會由「顯」、「中間型」或「不完全」等字眼來解釋顯性或中間型遺傳之迷思可謂其來有自。然而，因這種解釋也曾出現於遺傳學史上若干學者的想法（Hackling, 1982），故此想法也反映出學生的想法平行於科學理論發展史，而未必是學生毫無價值、盲目的臆測（Glynn *et al*., 1991）。因不完全顯性的定義涉及基因等抽象概念，故學生除須具有形式操作期的認知能力外（Hackling & Treagust, 1982, 1984; Lazarowitz & Penso, 1992），還應同時學習顯性等相關概念，明辨「基因的混合」是指「異基因型」而非「混合型」（Hackling & Treagust, 1984），方可避免誤解。至於爲何仍有中學生設計錯誤之複對偶基因遺傳的基因型或以三個不同的英文字母來表示共顯性性狀之基因型（楊坤原和陳進利, 1990; 楊坤原和鄭湧涇, 1997），有可能係學生對對偶基因和 I^A 基因對 I^B 基因、I^A（或 I^B）基因對 i 基因之間的顯隱性關係不清楚（Radford & Bird-Stewart, 1982）而起。

爲協助學生清楚認識基因與對偶基因的關係，教師應指出「A 和 a 都是基因，只是在一對基因 Aa 中，A 與 a 彼此互稱爲對偶基因」。面對因學生望文生義而對顯性、共顯性產生混淆，教師可配合課文中孟德爾遺傳實驗的介紹，強調顯性和隱性在該實驗中的意義。而要說明「基因位在染色體上」的意義，除加強相關概念的聯結外，最好還要輔以模型或電腦多媒體圖示，讓學生能透過圖文相佐，而產生較爲具體的感覺經驗。

五、染色體

如附錄六所示，學生對 DNA 分子的數目與染色體的套數（ploidy）間的相對關係（1-1）、染色體與染色分體的差異（1-2、1-3）、同源染色體的定義（2-1）、同源染色體與姊妹染色分

體的差異（2-2）、男女性所具有的性染色體（3-1）、決定人類性別的因素（3-2）、性聯遺傳的定義（4-1）與原理（4-2）等概念，均出現一些誤解。生物細胞中所含染色體的套數是指其基因組（genomes）的數目，而非 DNA 分子的數目（Campbell *et al*., 1999）。學生雖知染色體的成分是 DNA，但如不知何謂基因組的定義，也無法明白 DNA 分子的數目與染色體的套數（ploidy）間的相對關係。染色分體是有絲分裂或減數分裂的前期和中期之染色體複製時明顯可見的次單位（Campbell *et al*., 1999），但學生常將 2 條染色分體視爲染色體複製的產物。在行減數分裂時，細胞中兩兩成對且大小、形狀相同的同源染色體會相互配對；而姊妹染色分體是指由同一染色體複製所得的染色分體（Campbell *et al*., 1999）。由於一條染色體複製時會出現 2 條相連且大小、形狀均相同的姊妹染色分體，故若單就字面上的意義，學生確有可能將同源染色體誤認爲姊妹染色分體。人類男女性細胞中各帶有不同的性染色體，性別由合子中的性染色體組合來決定。性聯遺傳指一些因位於性染色體上基因連鎖所導致，而與性別有直接關聯之性狀的遺傳（Campbell *et al*., 1999）。學生必須知道性染色體，才能正確指出決定性別的因素。唯有從基因連鎖的觀點來看性聯遺傳，學生對性聯遺傳才不致造成「較多發生於女性」、「致病基因必存在 X 染色體上」之刻板印象。

據上述各研究發現，染色體複製後的結構是學生產生混淆的癥結所在，故爲教學時必須特別加以比較之處。Kindfield（1991a）建議教材中的圖示應清楚區別染色體的結構與數目的關係，以促進學生的了解。國內國中生物教科書下册在第七章的課文中，將同源染色體的特徵描述爲「兩條成對且同形狀」，而在圖示（圖 7-2.1）中則將雌果蠅的四對同源染色體分別以不同的顏色標示之（國立編譯館, 2001）。高中基礎生物第三章的圖示（圖 3-9）中也將不同對同源染色體以斑點之有無加以區分（國立台灣師範大學科學教育中心, 2000）。然黃台珠（1990, 1993）在其研究中曾指出，中學生物教科書中只描述同源染色體的特徵但沒有解釋，且國、高中教材的附圖對同源染色體的顏色標示不一，而使得學生反而因顏色的標示而徒增辨識上的困擾。可見，因教材圖示欠妥反而造成學生混淆確有可能。Chandler 和 Sweller（1991）在其研究中發現，教科書的圖示中若能直接加入必要的文字來說明重要細節，便可指引學習者找到重要的學習資源，減少其認知負荷（cognitive load）。據此，教科書原圖示應可考慮在圖中指出何者爲同源染色體，並在旁加註其意義，以免造成混淆。

雖然學生可能透過日常經驗或媒體來認識性別的遺傳（Ramorogo & Wood-Robinson, 1995），然欲知性別決定的眞正因素之關鍵，在具備性染色體概念。因國內國中生物教材並未含括性聯遺傳的概念，故國中生尚未具有此概念。高中生物教材在介紹性聯遺傳定義時，還舉與 X 染色體有關之人類性聯隱性遺傳疾病和果蠅的色盲遺傳爲例來加以說明（國立台灣師範大學科學教育中心, 2000）。是否國內高中生受教材所舉的例子影響，而以爲性聯遺傳只有 X 連鎖隱性遺傳的情形，值得教師注意，而能在教學時另舉一些屬 X 連鎖顯性遺傳和 Y 連鎖遺傳的遺傳疾病實例，配合性聯遺傳的原理加以說明，以減少學生因只知道 X 連鎖隱性遺傳一種情形，而誤以爲「性聯遺傳必與 X 染色體有關」。

六、突變

附錄七的各研究顯示，學生的迷思概念集中於突變的定義（1）、成因（2）、結果（3）和突變在生物學上的意義（4）等四項。突變泛指任何不經分離或遺傳重組而發生在遺傳物

質中可改變的遺傳，其可自然發生，也可使用誘變物（mutagen）以人工的方法致使之。突變的結果對個體本身通常是有害的，僅少數有益，然其在生物學上之重要意義爲產生遺傳變異，以造就生物的多樣性（Campbell *et al*., 1999）。

研究顯示，中學生對「突變」產生迷思的主要原因包括：(1)因日常生活中較少提及此一名詞，故學生對突變究竟如何發生不甚了解（湯清二, 1990; Albaladejo & Lucas, 1988）。(2)突變含有改變的意味，若學生未能分辨所發生的變化是屬於遺傳層面或其他形式之生物性的改變，就會造成混淆（Albaladejo & Lucas, 1988）。(3)由於大多數教科書內容敘述的影響，常使學生將突變與破壞、不幸、罕見、意外等不好的印象相聯結，於是學生對突變便持有絕對負面的看法，忽視了突變也具有其他正向的意義（Pearson & Hughes, 1988）。換言之，學生將未必總是如此的情況（不幸、破壞），過度地關聯到突變的意義上（Pearson & Hughes, 1988）。事實上，突變的利弊需視生物體所生存的環境與時期而定。因此，要減少學生對突變有以偏蓋全的想法，教科書的敘述應同時兼顧其正面與負面的意義（Cho *et al*., 1985）。此外，教師也可從生物演化（evolution）的觀點，進一步說明突變在遺傳與演化所扮演之正面角色。

七、遺傳工程

研究發現（附錄八），學生對遺傳工程的定義（1、2）及其所涉及的技術（3）知之甚少。遺傳工程是透過對生物有性週期的遺傳操縱，以形成具有新遺傳物質之組合個體。遺傳工程可透過細胞雜交或 DNA 的改造（重組，recombination）來進行。由於涉及細胞雜交和 DNA 層級之操作技術，故學生欲了解遺傳工程的定義或技術當先了解細胞的構造與功能、有性生殖、染色體和 DNA 等相關概念爲基礎。國內國中生物教科書下册第八章在介紹各遺傳學概念後，在最後一節亦簡略提及遺傳工程與遺傳諮詢的定義和實例（國立編譯館, 2001）。但因文中並未說明遺傳工程的操作原理，故學生對遺傳工程的範圍和原理無從得知。基於所涉及的相關概念，遺傳工程大都屬高中或大學生物學的內容，故對國中學生而言，除非平日曾接觸生物學專業刊物或資訊，否則實無法得知。惟因媒體的訊息也可能是造成學生對遺傳工程造成誤解的來源之一（Kinnear & Martin, 1987）。鑒於遺傳工程或生物科技對人類生活的影響與日俱增，其相關訊息常見於平時之報章雜誌上，爲建立中學生正確的概念，中學生物教材中應可加上簡明的遺傳工程或生物技術原理與操作的圖示，以幫助學生了解。

小　　結

匯聚上述七類遺傳學迷思概念文獻探討之結果，不難發現遺傳學各概念間存有相互依存的關係，例如：減數分裂概念的學習與配子、染色體、同源染色體、基因和孟德爾遺傳定律間都有關聯；減數分裂過程之染色體與基因的行爲又爲了解配子產生、有性生殖、性狀遺傳、孟德爾遺傳定律的學習所必備之概念；基因、染色體與 DNA 的化學組成與結構等概念不但彼此相關，同時也是有性生殖、細胞分裂、孟德爾遺傳定律、突變、遺傳工程等概念的基礎等。此外，孟德爾遺傳定律與 DNA 的化學組成與結構等概念的學習除需具相關的遺傳學概念外，還牽涉化學與機率的概念。

就各研究所列迷思概念的來源或成因而言，許多研究者均提及學生產生遺傳學迷思概念的根本原因，都是因無法對各概念作出有意義的聯結所致。減數分裂、基因、孟德爾遺傳定律等概念因屬抽象概念，故其了解需具備形

式操作期的認知能力。因教師採講述式教學使學生無法將減數分裂與其他相關概念產生聯結，故教學法應配合所要教授的概念，方有助於學習。教科書一般都是學校教學的主要內容，但其圖示及用語也是多次爲研究者提及之導致減數分裂、同源染色體、染色體的結構、基因與對偶基因、突變和顯隱性等迷思概念的因素。對那些在日常生活中可以看見的遺傳現象（如有性生殖、顯性、共顯性、不完全顯性、性別遺傳和性狀遺傳），學生所具的日常經驗則成爲誤導這些概念的因由。此外，學生過度引申其信念而誤以爲後天改變的性狀可以遺傳、一些媒體關於遺傳工程的報導等，也都是學生產生遺傳學迷思概念的可能來源。

鑒於各項造成遺傳學迷思概念之成因，教師在設計遺傳學教學時，應審愼考慮學生的先前經驗，並藉助教具或提供認知衝突的機會來增進學生的了解。在解釋課文內容或引用日常實例時，需清楚指出日常用語和科學詞彙間的差異，免得爲顧及學生的了解卻反而造成學生對詞意有不當的聯想或類推。遺傳學概念的教學順序固然已受科書內容章節的安排所限定，但教師在必要時應加以調整，以便讓學生能採概念同化的方式來學習，如此可助其克服認知能力的因素，獲致較爲具體、正確的了解。

伍、結論與建議

由本研究的分析發現，各級學生對細胞分裂、有性生殖、孟德爾遺傳定律、基因、染色體、突變與遺傳工程等七類概念均存有不同程度的迷思。因遺傳學各概念彼此關聯，猶如概念網路一般（Pearson & Hughes, 1984），故若學生無法對各概念與概念之間的關係有清楚正確的認識，則無法有意義地了解遺傳學知識。這可說明爲何學生對若干遺傳學概念的意義一無所知，有些雖知道詞彙但不清楚其意而使用錯誤，還有學生持有與正式科學完全不同的想法等不同程度的情形。由國內外研究結果的比較得知，大部分遺傳學迷思概念雖具跨年齡、跨文化的特性外，但仍有些許不同的發現。此外，有些遺傳學迷思概念的內容與遺傳學史上出現的想法十分雷同。

造成學生迷思概念的來源可大別爲個人、家庭與社會文化和學校教學三大類。學生所存的一些遺傳學迷思概念係源於自己對周遭環境中各種現象的觀察與所接受之外來訊息，再以此由知覺爲基礎所產生的經驗進行單面向、不完整的思考或簡單、直線式的推理爲遺傳現象作出表面的、片段的解釋，於是出現與經過科學探究過程所獲得之正式知識不同的另類想法。此外，個人因素還包括認知能力、年齡、知識結構、信念與學習心向等項。家庭與社會文化的影響則多來自媒體傳播的訊息和語言文字的溝通。教室中的教學方法、概念教授的順序、教科書的圖示與描述內容的用語等，也是導致遺傳學迷思概念產生的可能因素。有些迷思概念（如：獲得性性狀的遺傳）明顯受到個人和家庭與社會文化兩類原因所影響，而關於有絲分裂、減數分裂等抽象概念的學習，除了與個人的認知能力、學習心向有關外，也與教學的因素有密切的關聯。概念改變的困難度也會受到迷思概念成因的影響，其中尤以那些涉及學生個人由日常生活經驗形成之信念者爲最。相對而言，對那些持有減數分裂過程染色體行爲之迷思概念的大學生而言，只要能針對錯誤的情形加以修正就可除去之。據此，將來針對諸如此類的研究或教學，實應同時從三方面的影響因素來考量，方能有較爲全面且深入的見解。

由上述各項結論中也可看出，遺傳學迷思概念具有與其他科學迷思概念的特性。歸納遺傳學迷思概念各研究者所提的作法，並參酌認知取向心理學的觀點，針對遺傳學教學可提出

如下幾項建議：

一、透過實際的遺傳學解題提供學生學習並應用遺傳學概念的機會：研究發現，學生雖會使用算則來推算一對基因或二對基因雜交的問題，但卻無法說明背後所涉及的遺傳學概念或對之並無眞正的了解。於是，學者強調必須讓學生透過問題解決來學習遺傳學，以便從中探知學生對概念的了解（Brown, 1990; Collins & Stewart, 1989; Kindfield, 1994; Smith & Good, 1984）。依訊息處理論，敘述性知識（declarative knowledge）必須透過程序性知識（procedural knowledge）的使用，才不致成爲死的（inert）知識（Gagne *et al*., 1993）。情境學習（situated learning）論的學者則強調，知識唯有在它所產生與使用的情境中來加以解釋才有意義（Brown, Collins, & Duguid, 1989）。Eylon 和 Linn（1988）也主張，應從概念學習、認知發展、個別差異和問題解決四個層面同時考量，始得對學生學習科學知識及其思考過程有較完整的洞見。可見，遺傳學的教學不宜單靠講述或算則的練習，而應使學生透過實際的遺傳學解題情境學習並活用概念。

二、澄清減數分裂過程及其相關概念在遺傳學上的意義：減數分裂和有絲分裂的過程、染色體結構與套數的關係與基因、性狀與染色體的關係與減數分裂過程之基因與染色體的行爲是幾個最被研究者所強調的教學重點。因學生常因將突變、顯性與隱性、不完全顯性與共顯性等概念加入日常用語的意義而產生混淆，另基因與對偶基因的關係也是學生不易釐清之處，教學時宜特別區分之。

三、依認知同化的原理與科學史上概念發展的順序來設計教學：就遺傳學單元之概念教學順序而言，有學者爲提升學習興趣並可將減數分裂與遺傳的關係緊密相扣，主張教學時可先從減數分裂概念開始，再述及人類的性染色體、性別的決定、性聯遺傳、一對和二對因子雜交、共顯性，最後才提到孟德爾的實驗與遺傳定律（Tolman, 1982）。另有學者爲讓學生能進行 Ausubel（1968）所言之含攝（subsumption）過程，於是建議先介紹遺傳學各概念，再將減數分裂、配子、受精等概念置於遺傳的情境中，產生有意義的學習（Hackling, 1982）。Cho 等人（Cho *et al*., 1985）也依據 Ausubel（1968）之同化論，主張遺傳學各概念的學習需與減數分裂、染色體概念相關聯，故教學順序依次應爲遺傳學各概念、減數分裂、染色體相關概念。若單就減數分裂概念的教學而言，有學者認爲應先介紹染色體知識（包括染色體的本質及其在減數分裂所扮演的角色、染色體與基因的關係），待學生對此有所了解後，再呈現減數分裂各階段及其間的染色體結構與行爲，最後再解釋減數分裂每階段所發生之染色體互換、分離等事件與最後的結果。如此才符合概念同化的原則（Hallden, 1988; Smith, 1991）。無論諸學者對概念教學順序的論點爲何，他們所提的建議均能突顯各遺傳學概念間的關聯性，然 Tolman（1982）爲強調將遺傳學置於人類遺傳的背景中學習，使習得的概念能與其實際生活有所關聯，藉以提昇學習動機，故提

出與其他學者（Cho *et al*., 1985; Hackling, 1982; Hallden, 1988; Smith, 1991）相反的概念教學順序。若參照遺傳學發展史，則以 Hackling（1982）與 Cho 等人（Cho *et al*., 1985）所提之教學順序較符合先後次序。然因孟德爾遺傳現象的了解涉及基因、染色體、減數分裂等概念，故 Tolman（1982）的建議也不無道理。因此，概念教學的順序可依教師之教學目的來擇定。因科學教學大都支持在概念同化的基礎上來進行探究，故教師若有意讓學生能透過問題解決的探究歷程來學習遺傳學，不妨可參照孟德爾提出遺傳定律的過程來設計教學，如此更能讓學生眞實地經歷科學活動，同時學習科學方法與概念。

四、選擇適何學生認知發展的教學策略與教具：許多遺傳學概念均屬抽象概念，因此，教學策略的選擇應考量學生的認知發展層次。除可使用具體的實例（Costello, 1984）、圖示（Mertens & Walker, 1992; Stewart & Maclin, 1990）或概念圖（Hackling, 1982）來幫助學生學習外，也有人曾設計具體易操作的教具，以幫助具體操作期的中學生學習遺傳學概念（黃台珠, 1993; 黃台珠、鄭世暖、林明輝、蘇懿生、張學文、趙大衛, 1994; Pashley, 1994）。爲避免學生以爲減數分裂過程是由個別獨立的事件或階段所組成，學者建議應使用影片或錄影帶一類的視聽媒體呈現減數分裂的動態過程，以防學生記憶而未了解此概念(Longden, 1982)。透過教學科技（instructional technology）所設計的輔助教學軟體來展示減數分裂過程和遺傳學概念的示例，也值得考慮（Browning & Lehman, 1988）。然無論採用何種媒體，均應注意認知負荷與眞實性的問題，以免反而產生誤導或反效果。

五、透過診斷測驗以發現學生的迷思概念：教學上所使用的測驗必須能診斷出學生學習的錯誤，方能由此獲得對教學更有助益的訊息（Snow & Lohman, 1989）。教師可參照 Odom 和 Barrow（1995）、Treagust（1988）等學者所提供的方法，發展合於教室中大量學生使用的紙筆式診斷測驗，藉以診斷學生可能出現的迷思概念。

六、未來研究方向：爲何學生在解釋自然現象時傾向於根據表象或未必正確的傳聞，而未能致力於追求精確、一致的答案？爲何國內外的學生對同一概念會出現不同的看法？導致迷思概念的影響因素和來源甚多，究竟最重要的因素爲何？概念本體間的差異與教學策略上的選擇如何相互配合？凡此種種均待未來進一步釐清之。

致　　謝

本研究之進行，承蒙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. 張筱莉和林陳涌（2001）：學童眼中的科學專有名詞。**科學教育學刊**, **9**(3), 219-234。
2. 黃台珠、鄭世暖、林明輝、蘇懿生、張學文和趙大衛（1994）：國中生物遺傳教學的改進研究。**高雄師大學報**, **5**, 113-135。
3. 國立編譯館（2001）：**國民中學生物教科書**

（下册）。台北市：國立編譯館。
4. 國立台灣師範大學科學教育中心（2000）：**高級中學基礎生物**（全一册）。台北市：國立編譯館。
5. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
6. Barrass, R. (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. *Journal of Biological Education*, *18*(3), 201-206.
7. Bernstein, A. C., & Cowan, P. A. (1975). Children's concepts of how people get babies. *Child Development*, *46*, 77-91.
8. Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, *18*, 32-42.
9. Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in genetics problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, *25*(9), 747-761.
10. Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (1999). *Biology* (5th ed.). New York: Addison-Wesley.
11. Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 293-332.
12. 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.
13. Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, *10*(2 & 3), 249-260.
14. 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.
15. Claxton, G. (1993). Minitheories: A preliminary model for learning science. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds.), *Children's informal ideas in science*. New York: Routledge.
16. Collins, A., & Stewart, J. H. (1989). The knowledge structure of Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, *51*(3), 143-149.
17. Cooper, H. (1998). *Synthesizing research – A guide for literature reviews* (3rd ed.). Thousand Oaks: Sage Publications.
18. Donovan, M. P. (1997). The vocabulary of biology and the problem of semantics. *Journal of College Science Teaching*, *26*(6), 381-382.
19. Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: A taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, *23*(1), 49-55.
20. Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of the literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, *5*, 61-84.
21. Driver, R. (1983). *The pupil as scientist*? Philadelphia: Open University Press.
22. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985a). Children's ideas and the learning of science. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press.
23. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985b). Some features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas*

in science. Philadelphia: Open University Press.
24. Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science – Research into children's ideas*. New York: Routledge.
25. 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.
26. Edwards, M. (1991). The newest biology. *BioScience*, *41*(3), 136-138.
27. Evans, J. S. B. T., & Over, D. E. (1996). *Rationality and reasoning*. Hove, Sussex: Psychology Press.
28. 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.
29. Finley, F. N., Stewart, J. H., & Yarroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, *66*(3), 531-538.
30. 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*. Dordrecht, the Netherlands: Klu-wer Academic Publishers.
31. Fisher, K. M., Lipson, J. I., Hildebrand, A. C., Miguel, L., Schoenberg, N., & Porter, N. (1986). Student misconceptions and teacher assumptions in college biology. *Journal of College Science Teaching*, *15*(2), 276-280.
32. Gagne, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1993). *The cognitive psychology of school learning (2nd ed)*. New York: HarperCollins College Publishers.
33. Gilbert, J. G., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, *10*, 61-98.
34. Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (1991). A constructive view of learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Asso-ciates, Publishers.
35. Goldman, R. J., & Goldman, D. G. (1982). How children perceive the origins of babies and the roles of mothers and fathers in procreation: A cross-national study. *Child Development*, *53*, 491-504.
36. Hallden, O. (1988). The evolution of the species: Pupil perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, *10*(5), 541-552.
37. 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.
38. Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R., & Srinivasan, V. (1977). Problems associated with concept analysis. *Science Education*, *61*(2), 185-199.
39. Kindfield, A. C. H. (1994). Assessing understanding of biological process: elucidating students' models of meiosis. *The American Biology Teacher*, *56*(6), 367-371.
40. Lazarowitz, R., & Penso, S. (1992). High school students' difficulties in learning biology concepts. *Journal of Biological Education*, *26*(3), 215-223.
41. Merrill, M. D., Tennyson, R. D., & Posey, L. O. (1992). *Teaching concepts*: *An instructional de-*

sign guide (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

42. 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.
43. Mintzes, J. J., & Arnaudin, M. W. (1984). *Children's biology*: *A review of research on conceptual development in the life sciences*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 249 044).
44. Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
45. 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.
46. Osborne, R. (1985). Building on children's intuitive ideas. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in science*. Hong Kong: Heinemann.
47. Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). Children's science. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in science*. Hong Kong: Heinemann.
48. Pearson, J. T., & Hughes, W. J. (1986). Design an A-level genetics course: I. Identifying the necessary concepts and considering their relationships. *Journal of Biological Education*, *20*(1), 47-55.
49. 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.
50. 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.
51. Radford, A., & Bird-Stewart, J. A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, *16*(3), 177-180.
52. Russell, T. (1993). An alternative conception: Representing representations. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds.), *Children's informal ideas in science*. New York: Routledge.
53. 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.
54. Solomon, J. (1993). The social construction of children's scientific knowledge. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds.), *Children's informal ideas in science*. New York: Routledge.
55. Springer, K. (1992). Children's awareness of the biological implications of kinship. *Child Development*, *63*, 950-959.
56. Springer, K. (1995). Acquiring a naïve theory of kinship through inference. *Child Development*, *66*, 547-558.
57. Springer, K. (1996). Young children's understanding of a biological basis for parent-offspring relations. *Child Development*, *67*, 2841-2856.
58. Stewart, J., & Maclin, R. (1990). Representing genotype-to-phenotype mappings. *Journal of Biological Education*, *24*(2), 113-116.
59. Tasker, R., & Osborne, R. (1985). Science teaching and science learning. In R. Osborne &

P. Freyberg (Eds.), *Learning in science*. Hong Kong: Heinemann.

60. 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.
61. Wandersee, J. H., Fisher, K. M., & Moody, D. E. (2000). The nature of biology knowledge. In K. M. Fisher, J. H. Wandersee, & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge*. Dordrecht the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
62. 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.
63. Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, *24*, 29-47.
64. Wood-Robinson, C. (1995). Children's biological ideas: Knowledge about ecology, inheritance, and evolution. In S. M. Glynn and E. Duit (Eds.), *Learning science in schools*: *Research reforming practice*. Hillisade, NJ: LEA.

附錄一　本研究所分析之文獻

1. 陳世輝(1994)：**兒童遺傳概念之研究**。國科會專題研究計畫成果報告(NSC-83-0111-S-026-004)，未出版。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. Albaladejo, C., & Lucas, A. M. (1988). Pupil's meanings for 'mutation'. *Journal of Biological Education*, *22*(4), 304-309.
11. 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.
12. Bahar, M. B., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, *33*(2), 84-86.
13. Brown, C. R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, *24*(3), 182-185.
14. Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in genetics problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, *25*(9), 747-761.
15. Clough, E. E., & Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, *19*(4), 304-309.
16. Costello, S. J. (1984). *Analysis of errors made by students solving genetics problems*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA, April 1984.
17. 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.
18. Hackling, M. (1982). An examination of secondary students' understanding of inheritance concepts. *The Australian Science Teachers Journal*, *28*(1), 13-20.

19. 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.
20. 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.
21. Hendrix, J. R., Mertens, T. R., & Baumgartner, R. S. (1981). Individualizing instruction through concept assessment. *The American Biology Teacher*, *43*(5), 246-253.
22. 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.
23. Kargob, D. B., Hobbs, E. D., & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, *14*(2), 137-146.
24. Kindfield, A. C. H. (1991a). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education*, *25*(3), 193-200.
25. 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).
26. Kinnear, J. F. (1986). *Computer simulation and problem solving in genetics.* Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA, April 16-20, 1986. (ERIC Document Reproduction Service ED 272 370).
27. Kinnear, J. F., & Martin, M. D. (1987). *Symbol use and concept development in genetic engineering*. Paper presented at the Second International Seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics. Ithaca, NY, July 26-29, 1987.
28. Koch, H. (1986). *A small-scale interview study of college freshmen's knowledge of concepts, principles and processes in molecular genetics before and after laboratory instruction*. (ERIC Document Reproduction Service ED 277 572).
29. 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.
30. 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.
31. Lock, R., & Miles, C. (1993). Biotechnology and genetic engineering: students' knowledge and attitudes. *Journal of Biological Education*, *27*(4), 267-272.
32. Longden, B. (1982). Genetics – Are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, *16*(2), 135-140.
33. 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.
34. Moll, M. B., & Allen, R. D. (1987). Student difficulties with Mendelian genetics problem. *The American*

Biology Teacher, *49*(4), 229-233.

35. Pashley, M. (1994). A-level students: their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, *28*(2), 120-126.
36. Ramorogo, G., & Wood-Robinson, C. (1995). Batswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, *29*(1), 60-71.
37. 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.
38. Simmons, P. E., & Lunetta, V. N. (1993). Problem-solving behaviors during a genetics computer simulation: Beyond the expert/novice dichotomy. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(2), 153-173.
39. Slack, S. J., & Stewart, J. (1990). High school students' problem-solving performance on realistic genetics problems. *Journal of Research in Science Teaching*, *27*(1), 55-67.
40. Smith, M. U., & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performances. *Journal of Research in Science Teaching*, *21*(9), 895-912.
41. Smith, M. U. (1991). Teaching cell division: student difficulties and teaching recommendations. *Journal of College Science Teaching*, *41*(1), 28-33.
42. Solomon, G. E. A., Johnson, S. C., Zaitchik, D., & Carey, S. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, *67*, 151-171.
43. Springer, K., & Keil, F. C. (1989). On the development of biologically specific beliefs: The case of inheritance. *Child Development*, *60*, 637-648.
44. Stewart, J. H. (1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, *44*(2), 80-84, 89.
45. Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. *Science Education*, *67*(4), 523-540.
46. Stewart, J., & Dale, M. (1989). High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education*, *73*(4), 501-521.
47. Stewart, J., Hafner, B., & Dale, M. (1990). Students' alternative views of meiosis. *The American Biology Teacher*, *52*(4), 228-232.
48. Tolman, R. R. (1982). Difficulties in genetics problem solving. *The American Biology Teacher*, *44*(9), 525-527.

附錄二 「細胞分裂」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
細胞分裂	1. 有絲分裂是細胞核分裂模式的一種，分裂過程分爲四期，每期的特徵如下： (1)前期：核仁、核膜消失，紡錘體出現。姊妹染色分體形成，在中節處連在一起。 (2)中期：每一染色體的中節與紡錘絲相聯接，接著染色體移動集中在赤道位置上。 (3)後期：每一染色體的二姊妹染色分體經移動而分開，朝向紡錘體的兩端移動。 (4)末期：每一染色體的染色分體到達二端，形成新的核仁與核模。其結果可產生兩個具有相同染色體數的子細胞，子細胞和母細胞核間的遺傳特性也相互一致。 2. 減數分裂爲細胞分裂的型式之一，眞核生物的性母細胞經連續兩次分裂而產生配子。在減數分裂時，同源染色體彼此配對，每一染色體僅複製一次，配對後再行分離，因此，經減數分裂產生的四個子細胞僅具性母細胞之半數染色體。正常減數分裂的兩次分裂稱爲第一次（減數分裂 I）和第二次（減數分裂 II）。減數分裂是一種由遺傳所控制、具有一定順序的程序，其主要功能在造成配對染色體的隨機分配，使體細胞的染色體數減半，以生物體維持固定的染色體數。其次，對偶基因的分離增加族群內基因的隨機組合的機會。典型的減數分裂	1-1. 一個細胞經一次有絲分裂「可產生四個子細胞」（5；6）、「使子細胞的染色體數倍增」（6；41）、「使子細胞的染色體數減半」(5)、「使子細胞的染色體數減少」（30）。 1-2. 在有絲分裂的過程中「沒有染色體的複製」（30；41）、「染色分體不會連接成雙體」（41）、「姊妹染色分體沒有分離」（41）、「出現染色體的聯會(synapsis)」(41)。 1-3. 人體各種細胞中「各帶有不同的基因」（19；20；30），各種細胞「只帶有表現其功能所需的遺傳物質」（30）。 2-1. 減數分裂「使整條染色體的一半斷裂」（7）、「與有絲分裂的過程和結果相同」（5；12；30）。 2-2. 減數分裂過程「有二次的染色體複製」（25；41；45）、「只發生一次分裂」（4；16；44；45）、「親代細胞的染色體先平分到第一次細胞分裂後產生的二個子細胞，而後染色體複製，再行第二次細胞分裂，產生四個子細胞」（2）、「染色體先分離再複製」（24）、「染色體的互換發生於複製之前」（25）、「減數分裂時，染色體沒有發生複製只有分裂」、「沒有發生染色體的排列與互換」(46;47)。 2-3. 在減數分裂的前期 I 時「非同源染色體發生配對」（34；41）、「非姊妹染色分體間發生互換」(25)、「染色體的互換發生於未複製的同源染色體之間或未複製的非同源染色體之間」（25）、「未發生染色體的聯會」(2；16；41；44；45)。 2-4. 前期I出現的X型染色體結構是「由二條來自不同親代的染色分體交叉在一起所組成(24；25；34；41)、「由單套體經複製後產生」（24；25）、「由分別來自雙親的一條染	A. 有絲分裂： a. 未具形式操作期的認知能力(6；19；20)。 b. 教學方法不適（Radford & Bird-Stewart, 1982）。 c. 教科書的圖示不明確（41）。 B. 減數分裂： a. 未具形式操作期的認知能力(4; 7; 20; Lazarowtiz & Penso, 1992; 34)。 b. 工作記憶空間有限（Lazarowtiz & Penso, 1992）。 c. 教科書的圖示不明確（24；33；41）。 d. 教科書的描述欠妥（Cavallo, 1996; 18; 21; Kindfield,1994; Lewis & Wood-Robinson, 2000; 44；47）。 e. 教學時間太少（12；30）。

可分爲如下幾個時期：

(1)前期 I：核仁、核膜消失，紡錘體出現。同源染色體配對（稱爲「聯會」），並互相纏繞，形成雙價染色體。之後，同源染色體的非姊妹染色分體間相互交換染色分體節段，在顯微鏡下可見到互相交錯的形狀（X 形結構，即「交叉」（chia-smata））。而此形成交叉的過程稱爲「互換」（crossing over）。

(2)中期 I：配對的同源染色體附著在紡錘體上，其中節移動，使染色體排列在赤道板上。

(3)後期 I：同源染色體的中節向兩端移動。

(4)末期 I：染色體在細胞兩端重行聚合。

(5)分裂間期：同源染色體互相分開。

(6)前期 II：染色體捲曲。

(7)中期 II：中節在第二次分裂紡錘體的赤道板上排成直線。

(8)後期 II：姊妹中節各自攜帶染色分體向兩端移動。

(9)末期 II：形成新的核仁與核模。

色體或染色分體所組成」(24；25；34)。

2-5. 減數分裂 I 的過程，「染色體的排列發生在同源染色體的配對之後，複製和互換之前」(25)。

2-6. 自中期 I 至後期 I 的期間之「染色體結構是配對、未複製的染色體」、「姊妹染色分體已分開」、「未複製的同源染色體進行配對、排列並分離」(25)。

2-7. 減數分裂 I 完成後「所有的染色體會移到一個子細胞，而另一個子細胞進行染色體複製」(2)、「姊妹染色分體已分開」(34；41)、「同源染色體進行聯會」(45)、「產生四個子細胞」(7)、「所產生的子細胞之染色體數是親代細胞的一半(7；44)、「二倍」(7；41)、「四分之一」(7)。

2-8.「前期 II 時進行染色體互換」(25)。

2-9. 中期 II 時，「染色體進行複製」(16；25)、「染色體沒有排列」(25)。

2-10. 自中期 II 至後期 II 的期間，「未複製的同源染色體進行配對、排列與分離」(25)。

2-11.「末期 II 時，姊妹染色分體沒有分開」(41)。

2-12. 減數分裂的結果「子細胞之染色體數爲親代細胞的二倍」(4)、「產生二個單套體的生殖細胞或產生二個雙套體的生殖細胞或產生四個四套體的生殖細胞(44)、「使二個細胞變成一個細胞」、「只產生一個子細胞」(6)、「子細胞的數目倍增但不具染色體(16)、「子細胞所含的染色體數爲原來細胞的四分之一或八分之一」(16)、「子細胞所含的染色體數與親代細胞相同」(48)。

2-13. 帶有三對基因（*AaBbCc*）的細胞經減數分裂後可能產生的各種基因型包括「*AB*、*Ab*、*aB*、*ab*、*AC*、*Ac*、*aC*、*ac* 或 *AABBEE*、*AAbbee*、*Aabbee*」等(7；18)。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄三 「有性生殖」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
有性生殖	1. 在二倍體生物之生活史中，透過減數分裂和受精作用而產生後代，稱爲有性生殖。生物進行有性生殖時，配子母細胞經減數分裂產生配子。故在正常情形下，配子的染色體數爲該生物染色體數的一半。 2. 有性生殖之主要的生物意義在完成遺傳重組，產生遺傳變異性，使子代具有各種與親代未必相同的性狀。 3. 後天性狀的改變（獲得或失去）若未影響到生殖細胞，則該性狀的改變不會遺傳給後代。	1-1. 配子「具有成對的基因和染色體」(14；20；22；48)、「所具的基因數爲親代的兩倍」(14)、「只能具有一個基因」(14)。 1-2. 精子具有「控制子代一半特性的基因」(15；20)。 2-1. 「性狀的遺傳會受子代排行的次序影響，因母親生產時把營養都給了第一胎，第二胎、第三胎就愈來愈少了」(1)。 2-2. 「男生像母親是因爲男生什麼都會向母親說；女生則像父親，因爲女生喜歡爸爸」(1)。 2-3. 兄弟和雙胞胎在胚胎時「均在同一個母親的子宮中發育長成，此時個體的外表受到影響，因此他們的長相會相似」(9；15)；姊妹「因在母親肚子裏的時間不同，所以長得不同」(9)。 2-4. 人類的牙齒、骨骼和眼睛「是自然而然的，不受任何機制所控制」(9；17)。 2-5. 因「人類的精子對子代長相的貢獻較大」(9)、「男性比女性強壯」(17)、「父親可遺傳較多的份量給子代」(1)、「父親有強的賀爾蒙」(1)、「籍貫都以爸爸爲主」、「子女都會像父親」(1)，故子代的性狀受父親的影響較大。 2-6. 因「母親比父親對子代的遺傳組成有較多、較重要、較特別的貢獻」(15；23)、「子代較可能遺傳母親的特徵」(36)、「受到母親懷胎的影響」(1)、「母親的分泌較多」(1)、「染到母親器官的顏色」(1)、「在成長的過程與母親有較多的接觸」(17；23)、「乳頭是負責決定子代特徵的重要器官」(23)，故母親對子帶有較主要的影響。 2-7. 「男孩傾向於和父親長得一樣高，女孩傾向於和母親長得一樣高」(23)。「母親對女孩的遺傳有較大的影響，父親對男孩的遺傳有較大的影響」；「男孩的性狀由父親遺傳而得，女孩的性狀由母親遺傳而得」(1；15；17)。 2-8. 「女兒會長高是因得自父親的遺傳，而母親對女兒的頭髮、眼睛顏色和鼻型等社會上認定與美麗有關的特徵較有影響」(23)。 2-9. 「兒童長得較像父親或母親，就表示較受到他（她）的影響」(23)。 2-10. 「小孩會與養育的夫婦（僅提供子宮，不提供精子和卵子者）長得十分相像」(9)；「男孩會與養父長得很相像」(42)。 2-11. 長耳兔與短耳兔交配時，「因長耳的基因和短耳的基因相加，而使子代的耳朵變得更長」(1)；人類子代的身高「是雙親身高的混合」(9；23)。	A. 有性生殖 •日常經驗(36)。 B. 性狀遺傳 a. 日常經驗(1；9；17；19；23)。 b. 直覺(15；17)。 c. 教科書或教學用語(9)。 d. 過度引申信念(43)。 e. 未能聯結相關的遺傳學概念(18)。 f. 乏生物學知識(9；23；43)。

3-1. 雙親因意外或其他原因而失去某性狀（手、腳或尾巴），「將會失去控制該性狀的基因或影響遺傳物質，使其婚生子女也不具該項性狀或變短」（7；9；15；23；29）。
3-2. 對人而言，「如果親代在車禍中失去手指，則孩子的手指就會減少，而且雙親都受傷所產生的影響大於只有一方受傷的情形」（23）。
3-3.「由環境誘發的特徵，可以遺傳到下一代」（23）。
3-4.「可看見之後天性狀的改變（如：斷手、斷腿）就會遺傳，看不到的（如：近視）則否」（1；23）；「身體外部的性狀是可遺傳的，但在身體內部的性狀較不能遺傳」（9）。
3-5.「如果父方在年幼時受傷，則受傷的效應會影響孩子。如果父方受傷時已是成人，則因他腦中存有受傷前的記憶，所以該受傷的效應就不會影響孩子」（23）。
3-6.「如果後天性狀的改變會影響身體的功能，則該項改變可能會遺傳」（29；43）。
3-7.「無論動物或人類，如果連續多代均有獲得性性狀時，則該性狀較容易遺傳」（9；36）。
3-8.「因後天的訓練會影響遺傳的組成，故若雙親經由不斷訓練而成爲好的運動員，會將這個特性遺傳給後代」（15）。
3-9.「因在自然的情況下老鼠都是有尾巴的，而剪去尾巴是不自然的，故不會遺傳」（9；15）。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄四 「孟德爾遺傳定律」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
孟德爾遺傳定律	1. 孟德爾遺傳定律： (1) 一對對偶基因中的兩個基因在形成生殖細胞時會彼此分離（分離律）。 (2) 一對以上不同的對偶基因若彼此間無連鎖現象，當生殖細胞隨機形成時，對偶基因間可自由獨立配合（獨立分配律）。 2. 孟德爾遺傳所涉及的機率概念包括： (1) 總合律：幾個互斥事件發生的機率等於各事件獨立發生時機率的總合。 (2) 乘積律：各獨立事件同時發生的機率等於各獨立事件獨自發生的乘積。 (3) 二項式法則和大數法則：在二項式法則的假定下，實驗次數要夠多，事件發生的機率才會接近期望值。 3. 以英文字母作爲代表基因的符號，以大寫字母代表顯性，小寫字母代表隱性。	1-1. 因爲基因可自由分離，故「具有二對基因（*AaBb*）的細胞經減數分裂後可產生 *Aa* 和 *Bb* 兩種基因型」（7）。 1-2. 一對具不同表現型的親代交配後，如果只產生一種表現型的子代，「這就表示這種表現型是顯性，而雙親必是顯性且爲同基因型」（37）。 1-3. 在推算二對基因（*CcPP* × *Ccpp*）雜交可能產生的子代之基因型時，「將 Cc、PP 和 Cc、pp 置於 2 × 2 之棋盤格（Punnett square）兩邊的每個格子上來操作」、或「將 C、c、P、P 和 C、c、p、p 每個字母分別置於 4 × 4 之棋盤格的兩邊來操作」（7；44）。 1-4. 推算三對基因（*AaBbE*）之親代細胞可能產生的子代之基因型，「將其視爲三個一對基因的情形，而將 Aa、Bb、Ee 分置於 3 × 3 之棋盤格的兩邊來操作」或「分別以 2 × 2 之棋盤格推算 Aa × Bb、Aa × Ee、Bb × Ee，再列出所有的情形」（7；44）。 2-1. 由譜系圖中所呈現之總個體數和患病人數來決定患病的機率（8；9）。 2-2. 若罹患某遺傳疾病的機率是二分之一，則在一個有四個孩子的家庭中，「有二個孩子會患病，二個孩子不會患病」（22；40）。如果一對夫婦生已生出一個患病孩子，則「他們會生出三個健康的孩子」（22）。 2-3. 由一對帶有不同基因型的夫婦所生的孩子中，「必有四分之三會具有顯性的特性」(20；26)。 2-4. 由 2 × 2 的棋盤格推算所得各基因型「就是四個子代的基因型」（37；38）。 3-1.「以二種英文字母代表一種性狀」（2；7；44；45）。 3-2. 以「一個英文字母代表一對基因的基因型，二個英文字母代表二對基因的基因型」(7；8；44)。 3-3. 以「不同英文字母及其大小寫來代表顯、隱性和性狀」。如：以 *F* 代表六指，*f* 代表五指，*D* 代表顯性，*d* 代表隱性，故親代的基因型爲 *FfDd*（44）。	•孟德爾遺傳定律 a.. 未具形式操作期的認知能力（7; Radford & Bird-Stewart, 1982）。 b. 未具機率概念（2；7；20；26；24；34；44；48）。 c. 未能聯結相關的遺傳學概念（24；34；44）。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄五 「基因」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
基因	1. 一基因在特定染色體或連鎖構造上，佔有相同基因座（locus）上的二種形式中的一個，稱爲對偶基因。 2. DNA 的化學組分包括含氮鹼基（腺嘌呤、鳥糞嘌呤、胸腺嘧啶和胞嘧啶）、去氧核糖和磷酸。在複製時，一股的腺嘌呤與另一股的胸腺嘧啶結合或一股的鳥糞嘌呤和另一股的胞嘧啶結合。兩股 DNA 含氮鹼基之間的結合是靠微弱的氫鍵加以聯結。 3. 遺傳所控制的性狀中，兩個純種品系雜交所得的第一子代相互交配後所產生具異基因型的個體中，能顯示出來的對偶基因，稱爲顯性，不能表現出來的對偶基因稱爲隱性。顯性和隱性並非基因本身的特性，而是某一基因型整個反應體系中基因座的結果。在基因命名法上，顯性基因常用大寫字母表示，隱性基因常用小寫字母表示。 4. 共顯性是指顯隱性相互間並無相關的對偶基因，二者在表現型是分明的，沒有中間型者。 5. 不完全顯性又稱半顯性或部分顯性，係指異基因型（Aa）的表現型介於同基因型（AA、aa）之間者。	1-1. 一對基因「包含一個顯性和一個隱性的對偶基因」（35；45）；「基因是對偶基因的一種」（35；45）。 1-2.「A 或 a 與 B 或 b 基因互爲對偶基因；a 與 b 基因互爲對偶基因」（7；45）。 1-3. 將兩個對偶基因標示在「同一條染色體上」（2；7；34；46）、「同源染色體的非相對位置上」（2；13）、「非同源染色體上」（2）、「二條相同的染色體上」（33）。 1-4. 將兩個不同的基因（A 和 B）標示於「一對同源染色體的相對位置上」（2）。 2-1.「DNA 是由胺基酸（amino acids）所組成」（28）。 2-2. DNA 所含的氮基（nitrogenous bases）是「由胺基酸所組成」（22）。 2-3. DNA 複製時，「一股的胸腺嘧啶（thymine）可和另一股的胞嘧啶（cytosine）結合」（22）。 2-4. DNA 的含氮鹼基之間是靠「較強的氫鍵（hydrogen-bond）」加以聯結（28）。 3-1. 顯性就是「表現出來的特徵」（15）、「大部分的個體都具有的那種性狀」（26；37；39）。 3-2. 顯性是指「較強的、較顯著的、有力的、有支配力的、優勢的、比隱性好的」（18；20）；「顯性是強勢，隱性是弱勢，所以隱性會被顯性蓋住（壓制），不會表現出來」（1；18）。 3-3.「某基因在一個子代是顯性的，但在另一子代是隱性的」（15；38；39）。 4. 在設計代表人類 ABO 血型之基因型時，以「Ai 代表 A 型，Bi 代表 B 型」（8）、以「三個不同的英文字母」來表示共顯性的基因型（39）。 5-1. 不完全顯性是指「具有共同表現型的子代個體數目幾乎相等」（37）。 5-2. 不完全顯性是因基因的混合所致（18；20），而使一個人的性狀表現介於雙親之間（18）。強勢性狀會受弱勢性狀的影響，產生略弱於強勢性狀的特徵（1）。親代的性狀除分別分給子代外，也會各出一半，形成混合或共同組合的性狀（1）。	A.基因 a. 未具形式操作期的認知能力（4；7）。 b. 教科書的不當用語（Radford & Bird-Stewart, 1982）。 c. 教學未能釐清 詞義（Donovan, 1997; 45; Wood-Robinson, 1994, 1995）。 B. DNA 的化學組成與結構 •未具相關的化學概念（Radford & Bird-Stewart, 1982）。 C. 顯隱性、不完全顯性 a. 生活經驗（1；19）。 b. 與日常用語的意義相混淆（Donovan, 1997; Fisher *et al*., 1986; 18; Pearson & Hughes, 1988）。 c. 未能聯結相關的遺傳學概念（Fisher *et al*., 1986）。 D. 共顯性 a. 與日常用語的意義相混淆（18；19）。 b. 未具形式操作期的認知能力（19; Lazarowitz & Penso, 1992）

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄六 「染色體」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
染色體	1. 染色體是由基因聚集而成的直線連鎖結構。 2. 同源染色體是指細胞中兩兩成對且同形狀的染色體。在行減數分裂時，同源染色體會相互配對。 3. 人類有一對能決定個體性別的染色體，稱爲性染色體。在女性，這對染色體爲XX，在男性則爲XY。 4. 生物的某些性狀之遺傳與性別發生直接關聯，稱爲性聯遺傳，這是因位於性染色體上基因連鎖所致，可分爲X連鎖隱性遺傳、X連鎖顯性遺傳和Y連鎖遺傳等類型。	1-1. 組成染色體之DNA分子的數目與染色體的套數間具有直接對等的關係。如：「由一條X型DNA組成的染色體稱爲單套染色體，由二條“X”型DNA組成的染色體稱爲雙套染色體」（24；25）。 1-2.「具一個X形結構的染色體之細胞爲雙套體（2N），此染色體經複製後產生二個X形結構的染色體，成爲四套體（4N）。4N的細胞經二次分裂後，形成只有X形結構中的一條之染色體（即“/”型），而成爲單套體（1N）」（24；25）、「將複製後具X形結構的染色分體視爲一對染色體」（13；24；25；41；45；46；47）；「此結構會分裂而形成二條染色分體」（32）。 1-3.「一條染色體經複製後會形成四條染色分體」（13；25）。 2-1. 同源染色體是指(1)「形狀不同」、(2)「顏色與長短均不同」、(3)「顏色相同或顏色相同或形狀相同」的兩條染色體（2；3）。 2-2.「將同源染色體視爲姊妹染色分體（sister chromatids）」（12; 41）。 3-1. 男性有「X染色體」，女性有「Y染色體」（11）。 3-2. 人類的性別「由父親的精子和母親的卵共同決定」（4；9）「是天生使然，不受任何東西影響」（9）、「完全依賴運氣（機率）而定」（36）。 3-3.「因爲精子比較強壯或數量比較多」，所以人類性別由父方決定（36）。 4-1. 性聯遺傳是指「致病的基因存在X染色體上」（8）或「具有某種表現型的男性和女性個體數目不相等」的情形（39）。 4-2. 性聯遺傳疾病「較常發生於女性」（22）、「與雙親的習性有關」（4）。	A. 染色體的結構 • 教科書的圖示不清（24）。 B. 同源染色體 • 教材圖示不清（2；3）。 C. 性別遺傳 a. 日常經驗（36）。 b. 媒體（30）。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄七 「突變」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
突變	基因或染色體的結構發生改變的過程稱爲突變，其功能在產生遺傳變異，造就生物的多樣性。突變可自然發生，也可以誘變源誘致。突變的結果對個體一般是有害的，僅少數有益。	1.「昆蟲的蛻變」或「人類發生於青春期的改變」（10）、「永久之生物性的改變」、「多於五個手指的兒童」（10）、「突然出現新性狀的過程」（15）都是突變。 2. 突變是「因有變異的基因在族群中漸漸累積而產生」（4）、「因常常染髮，染料會使基因發生改變」（29）、「因個體在胚胎時期發生意外事件於是造成突變」（9）。 3.「小孩與父母間的差異」是突變所致（9）。 4.「所有的突變都是有害的」（22）、「會導致疾病或缺陷」（4；10）、「使個體無法適應環境」（4）。	• 突變 a. 受日常用語影響（Cho *et al*.,1985; Pearson & Hughes, 1988）。 b. *教材敘述不適*（Cho *et al*., 1985; Pearson & Hughes, 1988）。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

附錄八 「遺傳工程」及其相關迷思概念與可能來源

主概念	相關概念	迷思概念*	可能來源
遺傳工程	遺傳工程是經有性週期的遺傳操縱，以形成具有新遺傳物質之組合個體，可由細胞雜交或DNA的改造行之。	1. 遺傳工程是指「改變或操弄整個有機體（organisms）」（31）。 2.「利用遺傳培養金魚、無子葡萄的培養、以X光照射產生新品種」等，均屬於遺傳工程的範圍（4）。 3. 不知遺傳諮詢的實務與程序、遺傳工程所涉及的技術（21；22；27）。	• 遺傳工程 • 媒體的報導（27）。

* 括號中的數字係代表該篇研究在附錄一中的序號

Literature Review of Genetics Misconceptions and Its Implications on Instruction

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

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

[2]General Education Center, Chung Kuo Institute of Technology

Abstract

There is a consensus among teachers and students that genetics is one of the most difficult units to teach and learn. To help promote the teaching and learning of genetics concepts, we analyzed forty-eight papers published from 1970 to 2000 about genetics misconceptions. From these we generalized three causes (personal, social, and school teaching) for genetics misconceptions and listed seven categories of students' misconceptions including: cell divisions (mitosis and meiosis), sexual reproduction (gamate and the inheritance of characteristics), Mendel's laws of inheritance (the application of probability and genotype), gene (allele, chemical components and structure of DNA, dominance and recessive, codominance, incomplete dominance), chromosome (homologus chromosome, sex chromosome, sex-linked inheritance), mutation, and genetic engineering. Based on the results, other research findings and the principles of cognitive psychology, suggestions for the teaching of genetics concepts are provided.

Key words: Genetics, Misconception, Instruction.