基因是什麼？－不同科系大學生的基因概念調查分析

鄭榮輝、林陳涌
台北市立中山女子高級中學、國立台灣師範大學生命科學系
junhui@csghs.tp.edu.tw、lcy@ntnu.edu.tw

摘　要

本研究旨在調查不同科系大學生的基因概念，值此充滿基因資訊的時代，學生與社會大眾需具備充足的遺傳素養，然而，遺傳學的關鍵概念「基因」卻複雜而難以明確定義，本文首先探討了遺傳學史上基因概念的演進，其次由科學學習的角度引進概念改變的多面向架構，提出不同的基因概念其實是在本體論面向上的不同；實證研究的結果也發現，大學生的基因概念確實是複雜、具有不同面向且有深淺層次之別的；進一步對不同科系學生進行統計檢定更發現，除了生命科學系學生較具有符合現代分子生物學發展的基因概念外，化學系與教育系學生仍普遍持古典遺傳學的基因概念。文末分析了造成此鴻溝的原因，並提出教學上的建議。

關鍵詞：基因概念、本體論

一、前言

我們是生活在一個充滿基因資訊的時代（genetic informed age）。然而“基因”概念卻是個複雜又可因人事時地物而改變的模糊概念；大家或許以為在學校義務教育中已教過遺傳與基因了，但許多實證研究結果均指出，遺傳學是生命科學中最難學的單元之一，且不論小學生、中學生、大學生甚至社會大眾，對遺傳與基因所持的概念都相當質樸、過時且不適當；值此充滿基因資訊的時代，有較清楚、明確的複雜基因概念，以因應日常生活中可能面臨的判斷與做決策，是具備所謂「遺傳素養」（genetic literacy）的重要能力指標，也是廣義的科學素養內容之一，因此，本研究以「基因是什麼？」這個簡單的開放式問題為起點，調查不同科系大學生的基因概念。

二、文獻探討

（一） 基因概念的演進

根據 Falk（1986），基因概念的演進史可約略分為四個時期（引自 Venville & Donovan, 2005）：古典時期工具的基因（instrumental gene）、新古典時期物質的基因（material gene）、現代的 DNA 基因（DNA gene）及目前後現代費解的基因（bewildering gene）等（如下圖 1），茲簡述如下：

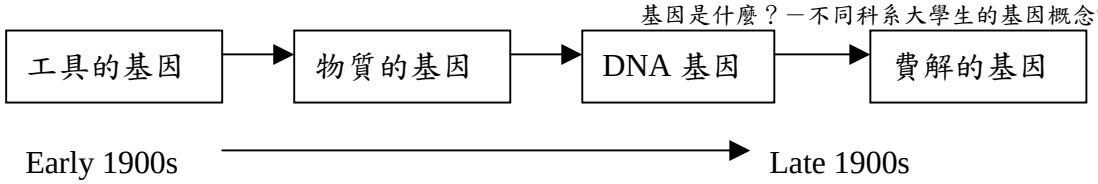


圖 1　基因概念的演進

1. 古典時期的基因概念－工具的基因

十九世紀孟德爾時期，基因的概念只是一個指涉的工具，基因被視為是不可分割的、可以傳遞、重組、突變以及決定單一性狀的功能單位，遵循孟德爾的分離法則，而完全未提到基因是什麼構成的？有多大？在哪裡？如何表現？...等物質基礎或理化特性。

2. 新古典時期的基因概念－物質的基因

二十世紀初細胞學說及染色體的遺傳學說使世人相信基因位在染色體上，且由摩根（Morgan）及其他學者開啟的果蠅研究，使古典基因不可分離的粒子概念逐漸不合時宜，科學家們逐漸重視基因的物質組成，並在尋找「基因在哪裡？」之外，也積極尋找「基因是什麼組成的？」「基因的結構如何？」等問題。

3. 現代的基因概念－DNA 基因

1953 年華生（Watson）與克立克（Crick）發現 DNA 的雙螺旋結構是現代基因概念的里程碑，且一個基因能製造一個蛋白質的假說與過程也在此時期被建立，也就是說，現代的基因概念認為基因就是製造一個蛋白質的 DNA 單位。

4. 後現代的基因概念－費解的基因

隨著科學家一窩蜂投入基因相關研究，有關基因表現過程中的許多因素也被發現：首先，透過 RNA 裁減與蛋白質修飾，一段 DNA 可對應兩種以上的不同蛋白質，且相同的基因可依不同發育階段或身處不同組織而有截然不同的表現；此外，科學家們還發現了跳躍基因、重複基因、分離基因、另類裁剪、合成基因、重疊基因、可移動基因、多蛋白基因、巢基因...等現象，顯示在真核生物中，基因的表現非常複雜而難以定義。

（二） 概念改變的多面向架構

在建構主義思潮影響下，目前科學教育界均認為科學的學習是一種概念改變（conceptual change）的過程，但對於概念改變過程的模式究竟為何？即使對人類學習過程進行更基礎研究的學科如認知心理學界，也沒有一致的看法，有別於純粹從知識論觀點探討學生的概念改變，Venville 與 Treagust（1998）提出了「概念改變的多面向架構」（multidimensional framework of conceptual change），認為欲探討學生如何發展一個科學概念，必須兼顧知識論的觀點（epistemological perspective）、本體論的觀點（ontological perspective）與社會/情意的觀點（social/affective perspective），其中本體論觀點的意義根據 Chinn 等（1993，引自 Venville & Treagust,1998）的界定，是指學生所持的一種有關世界性質與基本類型（categories 或譯為範疇）的信念，以本研究為例，「基因」究竟是個怎樣的存在？就是一種本體論觀點的問題。

三、研究方法

本研究屬調查研究，以立意取樣選取 94 學年度國立台灣師範大學生命科學系、化學

系與教育系大一與大三共 6 班學生（N=165）為樣本，資料蒐集工具是自編之基因概念問卷，與本文相關的部分只有一個開放式問題：「什麼是**基因**？請寫出一小段文章來描述你所了解的**基因**。」資料分析方式主要有兩種：首先研究小組從回答中歸納分類出不同類型，再經充分討論後建立三大面向與面向內的層次深淺做為分析架構，接著將資料依此架構量化，並計算出複雜度、面向偏好百分比與面向內層次偏好百分比等指標，最後再針對不同面向與不同層次進行不同科系的統計檢定，統計檢定的分析軟體為 SPSS 12.0 版，檢定方法為卡方分析（χ^2）。

四、結果與討論

針對「什麼是基因？」這個開放式問題，由受測大學生的回答中可歸納出以下三大結果：

（一） 大學生的基因概念是複雜的，有面向與層次之分

分析問卷中的回答可歸納為三大面向共計十類型的敘述（如下表 1），這顯示大學生一看到「基因」一詞，能聯想到的概念不但各不相同，而且還有複雜程度的不同；因此，本研究定義了基因概念的複雜度(complexity)做為指標，複雜度的意義為：某科系每一個學生，關於基因概念能聯想到多少小概念，其計算方式為：提到的小概念數/該科系總人數(1+2+3+4+5+6+7+8+9+10)/N。由表 1 可見，一個大學生關於基因平均能聯想出 1.93 個相關小概念，但生科系學生的基因概念較為複雜，平均一個生科系學生對基因能提出 2.64 個相關小概念，高於化學系學生的 1.60 個與教育系的 1.63 個。

（二） 大學生的基因概念可分為三面向，最常想到的是基因的功能面，生命科學系學生較化學系與教育系學生會想到基因的組成物質面向

表 1 中歸納的十種基因概念中可再分為基因的位置（概念 1、2）、基因的組成物質（概念 3～5）與基因的功能（概念 6～10）等三面向，由於各面向的分佈次數比例不同，因此本研究定義了位置、物質、功能三面向之偏好(category preference)，面向偏好的意義為：當提到基因，某一群人（如大學生、生科系）中有多少比例的人會想到基因的該面向方面的意義，至於面向偏好的計算方式為：某一群人中想到該面向的人數/該群總人數，受試者中各面向的分佈次數比例如下表 2。由表 2 可知，大學生中提到基因的功能面比率最高（78%），其次是組成基因的物質（42%），再其次才是基因所在的位置（26%）。

圖 2 呈現了不同科系大學生的基因概念面向偏好比較，若對面向偏好做不同科系的的統計檢定（卡方分析），可發現在功能面與位置面上，均不因科系不同而有面向偏好的不同，但在組成基因的物質面上，則呈現出不同科系的差異，生物＞化學＞教育，若進一步做兩兩科系間之比較，發現是生物系明顯高於化學系與教育系，至於化學系與教育系間的差異則未達顯著水準，也就是說，生物系的學生比化學系、教育系更容易想到組成基因的物質面。

表 1：基因概念問卷分析結果

聯想到的概念	面向	生科系（N=52）	化學系（N=62）	教育系（N=51）	合計（N=165）
1. 位在細胞核內	位置	2	0	1	3
2. 位在染色體上	位置	15	15	12	42
3. 遺傳物質	組成物質	2	5	9	16
4. DNA 片段	組成物質	27	11	2	40
5. 核苷酸(ATCG)	組成物質	14	5	2	21
6. 控制遺傳	功能	23	23	22	68
7. 可控制外表性狀	功能	24	33	26	83
8. 可控制生理性狀	功能	5	5	8	18
9. 控制蛋白質合成	功能	22	2	1	25
10. 可以調控	功能	3	0	0	3
複雜度		2.64	1.60	1.63	1.93

表 2：不同科系大學生的基因概念面向偏好

系別	位置	組成物質	功能	總人數(N)
生科系	16 (31%)	37 (71%)	45 (87%)	52
化學系	15 (24%)	21 (34%)	47 (76%)	62
教育系	12 (24%)	11 (22%)	37 (73%)	51
合計	43(26%)	69(42%)	129(78%)	165

功能＞位置、功能＞物質、物質＞位置

物質面：生科＞化學、生科＞教育

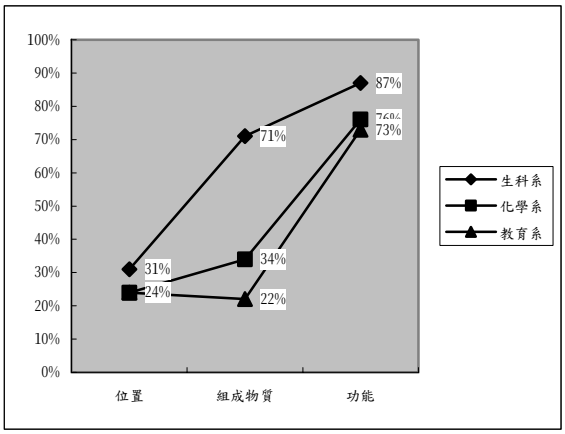


圖2：不同科系大學生的基因概念面向偏好比較

（三） 不同科系大學生的基因概念不但有不同面向,在每一面向內還有深淺層次的不同

由表1中各面向的相關概念可再細分為深淺不同的層次,因此本研究進行了基因概念面向內不同層次之比較，並以面向內的層次偏好(level preference)為指標，層次偏好的意義為：在提到基因的某面向之學生群當中，有多少比率的學生提到該層次，至於層次偏好的計算方式為：在組成物質面向內，提到某一層次內容人次/提到組成物質面向的總人數，不過，基因的位置面在分析上雖有位於細胞核內與位於染色體上兩小項，但由於染色體亦位於細胞核內，我們無法據此判斷學生對基因位置的概念是否有深淺層次之別，故做此檢定似無多大意義，因此層次偏好從物質面開始分析，不同科系大學生基因概念的物質面向之層次偏好分佈次數比例如下表3。

1. 組成基因的物質

表3：不同科系大學生基因概念的物質面向之層次偏好分佈次數比例

	提到人次	遺傳物質	DNA 片段	核苷酸(ATCG)組成
生科系	37（100% ）	2（5% ）	27（73% ）	14（38% ）
化學系	21（100% ）	5（24% ）	11（52% ）	5（24% ）
教育系	11（100% ）	9（82% ）	2（18% ）	2（18% ）
合計	69（100% ）	16（23% ）	40（58% ）	21（30% ）

DNA 片段＞遺傳物質、DNA 片段＞核苷酸(ATCG)組成

遺傳物質：教育系＞生科系，教育系＞化學系

DNA 片段：生科系＞教育系

若分科系做組成基因的物質面向內的層次偏好的統計檢定發現，在最粗淺的層次：提到基因是遺傳物質的比例因科系不同而有差異，層次偏好依序為教育系（82% ）＞化學系（24% ）＞生科系（5% ）。進一步做兩兩科系間之比較，發現該差異主要是生科系與教育系之間及化學系與教育系之間，至於生科系與化學系之間差異則未達顯著水準，也就是說，教育系學生即使提到組成基因的物質面向，也多只能想到基因是遺傳物質這樣廣泛但粗淺的概念。

在組成基因的物質面向內的第二層次：層次偏好依序為生科系（73% ）＞化學系（52% ）＞教育系（18% ），若進行基因是 DNA 片段此一層次的層次偏好的統計檢定可發現提到次數比率呈現不同科系間的差異，生科系與教育系學生的人數比例差異較大達顯著水準，而生科系與化學系之間、化學系與教育系之間的差異則未達顯著水準。下圖 2 以折線圖呈現不同科系大學生在物質層次內的基因概念層次偏好比較，由圖 3 折線圖中可看出同樣在物質面中，生科系學生的基因概念較深層，其次是化學系，至於教育系學生則持有較粗淺廣泛的基因組成概念。

2. 基因的功能

在所有關於基因的功能面向的答案中，我們區分出四個由淺到深的層次，下表4為不同科系大學生基因概念的功能面向之層次偏好分佈次數比例。

表4：不同科系大學生基因概念的功能面向之層次偏好分佈次數比例

科系	提到人次	控制外表	控制生理	蛋白質合成	可以調控
生科系	45	24（53%）	5（11%）	22（49%）	3（7%）
化學系	47	33（70%）	5（11%）	2（4%）	0（0%）
教育系	37	26（70%）	8（22%）	1（3%）	0（0%）
合計	129	83（64%）	18（14%）	25（19%）	3（2%）

控制蛋白：生科系＞化學系、生科系＞教育系

由表4中可知大學生多提到基因可控制外表性狀，平均的層次偏好為64%，至於較高層次的功能面向概念則較少，如基因可控制生理性狀的14%、基因可控制蛋白質合成的19%及基因可以調控的2%。

同樣的，我們進行了不同科系大學生在基因的功能面層次偏好的統計檢定，結果是前兩個層次：基因可控制外表性狀與基因可控制生理性狀，科系之間的差異均未達統計上的顯著水準，只有第三個層次：基因可控制蛋白質合成呈現不同科系間的顯著差異，順序為生科系（49% ）＞化學系（4% ）＞教育系（3% ），進一步做兩兩科系間之比較，發現是生物系明顯高於化學系與教育系，至於化學系與教育系間的差異則未達顯著水準，換言之，生科系的學生比化學系、教育系更容易想到基因有控制蛋白質合成的功能。

至於功能面向的最高層次：基因可以調控，在不同科系學生的層次偏好差異雖未達統計上的顯著性，但我們發現所有受試者中僅有三位生科系學生提到「基因可以調控」此一更高階的概念，而化學系與教育系均無人提及此概念。綜合功能面的結果討論，我們以下圖4的折線圖呈現不同科系大學生的基因概念層次偏好比較,可得出所有大學生均具有「基因可控制外表性狀」這樣的古典遺傳學概念，然而，僅生科系學生還知道「基因可控制蛋白質合成」，化學系與教育系學生則缺乏這種現代分子生物學的基因功能概念。

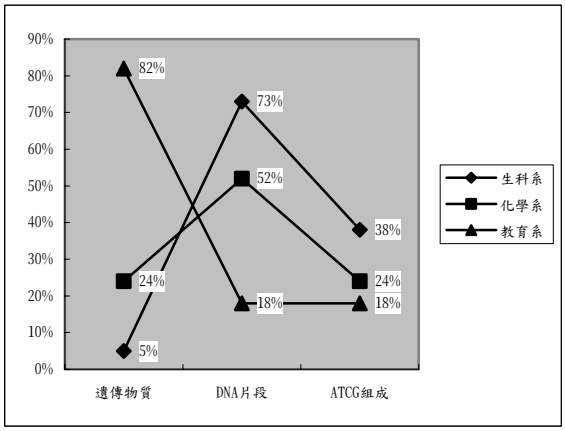


圖 3：不同科系大學生在物質層次內的基因概念層次偏好比較

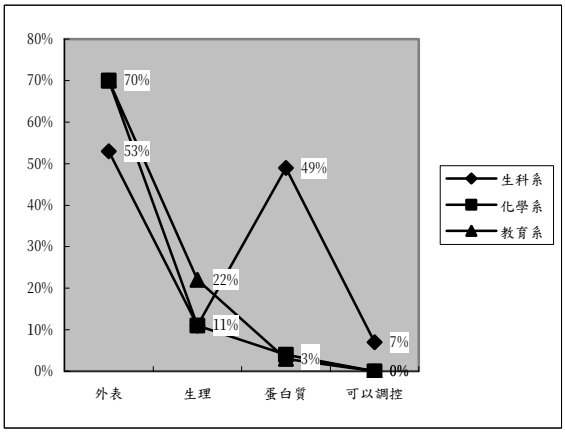


圖 4：不同科系大學生在功能層次內的基因概念層次偏好比較

五、結論與建議

本研究結果呼應了文獻探討中所提出的兩大要點：一是支持了現代基因概念難以明確定義的論點，且隨著二十一世紀新生物科技的蓬勃發展，不同領域的專家在使用「基因」一詞時，在不同場合、面對不同對象更可能有不同的意義指涉，簡言之，基因概念不但在科學上具有發育階段特異性（developmental stage-specific），在語意使用上更具有情境依賴性（context-dependent），也就是說，當我們聽到或提到「基因」一詞，還必須區分是在什麼場合（實驗室還是生活情境）？對什麼對象（科學家、學生、社會大眾）？才能判斷意義。本研究的第二項結論是不同面向的基因概念間其實是本體論上的不同，大多數大學生都視基因為功能性單位，但只有生科系學生察覺到基因還有物質實體這種本體論觀念,在分子生物學高度發展的今日,探討基因不可能不涉及 ATCG 等分子層面，因此，除生科系之外的其他學生甚至社會大眾的基因概念似乎無法符合現代需求。

基於以上兩點結論，本研究提出以下建議：首先是根據 Kitcher（1982）認為孟德爾的古典遺傳學與現代的分子遺傳學本來就屬不同典範的兩個科學，亦即孟德爾本來就沒將基因當成“東西”（物質實體）來看待，他只是用來指涉造成某表現性狀背後的“遺傳因子”罷了，不幸的是，教科書及科學教師往往並未察覺此點，不但沒有明確的指出這項學生可能會造成的誤解，更常常前一章教完古典遺傳學，緊接著下一章就跳到分子遺傳學，這會導致很大的鴻溝，須知科學的發展不是一蹴可幾的，遺傳學有今天的成就是這一百多年來許多科學家努力的成果，教科書斷章取義的擷取片段才會造成今天學生無法形成完整複雜的基因概念，當教師一直沈溺於教導學生古典遺傳的各種機率解題策

略時，是不是忘了提醒學生這裡所講的基因與 DNA 序列是不同的概念？對此，筆者建議教師應將基因概念的演進史簡要但明白的向學生介紹，以做為這鴻溝的橋樑。其次，根據 Martins & Ogborn（1997）及 Venville & Treagust（1998）的主張，學生會持有不同的基因概念很大的成分不是他們所知不足，而是他們對「基因是什麼？」缺乏認知，筆者相信這些較根本屬於本體論的問題較易為科學教師所忽略，因此建議教師能注意此點。最後，由 Venville 與 Donovan（2005）針對遺傳學家諮詢的結果發現，即使是遺傳學的專家，在實驗室與在教室對初入門的學生解釋基因的意義也會不同，更別說日常生活對家裡不懂遺傳學的人了，當然這不是遺傳學專有的問題，本文只是提醒科學教師及學生要察覺我們是在什麼情境下使用基因一詞，因它代表的意義可能是不同的。

到底要如何教學生簡單但正確，又能反映遺傳學深奧的基因概念呢？Allchin（2000）認為應先教生命現象的基礎是蛋白質，介紹蛋白質的多重功能後，再引入分子層次的基因概念，以下五點是他建議的概念重點：

1. 基因本身不單獨決定特徵與行為。
2. 基因是 DNA 做的，它是製造蛋白的化學密碼。
3. 蛋白質對發育與行為是非常重要的生物分子。
4. 生物的特徵與行為受遺傳組成與環境等複雜交互作用所決定。
5. 發育的過程是基因組作用的結果，就像程式一樣。

如同 Allchin 的結論：「我們對遺傳物質的結構愈清楚，基因的定義就愈抽象、開放和概括」。隨著愈來愈多的研究結果出現，基因的定義也不斷受到挑戰和改變，同樣的，教導基因概念也成為科學教師極具挑戰性的工作，但這也是科學的本質，不是嗎？

參考文獻

1. Allchin, D. （2000）. Mending mendelism. *The American Biology Teacher,* 62（9）, 632-639.
2. Kitcher, P. （1982）. Genes. *British Journal of Philosophy of Science,* 33, 337-359.
3. Martins, I., & Ogborn, J.（1997）. Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education, 19,* 47-63.
4. Venville, G. J., & Treagust, D. F.（1998）. Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching, 35,* 1031-1055.
5. Venville, G., & Donovan, J. （2005）. Searching for clarity to teach the complexity of the gene concept. *Teaching Science,* 51（3）, 20-24.