國中生學習遺傳學困難的探究
-以工作記憶角度切入

朱幼倩
國立台灣師範大學 人類發展與家庭學系
e-mail: bomi@ntnu.edu.tw

摘　要

遺傳學的學習有其必要性，但學生對於遺傳概念明顯存在廣泛的不確定和混淆。本研究藉由文獻回顧中分析可能造成遺傳學學習困難的原因，再進一步實驗確認，期望可以提供給教學者或教材撰寫者參考與重視。結果顯示，大多台灣國一學生普遍缺乏或有錯誤的學習遺傳學的基本知識，其中以數學機率概念為較佳，細胞分裂與減數分裂的概念最弱，對於 DNA、基因、染色體的定義、於細胞內的位置、與其相互關係很混淆。進一步探究前備知識和工作記憶與遺傳學的學習成就和態度的關係，發現工作記憶是決定遺傳學學習成效的主要關鍵之一。

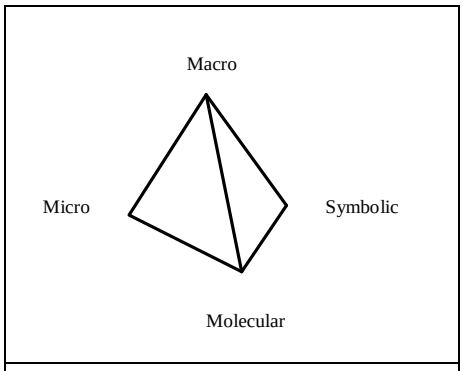
關鍵詞：工作記憶、遺傳學、學習困難

一、緒論

1860 年孟德爾種植豌豆而開啟了遺傳學的研究，至今遺傳學與生物技術的應用普遍存在生活之中（如基因治療、基因改良食品等），也因此產生許多爭議。而我們的學生或一般民眾是否具備足夠的科學素養去處理這些相關的議題，是一個值得思考的問題。因此，科學教育的目的不僅提供學生對於科學觀念的基本瞭解，進一步認識周圍的世界，也培養學生學習科學的態度與處理科學有關的問題。

許多國內外文獻指出，中學學生對於遺傳概念明顯存在廣泛的不確定和混淆（楊坤原和張賴妙理，2004），無論學生將來是要成為科學家或在個人生涯中會與科學有互動關係，顯然科學教育的方法似乎不能提供給學生有效的準備。由於遺傳學不僅是學習生物學或其他學科相關概念的基礎，也幫助學生瞭解因生物科技進步所可能衍生的社會議題，故遺傳學的學習有其必要性，但是遺傳學的教學雖普遍受到重視，卻也是老師覺得難教，學生覺得難學的單元（Bahar et al., 1999）。

在 Chu（2008）的文獻回顧中提供了遺傳學學習困難的相關解釋。首先，學生的前備知識（prior knowledge）常與科學家認同的不相符，學習時新知識無法建構於既有的認知結構上，則無法達到有意義的學習（meaningful learning），因而可能產生另有概念（alternative conception）。再者，遺傳學的知識結構是涉及不同層級的系統：巨觀的（macro-）、微觀的（micro-）、分子的（molecular）和符號的（symbolic）（圖一）。當一個概念涵蓋不同層級系統，學習則很容易出現困難。例如：觀察生物特徵（身高、豌豆花色）是屬於巨觀層級；當提到細胞和染色體與 DNA 和基因時，則進入微觀和分子層面。利用遺傳法則計算機率時，用英文字母表示基因就運用到符號表徵。由訊息處理理論的角度來看，學習困難可能是因為工作記憶（working memory）有限空間要同時處理位於不同層級的相關概念，造成訊息超載。



圖一：遺傳學觀念的層級系統

自 Chu（2008）

此外，遺傳學的大量專有名詞、利用數學符號解決問題與機率概念應用於生物現象等也可能造成學習上的問題。專有名詞除了要了解它的含意，同時也學習新的遺傳知識；有些相似的詞（如細胞分裂和減數分裂、染色體和染色質）也容易造成混淆（Bahar et al., 1999）。Johnstone（1991）指出，一個不熟悉的詞或不瞭解其在生物體內的相互關係、全新的或抽象的知識、跨單元或跨學科間的概念、複雜的數學公式等，在訊息處理上會佔據較多的工作記憶甚至是超過負荷，因此可能造成學習是死記背誦，另有概念形成，而不是真正理解。

二、研究目的

工作記憶是腦中可短暫地持有訊息和思考的有限空間，將外界由意識篩選進入腦中的訊息與來自先前存於長期記憶的知識相互作用成為有意義的資訊後，傳給長期記憶來儲存或遺忘。基於瞭解與解決學生學習遺傳學的困難，本研究的目的如下：

1. 探究前備知識與遺傳學的學習成就、態度的關係，進一步瞭解學生的另有概念。
2. 探究工作記憶與遺傳學的學習成就、態度的關係。
3. 提供相關教材教法的建議，以幫助國中學生遺傳學概念的學習。

二、研究方法

本研究以立意取樣方式，選取台北縣三所公立國中一年級學生為研究對象（約 13 歲），共 141 人。以蒐集分析量化資料為主，參考理論文獻及現有測量工具加以修訂編製為本研究之測量工具，用以收集資料進行統計分析。

1. 工作記憶的測量工具，採用 Pascual-Leone（1970）的圖形交叉測驗（figural intersection test）。

2. 前備知識的調查是根據Chattopadhyay(2005)、Lewis et al.(2000)和Pashley(1994)等歸納出的遺傳學學習前的基本概念，並參考Lewis和Kattmann（2004）與Marbach-Ad（2001）的研究，以結構式訊息格（structural communication grids）的模式（Egan, 1972），發展出診斷測量的工具。
3. 學習成就除了參考學生在學的生物成績和遺傳學成績外，還使用可探究長期記憶中遺傳相關概念認知的字詞聯想測驗（word association test）（Bahar & Hansell, 2000）的成績。
4. 遺傳學態度則選用問卷的方式來調查學生對於遺傳學和其應用於生活中的想法和評價。

本研究初步編製測驗題型是基於前人研究，編修為符合本研究內容與對象，透過專家建議、同儕檢核、前測資料等再修改調整，以提升內容效度及所欲測概念的正確性。所測得之資料進行統計分析，包括有描述性統計與推論統計。

三、結果和討論

（一）前備知識與另有概念

由前備知識測驗（包括遺傳訊息知識、細胞分裂與減數分裂、基本數學機率概念三部分）中得知，大多國中生普遍缺乏學習遺傳學的基本知識，甚至具有另有概念。其中，以數學機率概念為較佳，細胞分裂與減數分裂的概念最弱。

進一步分析發現，學生對於一些基本的名詞，基因、DNA、染色體等的定義與相互關係很混淆。約 20%的學生正確選出基因與 DNA 的定義，約 45%的學生將這兩個名詞定義弄相反；1/3 學生正確選出染色體是由 DNA 組成，84%學生不知道基因位於染色體上。對於細胞分裂與減數分裂的目的、過程與結果的觀念也不清楚（70%）且將兩者搞混(23%)。相似的結果也出現在 Lewis 和 Kattmann(2004)、黃台珠(1990)、楊清二(1993)等研究中。在機率概念的測驗中，學生似乎可以執行簡單的機率運算，但對於百分比的表示法則普遍較分數表示法好，例如學生在機率為一半的答案中，多數學生選擇 50%而未選擇 1/2。Lewis and Wood-Robinson(2000)指出，儘管學生可以解決機率概念的問題，但不表示可以運用這概念於其他學科上。再者，學生有可能只是機械式做數學計算，並非真正的了解。

（二）工作記憶和前備知識與學習成就的關係

在圖形交叉測驗中，台灣國中一年級學生的工作記憶平均是5.2（標準差為1.4）。一般而言，成人的工作記憶能力平均是7±2（約16歲以上），兒童隨著年紀每增加兩歲，工作記憶處理訊息的能力也增加一單位（Cowan, 2001）。由此推算，13歲學生的工作記憶大約是小於成人二個單位（即5）；台灣學生的測驗結果是如預期的。相似的結果也出現在不同國家（種族、文化不同）測試相同年紀的青少年（Cowan, 2001; Jung & Reid,

2009）。

在遺傳學學習成就與可能影響的因子之關係調查結果顯示（表一），國一學生對於遺傳學的前備知識與其學習成就之間具有顯著的相關存在（$p<0.01$）。前備知識測驗的是學生理解遺傳學相關概念時重要的基本觀念，這些基本概念在學習時會由長期記憶中喚出，與新的知識交互融合，以達有意義的學習，因此學生持有越多正確的基本觀念，則遺傳學的學習成就易越高。另一方面，缺乏前備知識或具有許多另有概念，在學習時若教學者未能注意並處理其認知衝突，而建立正確概念，則遺傳學的學習成效必受影響，甚至產生更多迷失概念（misconception）。

另外，國一學生的工作記憶大小與其遺傳學學習成就之間亦具有顯著的相關連存在（$p<0.01$），表示具有較大工作記憶的人在遺傳學學習成績上的表現較工作記憶小的人佳。顯示，工作記憶較大的學生在遺傳學學習上具有優勢，因遺傳學涵蓋較多專有名詞、不同層級（圖一）、跨章節和跨學科（如：細胞結構、數學機率計算）等，具有較大空間的工作記憶者可以同時接受、持有、處理訊息，故學習表現較佳。

表一：遺傳學學習成就與可能影響的因子之關係（N=141）

學習成就	前備知識	工作記憶
遺傳學成績	0.68	0.61
生物成績	0.67	0.62
字詞聯想成績	0.64	0.45

所有相關係數值皆達 0.01 顯著水準。

進一步調查工作記憶與遺傳學前備知識之關係，結果顯示國一學生的工作記憶大小與其遺傳學前備知識之間亦具有顯著的相關連存在（Pearson correlation 0.4, $p<0.01$）。學生的直覺經驗與父母長輩或同儕的相互影響，加上先前的生物學學習經驗的累積，以致前備知識的建立。由以上結果可知，個人的工作記憶在遺傳學的學習上扮演極重要的角色。

（三）工作記憶和先備知識與遺傳學態度的關係

學生對遺傳學態度的問卷分成對遺傳學學科的態度和對遺傳學應用於生活中的態度。結果顯示，約75%學生覺得學習遺傳學、瞭解遺傳學是重要的，約60%學生覺得遺傳學有趣、喜歡上遺傳學課，儘管遺傳學是困難的（50%）、很多要學的（61%）。此外，61%學生覺得課程中太多數學的運算，29%學生覺得學習只是為了通過考試。在遺傳學應用於生活中的態度方面，學生持有較正向的態度，例如63%同意生物技術有益於我們的生活，但對道德倫理部分似乎考慮的較少，例如49%同學同意懷有遺傳疾病的人終止懷孕。

在影響遺傳學學習成就因子與學生對遺傳學態度之關係調查中（表二），一般而言學生的前備知識和工作記憶與對遺傳學的態度無明顯的相關性。值得考慮注意的是工作

記憶能力與前備知識較佳的學生，較喜歡上遺傳學課、覺得遺傳學是有趣的、也不較不覺的課程困難。似乎學生的工作記憶能力和前備知識與遺傳學態度中的情意部分（如：我喜歡上課、上課很有趣）較有相關性，而與遺傳學態度中的認知部分（如：知識很重要、對我生活有用）則無統計學上的關連性。

表二：影響遺傳學學習成就因子與學生對遺傳學態度之關係（N=141）

問題	前備知識	工作記憶
我很喜歡上遺傳學課	0.138*	0.139*
我覺得遺傳學的內容太多了	0.039	0.076
我覺得遺傳學課有太多跟數學相關的計算	0.029	0.051
我覺得遺傳學課很無聊	-0.126*	-0.118*
我認為國中的遺傳學對我來說太困難	-0.138*	-0.102*
我覺得遺傳學課是對生活很有幫助	0.109*	0.031
我認為瞭解遺傳學的知識很重要的	0.069	0.073
我覺得上課只是為了應付通過考試	0.022	0.05

＊ 相關係數值達 0.05 顯著水準。

（四）國中生遺傳學的教材教法

工作記憶的大小會隨年紀增長而增加，在成年以後不會改變。由於遺傳學的知識特性，使學生在學習上容易造成工作記憶的訊息超載。有些學者建議應將學習遺傳學的時間往後延（Knippels et al., 2005），除了對於抽象概念的處理能力更成熟，工作記憶隨年紀增大也是重要的因素之一。然而，科學的進步是一直持續進行，唯有裝備好這些未來的棟樑，才能真正去面對生物科技應用衍生出的社會倫理爭議。再者，僅把學習的年紀延後，造成學生學習遺傳學的問題仍舊存在。因此，基於本研究的結果，在國中生遺傳學教材教法上的建議有（Bahar & Hansell, 2000; Chu, 2008；楊坤原和張賴妙理，2004）：

1. 教學者或教材撰寫者應保持訊息內容最少量，使學習者在有限的工作記憶下，可以處理這些訊息，學習有效率。
2. 在教材呈現上，應避免不相關或不重要的訊息，對於重要的、關鍵性、會影響瞭解的訊息應強調或重複多次，尤其對於初學者。
3. 教學策略的選擇應考量學習者的認知發展層次，可使用具體教具或實際情境來幫助學習與理解。
4. 教學時使用的語言和表達方式應以學習者容易理解的方式，專有名詞的使用一要特別注意。
5. 教學時應將學習者的前備知識與另有概念考慮進去，協助處理其認知上的衝突。
6. 由於組塊化策略（chunking strategy）確實可以減少工作記憶負荷，教學者可以協助學生將訊息組塊化，以突破個體記憶上的限制。

四、結論

依據訊息處理理論，工作記憶能力是有限的，同一時間只能處理有限的訊息。當訊息超載，學習成效下降。由於遺傳學知識的特性，學習時很容易造成工作記憶超過其所能負荷，因此在設計教材時，必須將此納入考量中，教學者應控制好有用訊息的量於學習者可以處理之下，排除可能干擾學習的外在訊息。

未來，將進一步發展相關教材教法，並探究此教學模式對國中學生遺傳學概念學習成果之效應。

五、參考文獻

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。

楊清二（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。

楊坤原和張賴妙理（2004）：遺傳學迷思概念之文獻探討及其在教學上的啟示。**科學教育學刊**, **12**(3), 365-398。

Bahar, M. and Hansell, M. H. (2000). The relationship between some psychological factors and their effect on the performance of grid questions and word association tests. *Educational Psychology, 20*(3), 349-367.

Bahar, M., Johnstone, A. H. and Sutcliffe, R. (1999). Investigation of student's cognitive structure in elementary genetics through word association test. *Journal of Biology Education, 33*(3), 134-141.

Chattopadhyay, A. (2005). Understanding the genetic information in higher secondary students in Northeast India and the implications for genetics education. *Cell Biology Education, 4*, 97-104.

Chu, Y. C. (2008). *Learning difficulties in genetics and the development of related attitudes in Taiwanese junior high schools*. Ph.D. Thesis, University of Glasgow.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioural and Brain Sciences, 24*, 87-185.

Egan, K. (1972). Structural communication-A new contribution to pedagogy. *Programmed Learning and Educational Technology, 9*(2), 63-78.

Knippels, M. C. P. J., Waarlo, A. J. & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biology Education, 39*(3), 108-112.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*, 75-83.

Jung, E. S. & Reid, N. (2009). Working memory and attitudes. *Research in Science &*

Technological Education, 27(2), 205-223.

Lewis, J. and Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Revisiting students' understanding of genetics. *International Journal of Science Education, 26*(2), 195-206.

Lewis, J., Leach, J., and Wood-Robinson, C. (2000). Chromosomes: The missing link - Young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilization. *Journal of Biology Education, 34*(4), 189-199.

Lewis, J. and Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - Do students see any relationship? *International Journal of Science Education, 22*(2), 177-195.

Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in students' comprehension of genetic concepts. *Journal of Biology Education, 35*(4), 183-189.

Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's development stages. *Act Psychological, 32*, 301-345.

Pashley, M. A. (1994a). A level students: Their problems with gene and allele. *Journal of Biology Education, 28*(2), 120-126.