

# 文本知識編排順序對國中學生遺傳學 閱讀理解的影響

吳貞儀\* 林陳涌\*\* 張永達\*\*\*

我國教育部開放民間出版國民教育教科書後，各家教科書在編寫方式或知識順序的安排，呈現多元化的面貌。從閱讀理解的角度看，教科書的知識編排順序如何和學生的概念結構互動，是值得研究的。本研究依據現今教科書編排及相關研究建議，就遺傳學內容，設計三種不同知識編排的文本，利用所開發的學習成就測驗，比較各文本對國中學生閱讀後遺傳學知識的理解。結果發現本研究文本知識的編排順序會影響國中學生遺傳學知識的理解。學生知識理解的差異主要是在遺傳學相關的分類性理解知識和區辨性分析知識。學生普遍對通則性定義的試題有較好的測驗表現，對分類性理解和區辨性分析的試題則表現較差。建議編寫國中科學教科書的遺傳學內容時，應考量知識的編排順序和知識範圍的連結。

關鍵字：文本、國中、遺傳學、閱讀理解、科學教科書

\* 作者現職：國立臺灣師範大學生命科學系博士生

\*\* 作者現職：國立臺灣師範大學生命科學系及科學教育研究所教授

\*\*\* 作者現職：國立臺灣師範大學生命科學系副教授

---

通訊作者：張永達，e-mail: biofv031@ntnu.edu.tw

## 壹、緒論

自民國九十年開始，我國分期實施九年一貫課程，分階段訂定九年一貫課程的能力指標（教育部，2008a）和教材內容細目（教育部，2008b），作為課程設計和教科書編寫的依據。課程設計方面，給予學校自主的空間，同時也開放民間編寫、出版教科書，再由國立編譯館審定，即一般所稱的「一綱多本」。由於九年一貫課程的各階段是橫跨幾個年級，在各階段中沒有列出教材內容的教學順序，所以各家出版社的教科書，無論在編寫方式或是知識編排順序的安排，呈現多元化的面貌。

以遺傳學為例，在我國是從國中階段開始，課程綱要（教育部，2008a）列有「（2-4-2-2）由植物生理、動物生理以及生殖、遺傳與基因，瞭解生命體的共同性及生物的多樣性」，內容細目（教育部，2008b）有「310生殖、遺傳與演化」的「4a.知道細胞分裂時染色體會變化以及減數分裂時，染色體數目會減半」、「4b.區別有性生殖與無性生殖」、「4c.知道基因可控制性狀的遺傳」和「4d.瞭解基因會突變，及人類性別的遺傳方式」。目前我國市面上占有率達20%以上的國中自然與生活科技教科書有三本，皆將遺傳學主要相關知識安排在七年級下學期的「生殖」單元和「遺傳」單元，具有幾乎相同的知識內容，差別在於知識編排的先後順序有所不同，將於下節進一步說明。

無論是國內、國外，教科書對於學生的學習扮演舉足輕重的角色，不僅是教師教學的重要輔助工具，也是學生學習的主要工具。因此，學者針對自然科學的教科書中知識組織架構進行分析，採用的方法有：知識組成（knowledge organization; Majidi & Mantyla, 2011）、概念連結的融貫性（coherence; Roseman, Stern, & Koppal, 2010）、概念變異（conceptual variation; Gericke & Hagberg, 2010）等。然而，教科書呈現關鍵的概念和知識，其編排先後順序，是否能循序漸進的協助學生建立正確的概念結構，形成促進後續學習基礎的先前概念，使得學生的學習不斷精進，其對於學生理解的影響是必須探討的問題。

進行課程組織時，順序性是重要的規準之一。Tyler（1949；引自劉玉玲，2005）認為學生的學習是建立在前一個學習經驗上，因此在課程組織時，應重視學習經驗的先後順序安排。除了考量學科知識的內容、邏輯結構之外，也需配合學生的認知能力發展，如果安排得宜，有助於學生達到學習的成效（Oliva, 2001；黃光雄、楊龍立，2004）。因此，課程學者提出種種課程組織原則（黃光雄、蔡清田，1999），如由簡單到複雜、由具體到抽象、由近而遠、由整體到部分或由部分到整體等，著重於學生的認知能力發展；概念關聯法的課程組織原則則是基於學科知識的結構，探討其中的相互關係，作為先後順序安排的依據。為促進學生的學習遷移，Bruner的認知結構學習理論、Ausubel的認知同化學習

理論，就已強調學科知識的結構以及其順序安排（施良方，1996；黃光雄、楊龍立，2004）。

雖然認知心理學家用來描述知識結構的模式各不相同，其中的基本組成都包括概念，以及概念之間聯結所形成的知識（鄭麗玉，2006）。概念是我們將外界事物依據其特徵予以類別化，由共同的屬性所建構的；因而我們能把相同的事物歸為一類，而與其他不同類的事物分開來；任何一個事物都能依其屬性被歸類，成為此類別的個例，由於每個屬性有值量的變化，而有不同的個例（鄭昭明，2006）。因此，知識有類別一個例區分：關於某一概念的類別定義，不受情境限制；關於其一個例的知識，則視情境而不同（Best, 1999; 黃秀瑄譯，2009）。

由於各學科知識的結構有其邏輯和特點，在依概念關聯法來進行課程組織的順序安排時，也應視其邏輯和特點來探討，兼顧學科知識的結構以及學生的認知能力發展（劉玉玲，2005）。有意義的學習是指學生學習新的知識時，能將新的知識融入原有的概念結構中，並和先前的概念做適當連結，使學生的概念結構產生變化。建構主義的觀點也認為，學生愈能掌握學科的知識結構，愈能產生學習遷移；相反的，如果學生只是堆積片斷的知識，則這些知識不容易長期留存在他的概念結構中，需要應用時也無法從概念結構中提取，且片斷的知識也可能干擾新知識的學習（Roseman, Caldwell, Gogos, & Kurth, 2010）。

Gagné（1974; 引自Mayer, 1987）提出學習條件如下：（1）外在條件：發生在學生外部的教學事件，提供學生經驗；（2）內在條件：學生內部所牽涉到的知識、過程和策略。我們可以透過文本的閱讀經驗，來獲得知識、產生學習。閱讀的歷程可以分為四個層次：（Carver, 1973; 引自Mayer, 1987）：（1）識字；（2）組成句意；（3）理解文意；（4）評價文章；前兩者代表基本的閱讀技巧，後兩者代表傳統所謂的「閱讀理解」。其中，理解文意是能「經閱讀而學習」（reading to learn），了解文本所寫內容的關連，並對文本未明白表示的部分，運用自己既有的概念結構進行推論，建構出自己的理解和詮釋，進而能夠將獲得的知識運用到適合的情境。因此，不同的閱讀理解理論模式當中，讀者既有的先前概念大多占有舉足輕重的地位（如Anderson & Pearson, 1984; Goodman, 1982; Graesser, Singer, & Trabasso, 1994; Kintsch, 1988）。影響閱讀理解的因素主要如下列：（1）文本的型式、結構與組織；（2）讀者的特性：先前概念、動機等；（3）認知及後設認知：包括思考的監控、應用等（Reynolds & Baker, 1987; Yore & Shymansky, 1991）。前一項屬於外在因素，後兩者屬於內在因素。由此可知，文本知識結構是影響閱讀理解的重要因素，而且先前閱讀或學習經驗所建構的概念知識，會影響後續閱讀或學習經驗將要建構的概念知識。

無論是學習理論或閱讀理解的研究，在在顯示出教科書呈現知識順序的重要性，設計安排時，需兼顧學科知識的結構以及學生的認知能力發展。因此，

本研究探討教科書的知識編排順序對學生遺傳學閱讀歷程中，理解文意層次的影響，也就是對文本中遺傳學知識的理解情況。本研究以準實驗研究，分析文本知識編排順序的差異對學生遺傳學相關的測驗表現。為教科書編寫、教師教學、課程規劃和未來研究，提出反思和建議。至於閱讀歷程中，識字和組成句意兩個層次在本研究預設為學生已具備相當的能力，並於文本設計時，進行文本可讀性考驗，確保文本是學生可自行閱讀的（於研究方法做說明）；而評價文章層次，本研究未列入探討。

## 貳、遺傳學之教學

隨著生物科技的進步，遺傳學時時成為新聞議題。在各國的國民教育課程中，理解遺傳學被視為應具備的科學素養，而列入課程標準或綱要（如：教育部，2008a；全美國家研究院 [National Research Council, NRC], 1996; Dougherty, Pleasants, Solow, Wong, & Zhang, 2011）。然而，國內外的研究皆顯示學生在學習遺傳學時感到困難，即使在課程教學之後，仍可能持有迷思概念（楊坤原、張賴妙理，2004）。妨礙學生學習遺傳學的因素可能是教科書編寫內容或編排順序的影響（美國科學促進學會 [American Association for the Advancement of Science, AAAS], 2005; Banet & Ayuso, 2000; Cho, Kahle, & Nordland, 1985; Duncan & Reiser, 2007; Tolman, 1982）、日常生活經驗的影響（Lewis & Kattmann, 2004; Venville, Gribble, & Donovan, 2005）或是學生的認知和推理程度不足（Cavallo, 1996; Kılıç, & Sağlam, 2014）等。

學者主張學生要能真的理解遺傳學，需要整合三個主題的知識：（1）孟德爾古典遺傳的遺傳主題（genetic model）；（2）減數分裂主題（meiotic model）；（3）分子表現主題（molecular model）（Duncan, Rogat, & Yarden, 2009; Pavlova & Kreher, 2013; Stewart, Cartier, & Passmore, 2005）。其中，遺傳主題包括生殖、受精及遺傳物質的知識，探討親代遺傳某種基因給子代的機制和機率。減數分裂主題的內容是親代產生配子時，染色體組合和基因重組的機制。分子表現主題則涉及基因表現產生蛋白質的機制。因此，遺傳學涵括了從微小分子（核苷酸、等位基因）、巨大分子（染色體、蛋白質）、細胞、生物體乃至不同世代等多個生物組成層級（organizational level），也牽涉生殖、細胞分裂（有絲分裂）、減數分裂、受精及基因表現等許多的生物過程。

如何在教學過程中，有效順利的幫助學生融貫整合遺傳學的三個主題，長期以來是學者研究探討的問題（如：Duncan et al., 2009; Williams, DeBarger, Montgomery, Zhou, & Tate, 2012）。Cho等人（1985）主張，教科書中三個主題的編排不連貫，容易造成學生因為形成片段式瞭解而產生迷思概念；因此，為

了讓學生理解遺傳學，有些學者主張教學順序應該是由遺傳主題開始，再讓學生學習減數分裂主題（Banet & Ayuso, 2000; Cho et al., 1985）。有些學者提出相反的主張，認為教學順序應該是由減數分裂主題開始，接著遺傳主題（Tolman, 1982; Williams et al., 2012）。關於分子表現主題，則有學者認為在遺傳主題和減數分裂主題兩者之前，學生應該先學會分子表現主題（Roseman et al., 2006）。綜合以上文獻可知，遺傳主題、減數分裂主題、分子表現主題之間的知識是關聯的，構成複雜的知識結構，學生先學習的一旦形成迷思概念，會連帶影響其他後續的學習。然而，教學順序上應如何安排，以期學生能循序漸進的有效建構概念，種種主張尚未有實徵研究的驗證。

無論是如何進行遺傳學的教學，最終的目標是希望學生能夠學習科學家建立的知識理論來解釋兩個基本問題：（1）基因如何影響生物體的構造和功能？（2）為何不同生物體有多樣化的構造和功能？（Duncan et al., 2009）。也就是說，遺傳學要探討的是生物多樣性三個層級中的兩個：「物種多樣性」和「遺傳多樣性」。科學家為了建立知識理論來說明解釋現象，在感知現象、觀察和作判斷時，是以一個整體、系統的知識結構為基礎，透過證據的歸納推論來證實具有通則性的知識，此通則性的知識可以指涉運用到其包含的所有個例（陳瑞麟, 2012）。心理語言學家認為知識結構主要由種類階級和部分階級來建構；科學的演進是因為知識結構的種類關聯或部分關聯發生轉變（Thagard, 1992）。除此之外，在生物學的研究，尤其是自然史、分類學、遺傳學和演化學的領域，除了建立通則、進行分類之外，還分析生物物種的性狀特徵，區辨出種種變異（陳瑞麟, 2012）。在本研究中，將用以解釋遺傳學的知識，依據其所指涉的範圍由大到小依序分為：（1）通則性定義；（2）分類性理解；（3）區辨性分析（表1）；對應到學習過程，學生在建構概念結構時，需要對能指涉運用到所有個例的通則性定義有所認識，對用以分類的屬性和每個分類的部分構造能理解，以及對性狀特徵變異能夠區辨並分析。

在學生開始學習遺傳學之前，需要先對生物體有清楚的認識（如：Duncan et al., 2009; Engel Clough & Wood-Robinson, 1985）。知道生物體的通則性定義，認識生物體可以分類為許多種類的物種（分類性理解），能辨別出同一物種當中，個體之間會有變異存在（區辨性分析）。例如，豌豆可以由許多種性狀來區辨出不同型式的個體，以莖高性狀來看，有的個體是高莖，有的則是矮莖。有了這些認識，就可以探討個體變異是由於某種細胞型式上的不同。因此，涉及到細胞的通則性定義；認識不同種類的細胞，如分為體細胞和生殖細胞；區辨每種細胞有可能存在不同型式，如人類紅血球正常為雙凹圓盤狀，但鐮刀型貧血症患者的紅血球則容易扭曲成鐮刀型（Duncan & Tseng, 2011; Lewis & Kattmann, 2004）。更深一層級，則探討到個體細胞內染色體（DNA）的通則性定義；認識細胞內每條染色體都歸類為不同種類，如人類的第1至23號染色體；區辨每號染色體有不同型式，如人類第23號染色體有X或Y兩個型式（Chinnici,

表1 生物組成層級的通則性定義、分類性理解、區辨性分析

生物組成層級	通則性定義	分類性理解	區辨性分析
生物體	生物體的通則定義	生物體分類為許多種類的物種	同一物種當中，個體間有變異存在
細胞	細胞的通則定義	細胞分類為許多種類	每一種細胞可能存在不同型式
染色體 (DNA)	染色體 (DNA) 的通則定義	染色體 (DNA) 歸類為不同種類	每一號染色體 (DNA) 有不同型式
基因	基因的通則定義	基因庫中有各種基因	每一種基因有不同型式，稱為等位基因

Neth & Sherman, 2006; Lewis & Wood-Robinson, 2000)。染色體 (DNA) 的變異則是由於基因型式的變異，需了解基因的通則性定義；基因庫中的種種基因，如血紅素基因；每種基因有不同型式，稱為等位基因，如血紅素基因的等位基因有正常的型式和鎌刀型貧血症的型式；當進行基因表現時，不同型式的等位基因就產生出不同型式的血紅素蛋白質，組成不同型式的紅血球，構成性狀不同的個體 (Duncan & Reiser, 2007; Lewis & Kattmann, 2004)。個體變異在遺傳到下一代時，經過生物體的發育、生殖過程；細胞的細胞分裂、減數分裂或受精等過程；染色體DNA的複製過程，及隨著細胞種種過程的移動；以及基因的表現產生蛋白質過程。各生物組成層級的種類和型式，在這些過程中的變化，促成「物種多樣性」和「遺傳多樣性」。

當學生融貫整合這三個主題當中，生物組成層級的概念本身以及概念之間通則性定義、分類性理解和區辨性分析的知識，才能夠解釋遺傳學兩個基本問題 (Duncan et al., 2009; Shaw, Van Horne, Zhang, & Boughman, 2008) 及探討物種多樣性和遺傳多樣性。但是研究發現，教師進行遺傳學教學時，對於三個知識範圍的語言表達並沒有清楚的區分，可能會影響學生的理解 (Thörne, Gericke, & Hagberg, 2013)；而且，學生很容易將分類性理解和區辨性分析兩個範圍的知識混淆 (Lewis & Wood-Robinson, 2000; Shaw et al., 2008; Williams et al., 2012)。

九年一貫課程綱要 (教育部, 2008a) 有關遺傳學的課程是從國中階段開始，包括了遺傳模式和減數分裂模式，分子表現模式只包括了遺傳物質的組成關

係，分子表現主題當中的基因表現概念並沒有被納入在國中階段；知識內容包括三個主題的通則性定義、分類性理解和區辨性分析等知識。市面上三家教科書中知識編排的順序不同（如表2）。A版和B版的順序相近，由細胞層級切入；相當於Tolman（1982）和Williams等人（2012）提出的教學順序，先介紹個體、細胞、染色體（DNA）三個層級參與發育、細胞分裂、減數分裂、生殖等過程的通則性定義和分類性理解；之後延伸至基因層級與其他層級及種種過程的區辨性分析。C版則由個體層級切入；類似於Cho等人（1985）和Banet與Ayuso（2000）提出的教學順序，先介紹個體層級的生殖和遺傳過程；再介紹個體、細胞、染色體（DNA）三個層級參與細胞分裂、減數分裂等過程的通則性定義和分類性理解；之後延伸至基因層級的與其他層級及種種過程的區辨性分析。

針對遺傳學知識的安排，學者提出不同的順序主張。由於學科知識的先後順序安排，是課程組織、概念學習和閱讀理解等方面所重視的要素之一，先前經驗知識理解的奠基，有利於後續知識理解的發展；因此，本研究假設不同的遺傳學知識順序安排，學生閱讀後的遺傳學知識理解情況會有差異。本研究進行準實驗研究，參照三家教科書以及相關研究所建議的知識順序安排，以相同的文句和圖表，編製具知識順序差異的三個新編文本，由學生自行閱讀後，以成就測驗進行評量，分析學生閱讀文本後，對遺傳學通則性定義、分類性理解和區辨性分析三個知識範圍的理解情況。

本研究問題如下：

- 一、三個新編文本知識順序對於學生閱讀後的遺傳學知識理解，在成就測驗的表現是否有顯著差異？
- 二、學生閱讀後的遺傳學知識理解在通則性定義、分類性理解和區辨性分析三個知識範圍，成就測驗的表現上是否有顯著差異？

## 參、研究方法

### 一、新編文本

本研究以相同的文句和圖表，編製知識內容及敘述方式相同但具知識順序差異的三個新編文本，其知識順序如表2。文本I（相鄰版）參照A版及B版的知識順序，由細胞層級切入，先連結個體和細胞兩個相鄰的生物組成層級的通則性定義和分類性理解，再連結細胞和染色體（DNA）兩個相鄰層級，最後接續各層級的區辨性分析。文本II（分散版）參照C版，以跨越分散的方式，先連結個體和遺傳物質（基因）兩個不相鄰層級的生殖遺傳過程通則性定義和分類性理解，再連結個體、細胞、染色體（DNA）三個層級，最後是各層級的區辨性分析。文本III（集中版）主要是依據Roseman等人（2006）提出的教學順序，

表 2 三家教科書以及新編三版本的知識順序

A 版、B 版、I 相鄰版		C 版、II 分散版		III 集中版	
通則性定義、分類性理解為主	細胞、染色體與 DNA	通則性定義、分類性理解為主	有性生殖	通則性定義、分類性理解、區辨性分析並陳	細胞、染色體、DNA 與基因
	↓		↓		↓
	細胞分裂		無性生殖		細胞分裂
	↓		↓		↓
	減數分裂		細胞、染色體與 DNA		無性生殖和遺傳
區辨性分析為主	↓	區辨性分析為主	↓		↓
	無性生殖		細胞分裂		減數分裂
	↓		↓		↓
	有性生殖		減數分裂		有性生殖和遺傳
	↓		↓		↓
孟德爾遺傳法則	孟德爾遺傳法則	孟德爾遺傳法則			
↓	↓	↓	↓	↓	
染色體、DNA 與基因	染色體、DNA 與基因	孟德爾遺傳法則			
↓	↓	↓	↓	↓	
生殖和遺傳	生殖和遺傳	生殖和遺傳			

先連結個體、細胞、染色體（DNA）和基因四個層級的通則性定義、分類性理解和區辨性分析；之後再進入個體、細胞、染色體（DNA）參與發育、細胞分裂、減數分裂、生殖等過程中的通則性定義、分類性理解和區辨性分析。新編文本的內容效度考驗由生物科領域的大學教授，以及新編三文本各兩位國中教師進行審稿與修正。

新編三文本分別由國小六年級各二班，共六班165名學生試讀，以克漏字測驗（Singer & Donlan, 1980），進行文字可讀性的考驗。分四次閱讀，每次閱讀時，選取1段或2段共約250字，保留第一句和最後一句，其他則每5字空一字，學生依據句法和句意來推論應填入的字，四次閱讀的空格共128格，平均答對率為81.8%，超過學生可自行閱讀的答對率58%以上水準（Singer & Donlan,



1980)，顯示新編文本達學生可自行閱讀的程度。

## 二、知識成就測驗試題

評量學生學習或閱讀後，對文本內容知識理解的程度，題型設計有：選擇反應試題（是非題、選擇題、配合題、填充題）、建構反應試題（問答題、回憶重述、重點摘要、概念圖）等方式（余民寧、陳嘉成、潘雅芳，1996；胡永崇，2008；郭生玉，2004；董宜俐，2003）。其中，選擇題能客觀評分，可測量不同層次的學習成效，不受學生本身書寫能力、繪圖技巧的影響，是標準化閱讀理解能力的測驗最常採用的設計（林寶貴、錡寶香，2000；胡永崇，2008；董宜俐，2003）。故本研究採用選擇題題型，為減少學生猜測答案的情況，設計時留意選項的誘答力。另外，考慮多選題是對每個選項作出選擇與否的設計，不僅選項間的誘答力可能會互相影響，計分標準也不合理，因此未採用多選題，而是將各選項獨立設計為是非題題型（王振世、何秀珠、曾文志、彭文松譯，2009）。

依據閱讀內容中遺傳學三個主題當中的三個知識範圍（通則性定義、分類性理解和區辨性分析），設計出知識成就測驗的試題，其中選擇題17題；是非題11大題，每大題有4題（例題見表3，試題知識內容見附錄一）。試題共61題，答對各計1分。通則性定義有3題、分類性理解有22題、區辨性分析有36題。

表3 是非題範例

題目	知識範圍
下列有關人類「第 23 號性染色體」的敘述，正確請打 O，錯誤請打 X	
( X ) (1) 是由許多條 DNA 和蛋白質纏繞形成的	通則性定義
( O ) (2) 皮膚細胞含有第 23 號性染色體	分類性理解
( O ) (3) 男性的 X 染色體來自母親	區辨性分析
( X ) (4) 男性體內形成的全部精子，裡面的性染色體是一條 Y	區辨性分析

測驗試題的內容效度考驗，同樣由生物科領域的大學教授，以及六位國中教師進行審稿與修正。

於新北市一所國中已學過「生殖」和「遺傳」兩單元的七年級兩班共60名學生進行試測，內部一致性庫李信度KR-20係數為0.801，顯示本測驗試題具有

相當的信度。

### 三、研究流程

於上學期七年級學生尚未接觸到「生殖」、「遺傳」單元教學時，在臺北市一所國中七年級全部八班進行準實驗研究，隨機分派每班一種文本，其中I相鄰版二班58人、II分散版三班81人、III集中版三班91人。每週由教師安排一節課閱讀文本其中一部分，共分四次閱讀完畢。為了幫助學生在閱讀時能留意到主要知識並熟悉測驗方式，於每一個閱讀部分後面，附有幾題選擇題或是非題，讓學生練習作答並複習剛閱讀過的知識。這些試題可直接從文本內文找到答案，與知識成就測驗的試題不同，學生的作答不納入分析。四週後，學生閱讀完四個部分。隔週進行知識成就測驗的施測。全程參與閱讀及測驗的有效施測人數分別為I相鄰版40人、II分散版59人、III集中版70人。

### 四、分析方法

受限於實際的學校情境，無法打破原來班級的界限，採用準實驗設計方法，隨機分派班級採用版本閱讀，並以統計控制的方法，採用共變數分析。學生在參與本研究前的自然科第二次段考成績 ( $M = 66.04, SD = 20.583$ ) 與知識成就測驗的總平均答對率為中度相關 ( $r = .456, p = .000$ )，作為共變數，用以排除學生本身自然科學習成就能力的影響。以SPSS軟體，用自然科第二次段考成績作為共變數，分別對知識成就測驗的通則性定義、分類性理解和區辨性分析等三個知識範圍的分測驗平均答對率，進行多變量共變數分析 (Multivariate Analysis of Covariance, MANCOVA)，以分析探究三版本對三個知識範圍的影響效果。並且逐題進行卡方考驗，檢定各版本學生單題答對率的差異顯著性。

此外，進行相依樣本單因子變異數分析，將所有學生或各版本學生的通則性定義、分類性理解和區辨性分析等三個知識範圍分測驗平均答對率做比較，以了解學生在三個知識範圍的測驗表現情況。

## 肆、研究結果與討論

### 一、三個新編文本知識編排順序對於學生的遺傳學知識理解的影響

為探究三版本對三個知識範圍的影響效果，進行多變量共變數分析。各組迴歸線平行的假設檢定，Wilk's  $\Lambda$  值為 .938,  $p = .110 > .05$ ，符合共變數分析中組內迴歸係數同質性的假定，可以繼續進行共變數分析。共同斜率為0假設考驗，Wilk's  $\Lambda$  值為 .771,  $p = .000 < .05$ ，顯示共變數的影響是不能忽視的，必須

採用共變數來進行調整。主要效果的考驗，Wilk's  $\Lambda$  值為 .876， $p = .001 < .05$ ，表示排除共變數的影響後，三版本學生的答對率有顯著差異存在。其中，三版本的學生在通則性定義分測驗的平均答對率並沒有顯著差異（調整後  $M_{IG} = .630 = M_{IIIG} = .631 = M_{IIIIG} = .709$ ， $F = 1.836$ ， $p = .163 > .05$ ）。在分類性理解和區辨性分析分測驗的平均答對率則有顯著差異，I相鄰版學生答對率皆優於II分散版和III集中版學生（分類性理解： $M_{IC} = .555 > M_{IIC} = .510 = M_{IIIC} = .489$ ， $F = 4.747$ ， $p = .010 < .05$ ；區辨性分析： $M_{ID} = .475 > M_{IID} = .435 = M_{IIID} = .412$ ， $F = 5.600$ ， $p = .004 < .05$ ）（表4、表5）。逐題卡方考驗的結果顯示，一題關於等位基因在某對染色體的相對位置（試題T4-2），三個版本學生答對率達顯著差異（ $df = 2$ ， $\chi^2 = 6.553$ ， $p = .038 < .05$ ），I相鄰版學生答對率優於II分散版和III集中版學生（ $T4-2_I = .85 > T4-2_{II} = .63 = T4-2_{III} = .64$ ，附錄一）。

表 4 單因子多變量共變數分析摘要表

變異來源	df	SSCP矩陣			多變量 $\Lambda$	單變量 (F)		
		通則性 定義	分類性 理解	區辨性 分析		通則性 定義	分類性 理解	區辨性 分析
常數	1							
版本	2	.246	-.123	-.124	.876*	1.836	4.747	5.600
			-.123	.109	*	ns	*	**
			-.124	.103			(I > II = III)	(I > II = III)
段考成績	1	1.220	.699	.367	.771*	18.175	35.010	12.640
			.699	.401	**	***	***	***
			.367	.211				
組內	165	11.073	.683	.695				
			.683	1.890				
			.695	.471				
總和	169							

ns  $p > .05$     \*  $p < .05$     \*\*  $p < .01$     \*\*\*  $p < .001$

表 5 三版本在三個知識範圍之描述性統計量摘要表

知識範圍	版本	平均數	標準差	調整後平均數	標準誤
通則性定義	I	.6952	.26462	.630	.042
	II	.6583	.25584	.631	.034
	III	.6271	.29089	.709	.031
分類性理解	I	.4812	.11439	.555	.017
	II	.5716	.13882	.510	.014
	III	.5077	.10480	.489	.013
區辨性分析	I	.4075	.07199	.475	.015
	II	.4833	.12403	.435	.012
	III	.4341	.10159	.412	.011

註：共變量為段考成績 = 66.04

多變量共變數分析結果顯示，I 相鄰版學生的成績顯著優於 II 分散版和 III 集中版學生的成績。因此，本研究結果支持 Tolman (1982) 和 Williams 等人 (2012) 的教學順序：由細胞分裂和減數分裂開始，而非其他兩種教學順序 (Banet & Ayuso, 2000; Cho et al., 1985; Roseman et al., 2006)。

I 相鄰版學生在分類性理解的試題中，減數分裂過程或有性生殖過程，以及在區辨性分析的試題中，細胞分裂、減數分裂過程或基因表現機制，有較好的理解。此研究結果反映出 I 相鄰版的編排順序能讓學生循序漸進，對四個生物組成層級之間的知識有較好的融會貫通。II 分散版則在認知上較缺乏相互連結的整體觀。而 III 集中版一開始即介紹生物組成的四個層級，對於學生來說，建構四個層級在三個知識範圍的概念結構，在認知的負荷上可能太大，因而影響後續學習。

## 二、學生在通則性定義、分類性理解和區辨性分析三個知識範圍的表現

為了解學生在三個知識範圍的測驗表現情況，分別進行三個知識範圍的相依樣本單因子變異數分析。結果顯示，所有學生的通則性定義分測驗平均答對率優於分類性理解分測驗平均答對率，分類性理解分測驗平均答對率又優於區辨性分析分測驗平均答對率 ( $M_G = .6627 > M_C = .5118 > M_D = .4347$ ,  $F(2, 366) = 84.940$ ,  $p = .000$ )，淨關聯強度量數係數(淨 $\eta^2$ )為 .336，表示知識範圍可解釋 33.6%的變異量，呈現高度的關聯強度；統計考驗力為 1，表示上述推論正確裁決率達 100%。若將各版本學生的測驗表現分別分析，所得結果也都是相同的情況(表 6)。知識成就測驗試題的試題難易度、鑑別度及各版本答對率情況如附錄一。

表 6 單因子變異數重複量數分析摘要表

	平均數(標準差)						F 值	事後 比較	效果量 淨 $\eta^2$	統計考 驗力
	通則性定義		分類性理解		區辨性分析					
所有學生 (N=169)	.6627	(.27214)	.5118	(.12201)	.4347	(.10067)	84.940***	$G > C$ $> D$	.336	1
I 相鄰版 (N=40)	.6583	(.25584)	.5716	(.13882)	.4833	(.12403)	15.079***	$G > C$ $> D$	.279	.995
II 分散版 (N=59)	.6271	(.29089)	.5077	(.10480)	.4341	(.10159)	19.438***	$G > C$ $> D$	.251	.998
III 集中版 (N=70)	.6952	(.26462)	.4812	(.11439)	.4075	(.07199)	57.543***	$G > C$ $> D$	.455	1

註：通則性定義、分類性理解和區辨性分析，分別以 G、C 和 D 表示。

ns  $p > .05$     \*  $p < .05$     \*\*  $p < .01$     \*\*\*  $p < .001$

通則性定義的知識範圍中，有超過一半的學生誤認為：每一條染色體是由許多 DNA 分子和蛋白質分子組成的(試題 T2-1)，這迷思概念並未在以往相關研究發現到，往後研究可再留意是否為常見的迷思概念。

分類性理解的知識範圍中，雖然學生普遍知道雙倍體細胞、配子、合子等各種細胞含有的染色體數目，但是如同其他研究顯示(如 Banet & Ayuso, 2000)，學生仍然有著迷思概念：不同種類的細胞含有不同種類的染色體(試題 6)或是含有不同種類的基因(試題 T5-2)。對於各條染色體含有的基因種類組成，學生並沒有清楚的理解(試題 11、T1-1 和 T4-1)(如 Quinn, Pegg, & Panizzon, 2009)。對於不同種類基因的遺傳類型，如單基因遺傳和多基因遺傳

## 專論

的分類（試題 T6-1 和 T10-4），學生也常混淆不清。閱讀 I 相鄰版學生則在其中幾題關於細胞的染色體組成或基因組成有較好的答對率（如試題 6、T5-2）。

區辨性分析的知識範圍中，超過一半的學生無法理解等位基因在某對染色體的相對位置（試題 9 和 14）（如 Marbach-Ad & Stavy, 2000），也因此無法追蹤等位基因隨著某對染色體在不同過程中的移動變化，如細胞分裂（試題 12、15、17 和 T3-2），減數分裂（試題 3、4、7、16、T2-4、T6-4 和 T11-2），有性生殖（試題 10、T2-3 和 T4-4），無性生殖（試題 T9-2、T9-3 和 T9-4），或是基因表現機制（試題 8、T8-2 和 T8-4）（如：Engel Clough & Wood-Robinson, 1985; Lewis & Kattmann, 2004; Venville et al., 2005）。閱讀 I 相鄰版學生則在其中幾題關於某對染色體在細胞分裂（試題 12 和 15），無性生殖（試題 T9-2、T9-3）過程中的移動變化，有較好的答對率。不過，即使是 I 相鄰版學生仍有相當比例將區辨性分析的知識混淆為分類性理解的知識（Lewis & Wood-Robinson, 2000; Shaw et al., 2008; Williams et al., 2012）。

偏重於區辨性分析的遺傳主題與分子表現主題，相當於遺傳學研究發展過程中，科學家就當時對遺傳現象的了解所建構的模式，先由孟德爾推理建構出遺傳模式三個範圍的知識，隨著了解的知識越多，模式中的概念數以及概念之間的連結都增加了三個範圍的知識，發展成現代的分子表現模式（Gericke & Hagberg, 2007）；然而現今有些國家的教學，仍依循這樣的歷史脈絡，兩個模式先後呈現（Gericke, Hagberg, Santos, Joaquim, & El-Hani, 2014），學者發現這樣的情況，造成這兩個模式被學生視為兩個不相干的主題，無法彼此連結，造成學習困難（Gericke, Hagberg, & Jorde, 2013）。因此，如何幫助學生將這兩個主題有較好的對應連結，是教科書編寫時需加留意的。而且，也應考量學生是否具備如孟德爾的能力，由未知抽象的遺傳物質來進行遺傳現象的思考推理。或許將現代的分子表現主題安排於減數分裂主題之後，孟德爾的遺傳主題之前，學生先建構具體的細胞內遺傳物質在減數分裂主題和分子表現主題的知識，再回顧對應到孟德爾的遺傳主題推理過程。

目前三家出版社教科書，細胞分裂、減數分裂主題著重於染色體（DNA）層級的通則性定義和分類性理解，而相關的區辨性分析和基因層級的三個知識範圍則整合到孟德爾遺傳主題之後的分子表現主題中。針對學生在區辨性分析的表現較差的情況，可思考四個層級的區辨性分析被集中整合在分子表現主題中，對學生的認知負荷可能太大；改將細胞分裂、減數分裂主題的區辨性分析前移在孟德爾的遺傳主題之前，讓三個知識範圍能接續呈現，使學生能有清楚的認識而不混淆，並且減少區辨性分析過於集中在分子表現主題的情況。

Duncan 等人（2009）認為，除了考慮主題之間的整合之外，還需考慮各學

習階段學生的認知能力。基於對國小階段學生進行遺傳學教學研究的成效（Venville & Donovan, 2007），他們提出一個美國五年級至十年級的生殖遺傳學習進程，這三個主題的知識從五年級就可以開始初步介紹給學生，後續再學習加深、加廣的知識內容，在五、六年級時學習生物體、性狀、發育、生殖、細胞、細胞分裂、減數分裂、受精、基因、基因表現等概念，其中通則性定義、分類性理解和區辨性分析的知識；在七、八年級時才加入 DNA（構成為染色體）和蛋白質的概念，與先前知識形成連結；在九、十年級時再加入核苷酸和基因重組的概念。

目前我國九年一貫課程是於國中階段開始進行遺傳學教學，學生這個階段的觀念理解將成為高中階段的先前概念，隨著學生的認知發展，在高中階段的遺傳學教學應如何安排，也需加以思考探究。在未來課程規劃上，可以考量是否在國中階段納入分子表現主題以及蛋白質的通則性定義、分類性理解和區辨性分析的知識，而將 DNA（或染色體）的概念移至高中階段才學習。如此，減少 DNA（或染色體）這個概念，讓國中學生的認知任務以個體、細胞、基因和性狀等概念為主，先連結細胞和基因兩個層級概念之間在細胞分裂或減數分裂過程中的通則性定義、分類性理解和區辨性分析的知識。在這樣承先啟後、分散認知任務的情況下，來探究學生對於分類性理解和區辨性分析的知識是否能較好的學習成效。

## 伍、結論與建議

我國國中教科書的遺傳學相關內容在「生殖」和「遺傳」兩單元中，涵括了至少四個生物組成層級：個體、細胞、染色體（DNA）、基因，三個主題（遺傳主題、減數分裂主題和分子表現主題）的知識。這些知識所指涉的範圍可分為由大到小依序為：通則性定義、分類性理解和區辨性分析。

本研究探討國中教科書的「生殖」、「遺傳」兩單元之相同知識文句，在不同的順序安排下讓學生閱讀後，對遺傳學知識理解的影響。根據本研究的結果，歸納出下列結論與建議：

### 一、知識編排由相鄰層級連結，學生有較優的知識理解

由多變量共變數分析結果顯示，閱讀 I 相鄰版學生的成績顯著優於 II 分散版和 III 集中版學生的成績。因此，本研究結果支持 Tolman（1982）和 Williams 等人（2012）的教學順序，而非其他兩種教學順序（Banet & Ayuso, 2000; Cho et al., 1985; Roseman et al., 2006）。因此就本研究三個新編文本知識編排順序的影響，建議國中教科書編寫遺傳學內容時，能參照 I 相鄰版，先由細胞、DNA 層級切入，連結兩個相鄰的層級，再逐漸擴展到其他層級。這樣的編排順序較能幫助學生在閱讀遺傳學內容時有較優的知識理解。

## 二、學生在分類性理解和區辨性分析的測驗表現較差

三個版本的學生對三個知識範圍的測驗表現，都是以通則性定義試題的答對率較佳，其次是分類性理解試題，而區辨性分析試題是較困難的。建議可以 I 相鄰版為基礎，統整細胞分裂、減數分裂主題三個知識範圍的順序，將分類性理解和區辨性分析的知識接續並陳，讓學生進行比較，減少混淆。由現代的分子表現主題三個知識範圍，再回顧對應到孟德爾遺傳主題的推理分析。這樣的順序調整，於將來再進行研究來加以驗證。

## 三、生物學科課程的規劃建議

由於生物學科的知識結構特點在於涵括了許多生物組成層級，形成錯複雜的網路結構，依本研究所得結果，建議在規劃生物學科課程時，考量學生國小、國中至高中各階段的認知能力發展，以及概念之間的知識涉及概念的層級多寡、遠近。在課程中規劃適宜的概念數量和概念之間的連結數量，使學生能逐步由國小、國中、高中發展出漸趨完整的知識架構，能有良好的生物學科學習成效。

## 四、本研究的限制及未來研究的建議

關於本研究設計，實驗的進行是由學生自行閱讀，並沒有教師授課的影響，所得結果反映出，學生自行閱讀遺傳學知識時真實的學習成就和困難，可做為教師進行教學前的參考；但因研究對象為國中階段的學生，研究結果不一定能推論到其他學習階段或其他類型的學生，且本研究的測驗範圍僅就閱讀歷程的遺傳學知識理解層次，未包括識字、組成句意和評價文章等層次，所以研究結果不宜推論及未測驗的層次。

本研究顯示文本的知識編排順序會影響國中階段學生的遺傳學知識理解，將來可進一步研究在有教師教學介入的情況下，不同教學順序對學生學習的影響情況。鑑於 Thörne 等人（2013）的研究，發現瑞典教師進行遺傳學教學時，對於三個知識範圍的語言表達並沒有清楚的區分，可能會影響學生的理解；因此，將來在進行教學實驗研究前，應先留意教師的語言表達。教師的教學介入，除了針對學科教材教法的運用之外，也可以指導閱讀策略，如：自我提問、文章結構分析、圖形組織繪製、摘要，以及交互教學的預測、師生問答、澄清等（謝進昌，2015），研究這些閱讀策略對學生「學習閱讀」（Learning to read）後，「經閱讀而學習」遺傳學知識的理解成效。

唯本研究的評量工具採用選擇反應試題，測驗學生透過閱讀過程，獲得遺傳學知識和建構相關概念，運用到試題情境的成就表現；然而此評量工具並未能一窺學生的概念結構中，概念之間聯結的知識關連。往後研究可以採用建構



反應試題，如問答題、概念圖等方式，分析學生概念結構，進行比較，探討其建構連結的發展情況。

## 致謝

本研究承蒙行政院國家科學委會（現為科技部）經費支持（NSC99-2511-S-003-016-MY2），敬致謝忱。並感謝本刊論文審查委員悉心斧正，提供寶貴建議。

## 參考文獻

- 王振世、何秀珠、曾文志、彭文松編譯（2009）。**教育測驗與評量**（R. L. Linn 和 M. D. Miller 原著，2005 年出版）。臺北：臺灣培生教育出版。
- 余民寧、陳嘉成、潘雅芳（1996）。概念構圖法在測驗教學上的應用。**測驗年刊**，**43**，195-212。
- 林寶貴、錡寶香（2000）。中文閱讀理解測驗之編製。**特殊教育研究學刊**，**19**，79-104。
- 胡永崇（2008）。閱讀理解的教學評量方式。**屏師特殊教育**，**16**，1-9。
- 施良方（1996）。**學習理論**。高雄：麗文。
- 教育部（2008a）。**九年一貫課程自然與生活科技領域課程綱要**。臺北：教育部。
- 教育部（2008b）。**九年一貫課程自然與生活科技領域內容細目**。臺北：教育部。
- 郭生玉（2004）。**教育測驗與評量**。臺北：精華書局。
- 陳瑞麟（2012）。**認知與評價：科學理論與實驗的動力學（上）、（下）**。臺北：國立臺灣大學出版中心。
- 黃光雄、楊龍立（2004）。**課程發展與設計：理念與實作**。臺北：師大書苑。
- 黃光雄、蔡清田（1999）。**課程設計--理論與實際**。臺北：五南。
- 黃秀瑄編譯（2009）。**認知心理學**（J. B. Best 原著，1999 出版）。臺北：心理。
- 楊坤原、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**，365-398。

## 專論

董宜俐（2003）。國小六年級學童中文閱讀理解測驗編製研究（未出版之碩士論文）。臺中師範學院教育測驗統計研究所，臺中。

劉玉玲（2005）。課程發展與設計。新北：新文京開發。

鄭昭明（2006）。認知心理學—理論與實踐。臺北：桂冠。

鄭麗玉（2006）。認知心理學—理論與應用。臺北：五南。

謝進昌（2015）。有效的中文閱讀理解策略：國內實驗研究之最佳證據整合。*教育科學研究期刊*，**60**，33-77。

American Association for the Advancement of Science (AAAS). (2005). *AAAS project 2061 textbook evaluation: High school biology textbooks: A benchmarks-based evaluation*. Retrieved from <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/report/default.htm>

Anderson, R. C., & Pearson, P. D. (1984). A schema-theoretic view of basic processes in reading comprehension. In P. D. Pearson (Ed.), *Handbook of reading research* (pp. 255-291). New York, NY: Longman.

Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, *84*, 313-351.

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*, 625-656.

Chinnici, J. P., Neth, S. Z., & Sherman, L. R. (2006). Using “chromosomal socks” to demonstrate ploidy in mitosis & meiosis. *American Biology Teacher*, *68*, 106-109.

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*, 707-719.

Dougherty, M. J., Pleasants, C., Solow, L., Wong, A., & Zhang, H. (2011). A comprehensive analysis of high school genetics standards: Are states keeping pace with modern genetics? *CBE—Life Sciences Education*, *10*, 318-327.

- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching, 44*, 938-959.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching, 46*, 655-674.
- Duncan, R. G., & Tseng, K. A. (2011). Designing project-based instruction to foster generative and mechanistic understandings in genetics. *Science Education, 95*, 21-56.
- Engel Clough, E., & Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education, 19*, 304-310.
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science & Education, 16*, 849-881.
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2010). Conceptual variation in the depiction of gene function in upper secondary school textbooks. *Science & Education, 19*, 963-994.
- Gericke, N. M., Hagberg, M., & Jorde, D. (2013). Upper secondary students' understanding of the use of multiple models in biology textbooks – The importance of conceptual variation and incommensurability. *Research in Science Education, 43*, 755-780.
- Gericke, N. M., Hagberg, M., Santos, V. C., Joaquim, L. M., & El-Hani, C. N. (2014). Conceptual variation or incoherence? Textbook discourse on genes in six countries. *Science & Education, 23*, 381-416.
- Goodman, K. S. (1982). The reading process: Theory and practice. In F. V. Gollasch (ed.), *Language and literacy, Vol. 1* (pp. 33-43). Boston, MA: Routledge Kegan Paul.
- Graesser, A. C., Singer, M., & Trabasso, T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review, 101*, 371-395.
- Kılıç, D., & Sağlam, N. (2014). Students' understanding of genetics concepts: The effect of reasoning ability and learning approaches. *Journal of Biological Education, 48*, 63-70.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A

construction-integration model. *Psychology Review*, 95, 163-182.

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

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

Majidi, S., & Mantyla, T. (2011). Knowledge organization in physics textbooks: A case study of magnetostatics. *Journal of Baltic Science Education*, 10, 285-299.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34, 200-205.

Mayer, R. E. (1987). *Educational psychology: A cognitive approach*. Boston & Toronto: Little, Brown and Company.

National Research Council (NRC). (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Oliva, P. F. (2001). *Developing the curriculum* (5th ed.). New York, NY: Addison Wesley Longman.

Pavlova, I. V., & Kreher, S. A. (2013). Missing links in genes to traits: Toward teaching for an integrated framework of genetics. *American Biology Teacher*, 75, 641-649.

Quinn, F., Pegg, J., & Panizzon, D. (2009). First-year biology students' understandings of meiosis: An investigation using a structural theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 31, 1279-1305.

Reynolds, R. E., & Baker, D. R. (1987). The utility of graphical representations in text: Some theoretical and empirical issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 161-173.

Roseman, J., Caldwell, A., Gogos, A., & Kurth, L. A. (2006, April). *Mapping a coherent learning progression for the molecular basis of heredity*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching, San Francisco, California.

Roseman, J. E., Stern, L. & Koppal, M. (2010). A method for analyzing the

- coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 47-70.
- Shaw, K. R. M., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178, 1157-1168.
- Singer, H., & Donlan, D. (1980). Determining reading and readability levels. In *Reading and learning from text* (pp. 173-208). Boston and Toronto: Little, Brown and Company.
- Stewart, J., Cartier, J. L., & Passmore, C. M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. In M. S. Donovan, & J. D. Bransford (Eds.), *How students learn: Science in the classroom* (pp. 515-565). Washington, DC: National Academies Press.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thörne, K., Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2013). Linguistic challenges in mendelian genetics: Teachers' talk in action. *Science Education*, 97, 695-722.
- Tolman, R. R. (1982). Difficulties in genetics problem solving. *American Biology Teacher*, 44, 525-527.
- Venville, G., & Donovan, J. (2007). Developing Year 2 students' theory of biology with concepts of the gene and DNA. *International Journal of Science Education*, 29, 1111-1131.
- Venville, G., Gribble, S. J., & Donovan, J. (2005). An exploration of young children's understandings of genetics concepts from ontological and epistemological perspectives. *Science Education*, 89, 614-633.
- Williams, M., DeBarger, A. H., Montgomery, B. L., Zhou, X. C., & Tate, E. (2012). Exploring middle school students' conceptions of the relationship between genetic inheritance and cell division. *Science Education*, 96, 78-103.
- Yore, L. D., & Shymansky, J. A. (1991). Reading on science: Developing and operational conception to guide instruction. *Journal of Science Teacher Education*, 2, 29-36.

附錄一 試題的知識範圍、知識內容、難易度、鑑別度、答對率及卡方考驗顯著性

知識範圍	知識內容	題號	難易度	鑑別度	答對率			卡方
					I	II	III	
G 通則性定義 (共 3 題)								
G	每條染色體是由一條 DNA 和許多蛋白質纏繞形成的	T2-1	.49	.07	.33	.42	.53	.110
G	基因位在細胞裡面	T3-1	.77	.33	.85	.76	.77	.534
G	基因被啟動後，才能表現出性狀	T6-2	.76	.26	.80	.69	.79	.376
C 分類性理解 (共 22 題)								
C	成對的同源染色體有相似的長度和形狀	T4-3	.65	.30	.80	.73	.67	.347
C	雙套細胞含有成對的染色體	1	.61	.13	.70	.53	.53	.156
C	體細胞含有雙套的染色體	T2-2	.64	.02	.73	.63	.56	.216
C	個體的每個體細胞其中的染色體套數是相同的	6	.49	.46	.60	.46	.43	.205
C	在染色體 (DNA) 某段位置的基因，決定某種性狀	T4-1	.33	.17	.38	.34	.27	.493
C	每條染色體 (DNA) 含有多種基因	T1-1	.47	.07	.38	.47	.49	.499
C	不同種的染色體 (DNA) 其中的基因種類並不相同	11,	.42	.33	.43	.39	.30	.358
		T5-4	.50	.43	.68	.54	.47	.119
C	同源染色體 (同種的染色體 DNA) 其中的基因種類是相同的	T3-3	.64	.37	.63	.68	.56	.369

附錄一（續）

知識範圍	知識內容	題號	難易度	鑑別度	答對率			卡方
					I	II	III	
C	每個體細胞其中的基因組成是相同的	T5-1,	.66	.15	.75	.68	.74	.645
		T5-2,	.43	.17	.48	.37	.39	.557
		T11-4	.74	.26	.78	.63	.74	.206
C	多細胞生物經由細胞分裂產生新細胞而成長發育	T7-3	.39	.26	.48	.34	.27	.096
C	細胞分裂產生的新細胞含有成對的同源染色體	T7-1	.73	.28	.85	.75	.71	.270
C	細胞分裂產生的新細胞含有雙套染色體	T7-2	.67	.30	.75	.66	.67	.606
C	配子含有的染色體並不成對	13,	.50	.22	.23	.17	.10	.199
		T1-2	.58	.28	.58	.56	.47	.476
C	配子含有的染色體數目是母細胞的一半	2	.18	.33	.55	.53	.49	.794
C	受精卵含有雙套染色體	T1-3	.52	.26	.50	.51	.57	.693
C	有性生殖產生的子代細胞其中的染色體數目與親代相同	T1-4	.48	.04	.58	.39	.37	.091
C	某種性狀主要由一種基因控制的，稱為單基因遺傳	T6-1	.37	-.09	.43	.44	.29	.142
C	某種性狀由多種基因控制的，稱為多基因遺傳	T10-4	.46	.26	.35	.39	.50	.243
D 區辨性分析（共 36 題）								
D	ABO 血型基因有 3 個型式的等位基因	T5-3	.75	.28	.80	.71	.76	.603
D	每種基因的等位基因只位在一對同源染色體上	9	.25	.15	.18	.24	.26	.610

附錄一（續）

知識範圍	知識內容	題號	難易度	鑑別度	答對率			卡方
					I	II	III	
D	每種基因的等位基因在一對同源染色體的位置是相同的	14,	.16	-.07	.23	.19	.10	.179
		T4-2	.65	.26	.85	.63	.64	.038*
D	細胞分裂時，每對同源染色體各自複製	17	.28	.26	.33	.27	.20	.328
D	細胞分裂時，每對同源染色體各自複製其中的等位基因	15	.36	.37	.45	.39	.27	.134
D	細胞分裂產生的新細胞其中的染色體與母細胞是同樣的	12	.32	.37	.40	.25	.20	.071
D	細胞分裂產生的新細胞其中的等位基因與母細胞是同樣的	T3-2,	.29	.28	.38	.37	.31	.727
		T7-4	.58	.15	.60	.73	.54	.090
D	減數分裂時，每對同源染色體各自複製後，分別往細胞一端移動	16	.26	.13	.30	.19	.27	.371
D	男性體內一半的精子含有的性染色體是 X，另一半是 Y	T2-4	.47	.11	.53	.46	.41	.533
D	減數分裂時，每種基因的成對等位基因隨複製的同源染色體各自分開	T6-4,	.24	.00	.20	.24	.19	.765
		T10-1	.63	.04	.65	.47	.57	.214
D	配子只含有每種基因的一個等位基因	3,	.18	.15	.15	.22	.20	.681
		4,	.20	.17	.20	.19	.10	.260
		7,	.34	.11	.33	.34	.26	.562
		T11-2	.46	.22	.51	.47	.39	.428
D	子代體細胞其中的染色體有一半是來自於父親	5	.72	.22	.80	.73	.63	.145



附錄一（續）

知識範圍	知識內容	題號	難易度	鑑別度	答對率			卡方
					I	II	III	
D	子代體細胞其中的每對同源染色體，一條來自於父親，另一條來自於母親	T4-4	.32	.07	.30	.27	.31	.865
D	子代體細胞其中的每對等位基因，一個來自於父親，另一個來自於母親	10	.25	.15	.28	.27	.26	.974
D	配子的受精是隨機的	T10-2	.73	.20	.80	.73	.73	.664
D	當卵和帶有 Y 性染色體的精子進行受精，子代為男性	T2-3	.49	.15	.48	.42	.41	.816
D	有性生殖產生的子代其中的某種基因型可能與親代是同樣的	T3-4,	.82	.20	.78	.78	.81	.845
		T11-3	.48	.35	.63	.47	.46	.206
D	無性生殖產生的子代其中的染色體與親代是同樣的	T9-1	.54	.35	.58	.49	.51	.710
D	無性生殖產生的子代其中的基因型與親代是同樣的	T9-4	.26	.09	.25	.29	.23	.739
D	無性生殖產生的所有子代其中的染色體是同樣的	T9-2,	.53	.33	.60	.41	.53	.144
		T9-3	.46	.35	.50	.34	.37	.249
D	顯隱性遺傳中，個體含有一個顯性等位基因，就表現出顯性性狀	T10-3,	.65	.17	.70	.63	.64	.744
		T11-1	.67	.26	.83	.75	.64	.107
D	有性生殖產生的子代表現出的性狀可能與親代並不同樣	T6-3,	.48	.00	.45	.56	.56	.488
		T8-1	.62	.28	.73	.51	.61	.094

附錄一（續）

知識範圍	知識內容	題號	難易度	鑑別度	答對率			卡方
					I	II	III	
D	有性生殖產生的所有子代表現出的性狀可能多樣化	8,	.14	.07	.20	.14	.11	.457
		T8-2	.30	.09	.33	.36	.19	.074
D	無性生殖產生的子代表現出的性狀與親代是同樣的	T8-4	.37	.26	.40	.34	.33	.736
D	無性生殖產生的所有子代表現出的性狀是同樣的	T8-3	.71	.33	.75	.80	.66	.195

註：選擇題 17 題，以數字編號；是非題 11 大題，以 T 標示，每大題有 4 題。通則性定義、分類性理解和區辨性分析，分別以 G、C 和 D 表示。

\*  $p < .05$

# The Effects of Knowledge Sequences of Texts on Junior High School Students' Reading Comprehension of Genetics

Jen-Yi Wu \*    Chen-Yung Lin \*\*    Yung-Ta Chang \*\*\*

The Ministry of Education opened up the opportunity for private publishers to compile textbooks for compulsory education. How the knowledge composition of the text interacts with students' conceptual structure becomes an important issue. In this study, in terms of junior high school students' comprehension of genetics knowledge, a comparison was made among three texts, which have different genetics knowledge sequences parallel to related theories. The results of the present study indicated that the knowledge sequences of texts significantly influenced students' comprehension of genetics knowledge. The difference of comprehension mainly centers on the knowledge in the classified and discriminated scopes. Furthermore, the results revealed that genetics knowledge in the generalized scope is easier than knowledge in the classified and discriminated scopes. It was suggested that when science textbook is to be compiled for junior high school students, the knowledge sequences and the connections within concept scopes should be considered.

Keywords: texts, junior high school, genetics, reading comprehension, science textbook

\* Jen-Yi Wu, PhD student, Department of Life Science, National Taiwan Normal University

\*\* Chen-Yung Lin, Professor, Graduate Institute of Science Education, & Department of Life Science, National Taiwan Normal University

\*\*\* Yung-Ta Chang, Associate Professor, Department of Life Science, National Taiwan Normal University

---

Corresponding Author: Yung-Ta Chang, e-mail: [biofv031@ntnu.edu.tw](mailto:biofv031@ntnu.edu.tw)

