

# 教科書中科學知識架構之內容分析 ——以生殖與遺傳單元為例

李明玲 溫熾純\*

國立彰化師範大學 科學教育研究所

## 摘要

由於文本內的知識架構會影響學習成果，所以當教科書提供組織良好的科學知識架構時，則能促進學生學習。因此，確認教科書內這類架構是否具有完善的組織，是一件重要的任務。本研究首先根據巨觀結構理論、有意義學習理論(即與前導組體有關理論)，以及與學習主題有序排列觀點有關理論，發展出檢驗科學知識架構的準則。隨後研究者針對國中三版本科學教科書(A、B與C)中的生殖與遺傳學習範圍，進行內容分析。本研究發現三個版本的教科書：一、都具有明顯的巨觀結構；二、三版本教科書具有中等連結強度的外顯橫向架構；以及三、三版本教科書具有部分組織的內隱橫向結構。亦即三版本國中生物教科書內的科學知識架構之橫向結構組織雖然需要增強，但是仍提供明顯的縱向架構。所以，本研究認為教師在依賴科學教科書為主要教材，並且運用其內既有科學知識架構時，可以參照巨觀結構理論以及有意義學習理論等組織觀點，重新檢驗與建立適當的科學知識架構。

**關鍵詞：**巨觀結構、有意義的學習、科學知識架構、科學教科書、前導組體

## 壹、前言

科學教育研究與實務認為指導學生做筆記，並建立大綱、概念圖和模型，標明學習目標，或是引入輔導教師，可以幫助學生建立知識架構並促進基模的建立(Driscoll, 2005)。不過這些策略往往需要額外的學習或支援才能推動(Cronin, Dekhers, & Dunn, 1982; Huerta, Lara-Alecio, Tong, & Irby, 2014)。相對地，使用教科書去幫助學生建立科學知識架

構，則是較易取得且經濟的選擇。

雖然目前國內外科學教育研究，認為教科書內科學學習主題間的連結性不足，並且認為這會進一步地造成學生學到片段的科學知識(莊善媛、李隆盛, 2011; Mikkilä-Erdmann, 2002)，但是大部分的教師與學生仍然視教科書為既定教材(張芬芬、陳麗華、楊國揚, 2010; 劉新、張永達, 2003; Davis & Krajcik, 2005; Farragher & Yore, 1997)。這指出科學教科書是種具有相當影響教學與學習

\*通訊作者：溫熾純，mlwen@cc.ncue.edu.tw

(投稿日期：民國105年11月21日，修訂日期：民國106年3月29日，接受日期：民國106年4月6日)

的教材，不過其採用的內容組織與編排方式可能有待商榷，亦即科學教科書可能不具有完善組織的科學知識架構。

大致來說，國內教科書內容的組織與編排，會受到學習者認知特性、專家觀點、知識結構，或是其交互作用所主導。例如，有些教科書會根據科學概念具體與抽象特性，或是根據專家科學知識概念圖或樹狀分類圖，依序建立科學知識架構；以及有些教科書會在受到整體概念架構設定後，再逐步深入講述各個學習主題(宋曜廷、黃信樺、陳學志，2012；葉季昀，2006)。不過，目前國內科學教育研究較少探討教科書內知識架構的結構情形。

教科書設計通常包括三種設計(Chambliss & Calfee, 1998)：文本可理解性設計、課程設計，以及教學設計等設計。這三種設計都是用來指引教科書設計在特定主題(theme)下，選擇適切的要素群(element)，以及合理地建立這些要素群間的連結(linkage)。不過，不同設計下的主題、要素和連結之意義會有所不同。例如，對文本可理解性設計來說，主題會是某個熟悉內容，但是對課程設計和教學設計來說，主題卻是專家視鏡(lens)下的學習內容以及以學生為中心的教學活動(Chambliss & Calfee)。所以不同的教科書設計，會展現出不同的內容與編排特性。

由於對教科書內整體知識架構的探討，會涉及知識的組織與排列等，所以本研究採用文本可理解性設計，來瞭解教科書對知識結構的設計特性。在文本可理解性設計中，為建立整體架構，以增進文本知識結構的高度一致性，教科書設計會採用整體性的修辭模式(例如形成階層狀、網狀或是樹狀描述型的訊息組織形式)和功能性設計(例如形成引

言、標題或是次標題等)，來連結文本內的字詞、句子、段落等要素(Chambliss & Calfee, 1998)。

同樣地，在科學教科書設計中，文本的說明性文體內容部分(即一種要素)，也會根據巨觀結構(macrostructure，即一種連結方式)組織特性，形成縱向知識結構(Avraamidou & Osborne, 2009; Taylor, 1982; Van Dijk & Kintsch, 1983)；以及文本篇、章、小節或是次小節開端之敘述性文體引言部分(即一種要素)，會根據前導組體(advance organizer，即一種連結方式)組織特性，形成橫向知識結構(Ausubel, 1960; Taylor)。因此依賴教科書進行學習時，文本內明顯設計的巨觀結構可作為外顯且縱向的科學知識結構依據，以及前導組體結構可作為外顯且橫向的結構依據。

有鑑於此，本研究企圖在探討巨觀結構相關理論以及前導組體相關之有意義學習理論下，瞭解巨觀結構與前導組體特性，並建立對教科書中外顯橫向與縱向架構的分析依據。此外，基於重要科學概念群間的橫向連結也會影響教科書中的知識結構(Chambliss & Calfee, 1998)，亦即教材對科學概念的排列順序，也會影響學習中新知識與舊知識的結合(Ausubel, 1960; Ausubel & Fitzgerald, 1962; Elmesky, 2013)，因此，本研究亦一併探討與科學概念有序連結有關的學習理論，並據此建立分析教科書中內隱橫向架構的依據。

綜合上述，本研究採用巨觀結構有關理論、與前導組體有關之有意義學習理論，以及與新舊知識結合有關之學習理論，對國中教科書中重要但是不易學習的生殖與遺傳學單元(楊坤原、張賴妙理，2004；Elmesky, 2013; Knippels, Waarlo, & Boersma, 2005; Öztap, Özay, & Öztap, 2003)，作內容分析；並

且比較國內三個版本國中生物教科書中科學知識架構的組織情形。最後依據研究結果，提出相關建議。

## 貳、文獻探討

基於上述，本研究探討巨觀結構有關理論、與前導組體有關之有意義學習理論，以及與新舊知識結合有關之學習理論如下。

### 一、巨觀結構相關理論與研究

巨觀結構是種考量人類訊息處理系統，以及用來幫助讀者閱讀理解的說明性文本之修辭結構(Boscolo & Mason, 2003; Taylor, 1982; Van Dijk & Kintsch, 1983)。這種結構主要是在精簡訊息結構的意圖下，基於命題的語言性與邏輯性二者之語意關係所形成。因此當文本具有這樣的結構時，其文本庫(textbase)會由多項的巨觀與微觀結構所組成，以及會呈現層級且縮向頂點的形式。像是文本題目(topic)、主題(theme)、主旨(gist)、要點(upshot)和重點(point)等，就是巨觀結構；以及存在文本庫中最低層級位置且交互關連的命題，就是微觀結構(Van Dijk & Kintsch)。以一本書的內容來說，書名就是文本中最高階的巨觀結構單位，篇是次低階層的巨觀結構單位，依序下來章(chapter)、小節、次小節(subsection)、次次小節(sub-subsection)各是第三到第六階的巨觀結構單位，以及隨後多項交互關連的微觀命題(microproposition)則屬於最低階的巨觀結構單位。簡單地說，一本書的主標題與隨後的次標題都是構成較高階巨觀結構單位的巨觀命題(macroproposition)，最低層標題下的微觀命題群則是最低階的巨觀結構單位。這些巨觀命題的命名主要是依據「巨觀規則」

(macrorule)產生，也就是命名者在刪除無法詮釋其他命題的命題，或是選用可以概括其他命題或是命題組的命題下產生。換言之，這些巨觀命題是綜合微觀命題後所產生的巨觀結構單位(Van Dijk & Kintsch)。

在形成巨觀結構的過程中，當由文本庫下層往上層看時，文本會先形成局部的一致性內容結構，隨後在聚集形成整體的一致性內容結構；由文本庫上層往下層看時，文本則會先形成整體的一致性內容結構，再自整體結構中分離出多項局部的一致性內容結構(Boscolo & Mason, 2003)。這指出上層巨觀結構會在訊息屬性相似性下，經由分類形成其多項下層巨觀結構；以及相對應地，多項較下層巨觀結構會在訊息屬性相似性下，經由濃縮組織形成其上層巨觀結構。在這種語意組織作用下，文本訊息會逐漸地受到縮簡，並形成具有組織性的縱向知識結構。也就是說上下層巨觀結構間，呈現母集合與子集合相對關係、主從關係、以及上下位概念關係(Van Dijk & Kintsch, 1983)。依據這些關係，上層巨觀結構會成為代表其下層巨觀結構的訊息集合名稱，以及上下層巨觀結構間會呈現整體／部分關係，或是預期與推導關係(陳世文、楊文金，2009；Van Dijk & Kintsch)。在上下位概念的語意與組成關係下，下層節結構會呈現出與上層結構有關的種類、組成或是功用等命題或詞彙(陳世文、楊文金；Pearsall, Skipper, & Mintzes, 1997)。

由於這種修辭結構具有精簡訊息的功用，因此對於那些不熟悉閱讀材料中專業知識內容的生手(也就是低先備領域知識學生)之閱讀學習有所幫助。例如，McNamara (2001)在研究文本一致性對中高低細胞分裂領域先備知識大學生的閱讀學習影響時，發現具有明顯巨觀結構的高一致性文本與組織鬆散的



低一致性文本，會分別對不同先備知識程度學生產生不同的影響。也就是，McNamara發現高先備領域知識學生在閱讀低一致性文本後，會比閱讀高一致性文本，有較好的學習表現。但是，低先備領域知識學生在閱讀高一致性文本後，卻會比閱讀低一致性文本，有較好的學習表現。McNamara認為低先備知識學生會有這樣的學習成果，是因為高一致性文本呈現較多的概念關連性，也就是高一致性文本具有比較少的概念間的間隙 (conceptual gap)，所以導致低先備知識學習者不需要花費較多心力去推理，也促使高一致性文本成為比較容易瞭解的教材。因此，對學習者來說，無論是具有產生巨觀結構的能力，或是持有高度一致性巨觀結構的文本，都是很好的學習助力(Harsh & Mallory, 2013; McNamara)。不過基於國中階段學生不太具有建立巨觀結構的能力(Garner, 1985)，所以相較之下，教科書的巨觀結構設計更加重要。

有鑑於此，科學研究者認為基於文本高度一致性對學習的幫助，一本設計良好的教科書需要有訊息緊密組織的層級性巨觀結構。例如，Chambliss與Calfee (1989)在分析日本、新加坡和美國小學四年級生的自然教科書時，即是採用層級性巨觀結構，作為分析與評鑑這三本教材設計的主要檢驗規準。其研究結果顯示，三個國家對國小四年級自然教科書的結構編排是各有不同。Chambliss與Calfee指出依照書本原有章節順序，在整本書的層級上，新加坡教科書與美國教科書有較好的設計。也就是，新加坡教科書會先呈現生命科學與物理科學等兩大部分，再依序呈現其內相關章節；美國教科書會先呈現動物學、物理學、化學、天文學與植物學等五大部分，再依序呈現相關章節；但

是日本教科書並沒有層級性的巨觀結構，只是鬆散且夾雜地列出與植物學、天文學、動物學、物理學、地質學與化學等六大部分。至於在章節的兩種層級上，針對每版本中生命週期章節編排的研究分析，Chambliss與Calfee認為新加坡教科書的設計比較好。也就是，新加坡教科書會先呈現植物與動物兩部分，隨後在其下分別呈現豆類植物與秋葵，以及青蛙與蚊子等四小節，組織出巨觀結構形式；在蚊子小節中，則有順序地呈現卵、孑孓、蛹、孵化、成蟲以及生命史的再次開始等六個次小節，組織出線性連結結構。另外，美國教科書選取企鵝為主要素，隨後在其下呈現企鵝的冰上旅程、企鵝卵的發育，以及企鵝相關特性等三個小節；在企鵝的冰上旅程小節中，陳列出對企鵝的描述、其旅程特性，以及遷移情形等三個次小節。日本教科書則選取甘藍夜蛾為主要素，再有順序地呈現卵、幼蟲成長、蛹到成蟲，以及昆蟲身體結構等四個小節，組織出線性連結結構；在幼蟲成長小節中，呈現幼蟲與卵的觀察以及幼蟲與蛹的觀察等兩個次小節。所以Chambliss與Calfee認為，雖然每種版本教科書各具特色地選取不同知識為其內容範圍，但是一本好的教科書設計要具有修辭結構來組織複雜訊息。也就是，教科書要具有縱向層級性巨觀結構的強連結結構，或是具有橫向線性結構的弱連結結構，來增進文本的一致性。

因此，當科學教科書的說明性文體內容，呈現明確的上下位概念層級結構時，則表示該文本具有巨觀結構組織，即該文本具有良好的外顯縱向知識架構(Taylor, 1982)。

## 二、前導組體相關理論與研究

前導組體是基於有意義學習觀點發展而

來，並且廣泛運用在不同學科教學的一種訊息組織形式。例如，遺傳學、內分泌學、化學、地質學、材料學、宗教，以及歷史等學科，都會在教學活動初期，運用前導組體幫助學生學習(Mayer, 1979b; Taylor, 1982)。

根據Ausubel及其研究團隊(Ausubel, 1960; Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978)觀點，前導組體是根據層級性的認知結構所發展出來的一種認知學習策略。並且當文本具有這種組體時，承載此組體的段落會呈現出高度簡明性(abstractness)、一般性(generality)與涵蓋性(inclusiveness)的內容。換句話說，前導組體具有以下這些特徵：(一)是一種具有引導性說明功能的組織；(二)是一組簡單的訊息；(三)是一種具有提供新知識內要素間邏輯關係的架構；(四)是一種活化既有知識以及同化新教材脈絡的平臺(Ausubel; Mayer, 1979a)。所以在呈現新的知識內容之前，教材若能引入這類組體，可以先精簡陳述新知識，以及和已學習過的舊知識一起組織，幫助學生進行有意義的學習(Ausubel; Mayer, 1979b)。

在主張前導組體引入教學活動的學者專家中，Ausubel是首位的提倡者。在其有意義學習理論中，Ausubel (1960)指出當教學活動初期引入前導組體時，會對學習產生正向的影響。並且Ausubel認為閱讀理解不佳的學習者在學習新知識內容前，如果文本教材具有組織訊息架構功能的簡短引言，這類文本就會活化他們的先前知識，幫助建立先前知識與新知識間的連結關係，引導他們注意重要的知識，所以會進一步地促進學習者對新知識的學習表現和學習保留(Ausubel)。同樣地後繼研究(Esmaceli, Khademi-Ashkzari, Ebrahimi, & Hasanvandi, 2014)也支持這樣的觀點，並且指出前導組體結構除了幫助缺乏

必要先前知識(prerequisite knowledge)學習者的學習外，也會幫助一般學習者在面對結構不良文本學習時，對學習遷移表現(Mayer, 1979b)以及學習動機的提升。也就是說，在教學活動初期或是在文本教材前端處引入前導組體，是一種廣泛且有效的教學與學習策略。

依據表徵方式，一般可區分前導組體為兩大類：一種是文字式的前導組織，另一種是圖畫或圖表式的前導組織(李佳蓁、江秋樺，2008；霍秉坤、黃顯華，2000)。例如綜述、摘要、引言以及標題，是屬於文字式的前導組體；而概念圖、知識圖、流程圖，是屬於圖畫式的前導組體(李佳蓁、江秋樺；霍秉坤、黃顯華；Ausubel, 1960)。

因此，當科學教科書開端引言具有前導組體特性時，則該引言會呈現對學習者一般既有的舊知識、概念或經驗，以及隨後要學習的新知識或概念的略加闡述。換句話說，當引言具有這些特性時，則表示該引言是屬於前導組體引言。也就是，該引言提供了組織良好且外顯的橫向知識架構。

### 三、學習主題有序連結相關理論與研究

學習主題的有序連結，也是種基於有意義學習觀點發展而來的訊息組織形式。這種組織形式不在強調訊息的精簡組織，而在強調訊息先後呈現關係對學習的影響。這種組織形式不像前導組體一樣具有明確的組成要素(即對舊知識、概念或經驗，以及新知識和概念的略加闡述)，並且不像前導組體一樣會在文本中特別地呈現出來。不過這種組織和前導組體一樣，都是藉由學習者既有的知識或概念為定錨點，來幫助學習新知識或概念(Ausubel, 1960; Ausubel et al., 1978)。換

言之，有序連結的組織形式只是在陳述文字內容時，藉由不外顯的編排順序來呈現兩項訊息間的連結關係，幫助學習。所以，學習主題的有序連結，也是一種教科書功能性設計。

Ausubel等人(Ausubel, 1960; Ausubel et al., 1978)在採用有意義學習理論觀點的研究中發現，當學習者可以成功連結有順序關係的前後教材內容但不涉及實驗活動時，就會導致有意義學習的發生。例如，Ausubel與Fitzgerald (1962)在對大學生的閱讀理解研究中，發現當有順序地提供兩篇內分泌教材文本時，會幫助研究對象的學習表現。在這個研究中，當不具有先前知識的大學生順利閱讀第一篇短文(約1,400字)，並獲得其內閱讀第二篇短文(約1,600字)時所需要的基礎專業知識後，會在閱讀第二篇短文時有較好的學習表現。Ausubel與Fitzgerald還發現這些順利學習的學生，會在運用先前教材內容作為定錨點的認知策略下，成功地學習新知識內容。雖然Ausubel與Fitzgerald是有意地安排這兩篇教材的順序，但是對受試者而言順序的安排是非外顯的。因此，可以視文本提供的學習主題間之有序關係，為一種內隱的知識連結架構。

有序連結學習主題有助學習的觀點，也出現在訊息處理理論、基模理論以及建構理論等學習理論之中(Driscoll, 2005)。例如，訊息處理理論認為當學習發生時，學習者會選取(select)學習範圍內的特定新訊息，組織(organize)這些新訊息為一致性的結構，進而與其既有訊息整合(integrate)為一體(Miller, 1956)。基模理論認為良好的基模會幫助學習者有意義地獲得新知識，進而有較好的學習表現，以及正確與邏輯性的回憶；相對地，這些受到同化的新知識會具有較為穩定的

學習保留，以及原有基模也會受到改變(Liu, 2015)。建構理論認為當學習者主動獲取新知識時，會促使既有知識或經驗更為有意義(Von Glasersfeld, 1984)。雖然當學習發生時，訊息處理理論強調訊息的認知處理，基模理論強調原有基模與新知識間的互相影響，以及建構理論強調學習者對訊息連結的主動性，不過這三種學習理論和有意義學習理論都是支持獲取新知識時，舊有知識存在的必要性。換句話說，這些學習理論都認為知識的有序呈現會影響學習的發生。因此根據這些學習理論，當科學教科書設計強調有序連結學習主題時，會幫助學生的科學學習。

另外，有序連結學習主題有助學習的觀點，在近年來也受到與教學活動或是與學習進程(learning progression)相關的實徵研究結果支持。例如在與生殖和遺傳學習主題相關的研究中，Elmesky (2013)認為DNA學習主題分別是細胞分裂與減數分裂兩項學習主題的先前觀念(priority idea)，細胞分裂與減數分裂兩項學習主題是生殖學習主題的先前觀念，而且DNA學習主題也是性狀表現學習主題的先前觀念。其他研究(Lewis & Kattman, 2004; Williams, Montgomery, & Manokore, 2012)也提出學生在學習遺傳概念前，要先具備基因先前概念。Duncan, Castro-Faix與Choi (2016)也指出在學習孟德爾遺傳學實驗前，學生要先學習DNA與基因的結構與功能等主題。這些相關研究都指出科學學習主題順向編排，是種以學生學習為本位的教材設計觀點與教學策略，所以在編排生殖與遺傳學習教材的內容時，需要考量這些科學學習主題間的有序關係。

因此，當教科書有順序地呈現多項科學學習主題時，該文本會內隱地幫助學習者建立這些主題的認知結構，並進一步地促進有



意義認知處理的產生。換言之，教科書若採用這樣的內容編排，則顯示該文本即能提供良好橫向且內隱的知識架構。

綜合上述理論，本研究採用Van Dijk與Kintsch (1983)提出的縱向的巨觀結構修辭模式為架構基礎，加入前導組體與科學學習主題有序連結觀點，建立科學知識架構(圖1)，來呈現巨觀結構的縱向層級特性，以及呈現前導組體和科學學習主題有序連結的橫向連結特性。根據此架構，本研究試圖比較國內三版本生物教科書中，文本的科學知識架構，並提出三項待答問題：(一)這些文本是否具有巨觀結構修辭模式？(二)這些文本是否具有前導組體功能性設計？以及(三)這些文本是否會呈現出有序排列的科學學習主題？

## 參、研究方法

### 一、研究設計

本研究主要是依據圖1所呈現的架構，運用內容分析法，去探究國中生物教科書中的縱向與橫向結構組織。

### 二、資料來源、範圍與分析對象

本研究資料來自國內市占率前三家(以下匿名為A版、B版、C版)出版商100學年發行之《自然與生活科技領域教科書》第二冊第一章與第二章內容的生殖與遺傳部分。這些教科書是根據民國97年教育部所頒布「國民中小學九年一貫課程綱要」編輯而成。A版教科書生殖與遺傳範圍包括引言、解說科學

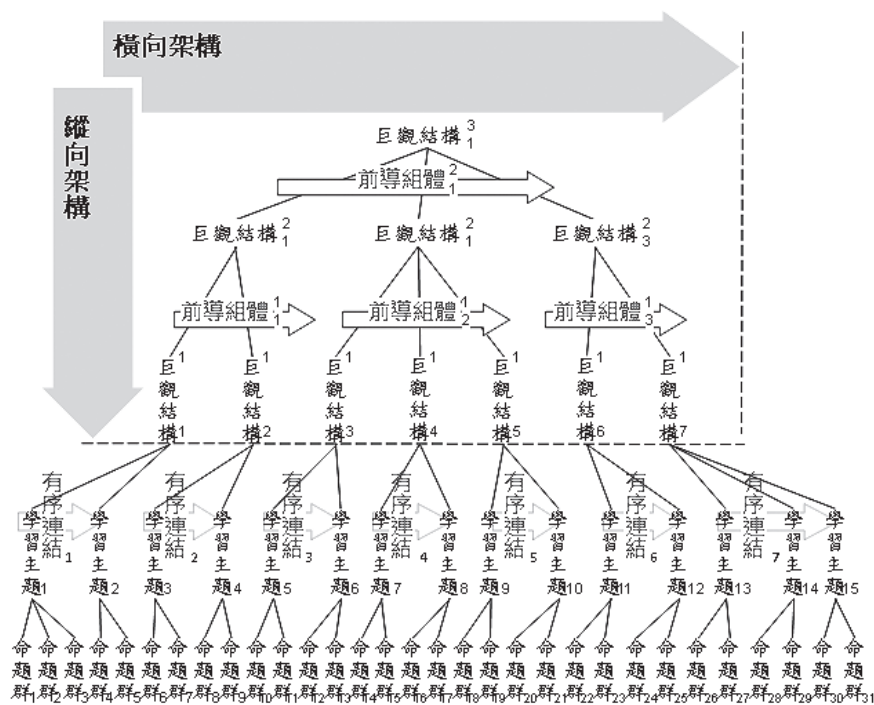


圖1：文本中的科學知識架構

註：縱向結構是由多項層級性巨觀結構所組織而成，橫向結構是由前導組體與學習主題有序連結所組織而成(巨觀結構與前導組體的上標表示所在的層級，數字愈高代表層級愈高；巨觀結構、前導組體、學習主題、有序連結，以及命題群的下標，表示一般序號)。

概念的本文、綱要、補充資料、例題、活動(即實驗觀察活動)、提問、隨堂筆記、重點整理、圖、表以及知識補給站等內容,共計58頁。B版教科書生殖與遺傳範圍包括引言、解說科學概念的本文、綱要、圖、表、知識快遞、動腦時間(即提問)、活動(即實驗觀察活動)、探索活動、重點整理、延伸閱讀,以及學習診斷,共計46頁。C版教科書生殖與遺傳範圍包括引言、warm up (即引言)、解說科學概念的本文、綱要、圖、表、小視窗(即補充資料與解釋名詞)、活動(即實驗觀察活動)、頭腦體操(即提問)、知識廣角(即延伸閱讀)、重點整理,以及小試身手(即考題),共計50頁。

本研究範圍主要包括引言與解說科學概念的本文,但不涉及實驗活動、補充資料、課後重點整理、測驗題目、圖片和其涵蓋文字,以及大綱等範圍。

進一步地,本研究會以文本中的章、小節、次小節(即主標題)、學習主題,以及命題等層級結構,作為檢驗是否具有外顯且縱向科學知識架構的分析對象。另外,本研究會以文本中章與小節開端處,並不在解釋或說明科學概念的段落(即引言),作為檢驗是否具有外顯且橫向科學知識架構的分析對象。所以引言可能只包括一個段落,也可能包括數個段落。次小節開端處雖然也會呈現引言,但因為有些次小節後的科學概念甚多(例如,B版開花植物的有性生殖次小節下面,會呈現花、萼片、花瓣、雄蕊、雌蕊、大量花粉、授粉、花粉管、子房、胚珠、果實、種子、種皮、胚、子葉等科學概念,見表1),這會造成次小節在形成前導組體時,不易一一呈現這些科學概念,所以次小節開端處引言並不在本研究分析範圍之內。最後,我們會以

文本中重要的新科學概念(即後續呈現的16項),作為檢驗是否具有內隱且橫向科學知識架構的分析對象。

### 三、科學知識架構的檢驗標準

#### (一)外顯且縱向之科學知識架構的檢驗標準

為檢驗外顯且縱向的科學知識架構,本研究採用巨觀結構的組成特性,作為內容分析教科書的依據。也就是,當文本具有章、小節、次小節(即主標題)、學習主題,以及命題等層級結構時,則認為教科書具有外顯且縱向的科學知識架構。

#### (二)外顯且橫向之科學知識架構的檢驗標準

為檢驗外顯且橫向的科學知識架構,本研究採用文字式前導組體之組成特性,作為內容分析教科書的依據。本研究以上述所說的學習者舊知識、新知識以及新知識群間關係闡述等前導組體組成三要素,作為檢驗引言是否具有外顯且橫向科學知識架構的判別依據。因此,首先本研究會檢驗引言內容是否呈現舊科學知識、舊科學概念或是一般生活經驗或常識,以便辨別是否具有前導組體要素之一。隨後,檢驗是否呈現其後要學習的新知識或科學概念群,以便辨別是否具有前導組體要素之二。最後,檢驗是否呈現這些新知識或新科學概念群間的粗略闡述,以便辨別是否具有前導組體要素之三。簡而言之,當引言具有舊科學知識、舊科學概念或是一般生活經驗,新知識或新科學概念群,及其間的粗略闡述時,則表示該引言具有前導組體的功能性設計。

其中,新舊科學知識與新舊科學概念的判別,是以在學習遺傳與生殖前是否是教科



表1：A、B與C三版本教科書內生殖與遺傳學習單元的文本巨觀層級排列，以及科學學習主題和科學概念的排列

A版	B版	C版
<b>第一章 生殖<sup>a</sup></b>		
<b>第一節 有性生殖<sup>b</sup></b> (有性生殖 <sup>c</sup> ，配子 <sup>d</sup> ，受精作用)，[體外受精與體內受精] <sup>e</sup> ，(體外受精，體內受精)，[卵生與胎生] (卵生，胎生)，[生殖行為]，(生殖行為)，[人類的生殖] (臍帶，胎盤，羊膜，羊水)，[植物的有性生殖]，(萼片，花瓣，雄蕊，雌蕊)	<b>第一節 生殖的基礎</b> [細胞分裂]，(細胞分裂，染色體，同源染色體)，[減數分裂]，(有性生殖，無性生殖，減數分裂，單套染色體，雙套染色體)	<b>第一節 細胞的分裂</b> (生殖)，[染色體及其重要性]，(染色體，DNA，同源染色體，單套染色體，雙套染色體)，[細胞分裂的意義]，(細胞分裂，減數分裂)，[細胞分裂的過程]，[減數分裂的意義]，(無性生殖，有性生殖)，[減數分裂的過程]
<b>第二節 無性生殖</b> (無性生殖)，[自然環境下的無性生殖方式]，[人為的無性生殖方式]	<b>第二節 無性生殖</b> (無性生殖，出芽生殖，分裂生殖，斷裂生殖，孢子繁殖，營養器官繁殖，組織培養)	<b>第二節 無性生殖</b> (無性生殖，營養器官，營養器官繁殖，組織培養，分裂生殖，出芽生殖，斷裂生殖，孢子繁殖)
<b>第三節 細胞分裂</b> [細胞分裂]，(細胞分裂，DNA與染色體，同源染色體)，[減數分裂]，(減數分裂，單套與雙套染色體)	<b>第三節 有性生殖</b> [動物的有性生殖]，(有性生殖 <sup>f</sup> ，配子形成，受精作用)， <u>受精的方式<sup>g</sup></u> ，(體外受精，體內受精)， <u>胚胎發育的方式</u> (胚胎，卵生，胎生)， <u>動物的繁殖行為</u> ，[開花植物的有性生殖]，(花，萼片，花瓣，雄蕊，雌蕊，大量花粉，授粉，花粉管，子房，胚珠，果實，種子，種皮，胚，子葉)，[無性生殖與有性生殖的特色]	<b>第三節 有性生殖</b> (有性生殖，受精作用，受精卵)，[動物受精過程發生的場所]，(體外受精，體內受精)，[動物受精卵發育的場所] (胚胎，卵生，子宮，胎生，輸卵管，胎盤，臍帶，羊膜，羊水)，[動物的生殖行為]，(生殖行為)，[開花植物的有性生殖]，(子房，胚珠，花粉粒，花粉管，種子，果實)
	<b>第四節 人類的生殖</b> (睪丸，卵巢，輸卵管，子宮，著床，臍帶，胎盤，羊膜，羊水，陣痛，陰道)	
<b>第二章 遺傳</b>		
<b>第一節 遺傳與基因</b> (性狀，遺傳)，[孟德爾的遺傳實驗] [棋盤方格法]，[基因與染色體]，(基因，等位基因，基因型與表現型)	<b>第一節 孟德爾的遺傳法則</b> (性狀，遺傳)，[孟德爾的實驗]，(顯性) 隱性，遺傳法則)，[棋盤方格法]	<b>第一節 孟德爾的遺傳法則</b> [孟德爾的遺傳法則]，(遺傳，自花授粉) 性狀，人工授粉，顯性，隱性，遺傳因子／等位基因)，[棋盤方格法]，(棋盤方格法)
<b>第二節 人類的遺傳</b> (遺傳)，[單基因與多基因遺傳]，[性別遺傳]，[人類基因組]	<b>第二節 基因與遺傳</b> (DNA，基因，等位基因，基因型，表現型)	<b>第二節 基因與遺傳</b> (基因，基因型，表現型)
<b>第三節 突變與遺傳諮詢</b> [突變的現象]，(突變)，[誘導突變的因子]，[人類常見的遺傳性疾病]，[性聯遺傳]，[遺傳諮詢]	<b>第三節 人類的遺傳</b> (單基因遺傳，多基因遺傳)，[ABO血型]，[性別遺傳]，(性染色體，XX，XY，體染色體)	<b>第三節 人類的遺傳</b> [單基因與多基因遺傳]，(單基因，多基因遺傳)，[ABO血型的遺傳]，[人類的性別遺傳]，(性染色體，體染色體)

表1：A、B與C三版本教科書內生殖與遺傳學習單元的文本巨觀層級排列，以及科學學習主題和科學概念的排列(續)

A版	B版	C版
第四節 生物技術 [生物技術的意義]，(生物技 術)，[複製動物]，(遺傳工程)， [基因轉殖技術]	第四節 突變 [突變與遺傳]，(突變)，[遺傳性疾 病]，(遺傳性疾病)	第四節 突變 [突變]，(突變，突變，人為突變)，[遺 傳諮詢]，(遺傳性疾病，遺傳諮詢中 心，優生保健門診，優生保健法，婚 前健康檢查，產前健康檢查，新生兒 篩檢)
	第五節 生物科技的應用 (基因轉殖，生物複製)	第五節 生物科技 (基因轉殖)

註：<sup>a</sup>、<sup>b</sup>、<sup>c</sup>和<sup>d</sup>分別是第一、第二、第三與第四層級的巨觀結構，亦即是教科書中的章、小節、主標題與次標題。

<sup>e</sup>粗黑字體的學術專有名詞，表示本研究中的科學學習主題，並且是教科書以粗體字來凸顯的科學概念。

<sup>d</sup>一般字體的學術專有名詞，表示教科書中以粗體字來凸顯的科學概念。

<sup>f</sup>斜體粗黑字體的學術專有名詞，表示本研究中的科學學習主題，但在教科書中該處並未使用粗體字予以凸顯。

書曾列出的內容為依據。例如，當教科書中出現隨後要學習的孟德爾遺傳法則時，本研究會視其為新科學知識。但是當教科書在隨後的另一小節中呈現孟德爾遺傳法則時，則本研究會視其為舊科學知識。對於一般生活經驗或常識的判別，本研究則採用城鄉地區學生大多會具有的經驗為推測依據；例如當教科書呈現對人類或動物親子外貌相似性的觀察描述時，則本研究會視其為一般生活經驗。但是當教科書呈現對果樹的無性生殖操作之觀察描述時，基於這種觀察需要特定觀察機會，所以本研究不視其為一般生活經驗或常識。

在檢驗新知識或科學概念群是否存在時，本研究會依據引言是否呈現其下一階層級名稱群為準，例如當章開端處引言呈現其後面所有小節名稱時，則表示該引言具有新知識或科學概念群。另外當引言會略加呈現對這些新知識或科學概念群間的連結闡述，則視為該引言內的前導組體設計會對新知識或科學概念群進行整合。

### (三)內隱且橫向之科學知識架的檢驗標準

為檢驗內隱且橫向的科學知識架構，本研究採用有序連結觀點的特性，作為內容分析教科書的依據。當文本內科學主題排序具有學習上的先後順序(在呈現某一新學習主題前，已經先解說該學習主題的先前新學習主題)時，則認為教科書具有內隱且橫向的科學知識架構。

為具體建立內隱且橫向的科學知識架構，本研究首先選取學習主題，隨後拆解這些學習主題，並對照Elmesky (2013)在遺傳與生殖學習進程的研究結果，建立本研究範圍內學習主題間的關連性與學習順序。以下詳述這些建立步驟。

#### 1. 選取學習主題

教科書會依據課綱主題(theme)及其內容，組織與編排科學知識架構。因此，本研究首先選取國民中小學九年一貫課程綱要中「自然與生活科技」學習領域之教材內容要項，共10項重要科學概念，作為涵蓋生殖與

遺傳學習內容的基礎依據，並作為本研究中的科學學習主題。其次，本研究參考楊坤原與張賴妙理(2004)的遺傳學概念診斷測驗試題細目表中的相關科學概念，以及Elmesky (2013)發展生殖與遺傳學學習進程課程的目的與其學習主題，總共形成16項學習主題(見附錄)。

## 2. 建立學習主題內的科學訊息圖

在形成16項學習主題後，本研究首先參考Campbell等(2008)編寫的大專生物用書中學習主題定義，並且依據「國民中小學九年一貫課程綱要」，刪除超越國中學習範圍之定義。此第八版大專生物用書歷經數十年編纂，以及累計不同生物專業領域專家近千人的審核(Campbell et al.)，其內容應屬可信。隨後為只保留各學習主題內必要訊息，本研究移動「同源染色體」(homologous chromosome)定義內與「等位基因」(allele)概念有關的內容，整合到「等位基因」定義內。基於國內三版本教科書中部分生殖與遺傳相關概念，侷限在以真核生物和雙套染色體為前提的介紹範圍，因此本研究按此界定學習主題的範圍。

此外，本研究發現16項學習內的中文名稱性狀與中文名稱特徵混淆，亦即性狀與特徵所對應的英文名稱混淆。例如在A、B與C版本中陳述的性狀是指character，並且表示character是指不同trait (特徵)的集合名稱。但是在國家教育研究院與生物學研究領域中，性狀可以是指character或是trait；亦即character與trait會一樣地被翻譯成性狀和特徵(國家教育研究院，2016；Meletiyou-Christou & Rhizopoulou, 2012)。基於科學教育領域遺傳學教學與學習研究中，character (有時會以characteristic取代)與trait都是受到重視的科學概念(楊坤原、張賴妙理，2004；Banet

& Ayuso, 2000; Elmesky, 2013)，以及前述因素，本研究認為trait定義會比character定義更具有科學訊息(參考Campbell et al., 2008)，所以在分析性狀科學學習主題的科學訊息時，採用trait為性狀學習主題的科學定義依據。

為建立這些學習主題內關係，本研究在標明學習主題所包括的核心科學概念(即具有生物專有名詞的概念)、含有生物專有名詞的科學命題、以及相關核心概念(參考Cronin et al., 1982)後，進一步形成16項學習主題內訊息關係圖(圖2)。這類訊息圖的組織會與概念圖相似，例如兩類圖片都是由概念及其關係組合而成，不過本研究所建立的訊息圖主要在探討概念間的連結關係，所以並不涉及上下位概念間的排序。

## 3. 建立學習主題間的關連性與學習順序

最後，本研究依據學習主題之定義是否包含另一學習主題名稱的連結關係，標示出科學知識訊息流向(指出學習主題的先後順序)，逐步建立學習主題間關係圖(圖2)與學習主題學習順序圖(圖3)。例如，遺傳主題的定義內容包括親代的性狀經生殖作用轉移到子代之陳述，這顯示有性生殖與無性生殖兩項主題會連結到遺傳主題(見圖2中的粗線)。由此可知，有性生殖與無性生殖兩項主題，是遺傳主題的先前概念(圖3)。

由於「生物技術」與「遺傳工程」兩項學習主題屬於應用性知識，並不屬於理論性知識，因此在圖2中，本研究直接採用粗灰虛線，標誌出此兩項學習主題是源自於理論性科學知識的延伸應用。另外，本研究先由主修生物學士學位與碩士學位的第一作者，建立學習主題內科學訊息圖、學習主題間的關係圖(圖2)以及學習主題的學習順序圖(圖2與3)，隨後邀請一名具有二十一年生物技術教



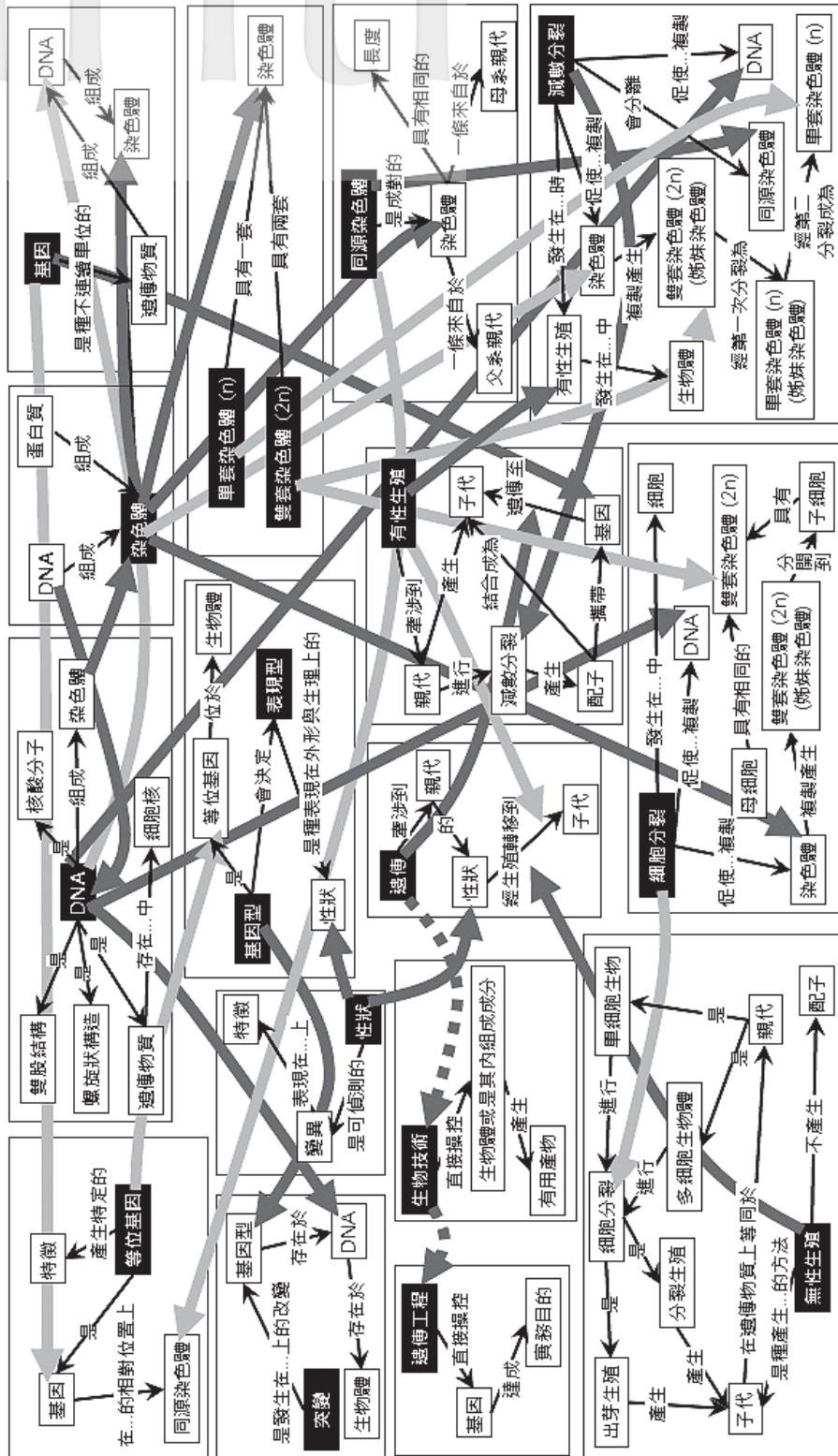


圖2：生殖與遺傳單元內學習主題間的訊息關係圖

註：細條實線代表學習主題內訊息流向；粗條實線與虛線分別代表涉及理論性與應用性科學知識之學習主題間訊息流向)

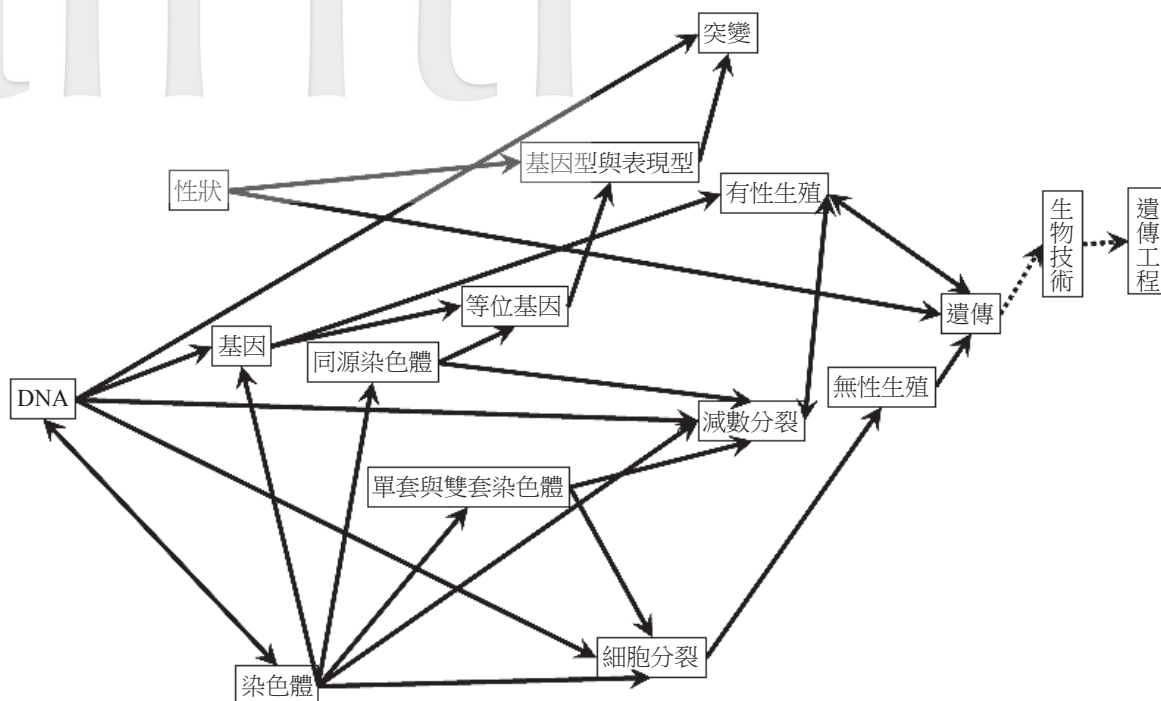


圖3：生殖與遺傳學習單元內科學學習主題的學習順序圖

學與研究經驗專長之大學教授擔任專家，協助確認與校正任務，並建立內容效度。在協助研究期間，該位專家先參與學習主題內科學訊息圖英文版內容的確認與校正任務，並在數週後再次進行此圖中文版內容的確認與校正任務。

#### 四、資料分析

首先，本研究邀請一名具有科學教育背景的教師與本研究第一作者，採用Penney, Norris, Phillips與Clark (2003)提出的文體分類方法，分別進行教科書內各段落說明性與敘述性文體的辨識。在文體分類過程中，(一)若文本內容在呈現或解釋事實時，本研究會歸類此段落為說明性文體；(二)若文本內容牽涉到角色、時間、或是事件順序等描述時，本研究會歸類這類段落為敘述性文體。並在

獨立分析後，兩位評分者具有相同的分類結果。

其次，本研究兩位作者採用內容分析法，依據說明性文本內容具有章、小節以及主標題等等層級結構之有無，判別該教科書是否具有巨觀結構修辭模式；以及依據本研究發展的學習主題間之關係架構(圖3)，檢驗教科書內科學學習主題的有序連結情形。並在獨立分析後，兩位評分者具有相同的分類結果。

隨後，本研究第一作者與上述之科學教育背景教師，依據敘述性段落具有新舊知識以及新知識群間闡述等內容之有無，針對引言，分別進行編碼。也就是，當引言具有舊知識、新知識，以及新知識群間粗略闡述時，則編碼此引言為前導組體引言；當引言只具有舊知識時，則編碼此引言為觸發興趣

引言；以及當引言只呈現新知識群，及其間粗略闡述時，則編碼此引言為大意引言。在這一階段，本研究內容分析法依循Rourke與Anderson (2004)提出之有效理論內容分析工具發展步驟，建立評分效度。這些步驟包括：(一)界定資料編碼之目的；(二)界定資料中受觀察行為所代表的構念架構；(三)回顧編碼類別與指示物；(四)進行預試；(五)發展出包含實施、編碼分類與詮釋說明之指引手冊。在這編碼任務中，兩位評分者間也具有良好的一致性信度(Kappa值 = 0.78)。

綜合上述，本研究確實收集到所分析的國內三家出版社教科書，所以具有「確實性」(credibility)；陳述分類依據在發展時所採用理論，以及分類依據細節，所以具有「可遷移性」(transferability)；陳述研究設計、資料收集、資料分析依據、資料分析等研究過程和決策之細節，所以具有「可靠性」(dependability)。此外，第一位作者反覆省思所建立分類依據與理論間的關連性外，也接受另一位作者對研究設計、資料收集、資料分析依據、資料分析等研究過程和決策細節之檢驗。上述這些研究行動都會減少本研究的主觀性，所以具有「可確認性」(confirmability)。因此，本研究符合Lincoln與Guba (1985)提出之質性研究所要求信效度之條件。

## 肆、研究發現

### 一、三版本教科書具有明顯的巨觀結構修辭模式，但是有些巨觀結構名稱的分類功能不彰或是排列不當

在內容分析教科書文本後，本研究整理三版本教科書內的巨觀結構(表1)，並且發現

三版本都明顯地呈現章、小節、主標題以及／或是次標題等文本巨觀結構。A版與C版都具有三層巨觀結構的修辭模式，B版則是具有四層巨觀結構的修辭模式。

不過，內容分析同時顯示三版本生物教科書在命名某些小節時，並沒有發揮巨觀結構名稱所具有的分類功能。也就是說，這些小節名稱與其下層的巨觀結構名稱，或是與其隨後的文本內容，並沒有母集合與子集合的關係。例如，A版在第二章第三節的突變與遺傳諮詢名稱下，呈現突變的現象、誘導突變的因子、人類常見的遺傳性疾病、性聯遺傳，以及遺傳諮詢等五項主標題(表1)。雖然突變名稱與突變的現象和誘導突變的因子兩項名稱之間，具有母集合與子集合的關係(即上下位概念關係)，以及遺傳諮詢名稱也與人類常見的遺傳性疾病、性聯遺傳和遺傳諮詢三項名稱之間，具有母集合與子集合的關係。但是突變的現象和誘導突變的因子兩項主標題，以及人類常見的遺傳性疾病、性聯遺傳和遺傳諮詢三項主標題之間，似乎沒有明顯的交集。換言之，突變與遺傳諮詢這一項巨觀結構名稱，在依據前述的巨觀結構規則與巨觀結構形成的特性下，可以獨立成為兩項巨觀結構。因此A版教科書選用的這一個小節名稱，並沒有明確地發揮巨觀結構名稱的分類功能。同樣地，這種情形也發生在B版與C版教科書第二章第四節的突變命名上面。

與A版相似，B版在突變小節名稱下，呈現突變與遺傳以及遺傳性疾病兩項主標題；C版在突變小節名稱下，呈現突變以及遺傳諮詢兩項主標題。基於遺傳性疾病概念(B版的主標題名稱)以及遺傳諮詢概念(C版的主標題名稱)都不屬於突變概念(B版與C版的小節名稱)的知識範圍，因此B版與C版教科書選用的



這一個小節名稱，也沒有明確地發揮巨觀結構名稱的分類功能。

此外，表1也指出三版本生物教科書在排列巨觀結構時，會呈現上下層級關係排列不當的現象，也就是母集合(上位概念)與子集合(下位概念)並不是分別位於上下層的巨觀結構修辭模式中。例如，B版在第二章第二節的人類的遺傳名稱(第二層的巨觀結構)下，呈現ABO血型(第三層的巨觀結構)以及性別遺傳(第三層的巨觀結構)等兩項主標題，並且在人類的遺傳名稱(第二層的巨觀結構)與ABO血型名稱(第三層的巨觀結構)之間呈現單基因遺傳概念名稱(第四層的巨觀結構)。基於ABO血型是屬於單基因遺傳的種類之一，以及依據上下層巨觀結構間具有母集合與子集合關係，因此ABO血型(第三層的巨觀結構)應當是單基因遺傳(第四層的巨觀結構)的下層巨觀結構，而不是其上層的巨觀結構。亦即B版並沒有依據巨觀結構的上下層級關係，適當地安排ABO血型與單基因遺傳兩項巨觀結構之層級位置。類似的現象也發生在C版教科書中(表1)。

還有生物教科書在排列縱向結構時，出現缺少一項巨觀結構的現象。例如，A版在第二章第二節的人類的遺傳名稱(第二層的巨觀結構)下，呈現單基因與多基因遺傳(第三層的巨觀結構)以及性別遺傳(第三層的巨觀結構)等兩項主標題(表1)。基於性別遺傳是屬於染色體遺傳形式的一種，因此相對於單基因與多基因遺傳(第三層的巨觀結構)，性別遺傳(第三層的巨觀結構)應當安排到其下一位階(第四層的巨觀結構)。A版教科書在巨觀結構層級安排時，缺少性別遺傳(第三層的巨觀結構)上一層的「染色體遺傳」巨觀結構。

C版在第二章第二節內的巨觀結構修辭模式上面，同時出現巨觀結構排列不當與缺

少一項巨觀結構的現象。C版在第二章第二節的人類的遺傳名稱(第二層的巨觀結構)下，呈現單基因與多基因遺傳(第三層的巨觀結構)、ABO血型的遺傳(第三層的巨觀結構)以及人類的性別遺傳(第三層的巨觀結構)等三項主標題(表1)。同樣地，基於ABO血型是屬於單基因遺傳的種類之一，因此依據上下位概念關係，這兩項巨觀結構不會在同一層級。也就是說，C版對ABO血型與單基因遺傳兩項巨觀結構的安排方式，與B版相同。兩版本都沒有依據巨觀結構的上下層級關係，適當地安排ABO血型(第三層的巨觀結構)與單基因遺傳(第三層的巨觀結構)兩項巨觀結構之層級位置。以及基於人類的性別遺傳(第三層的巨觀結構)是屬於染色體遺傳形式的一種，因此C版對人類的性別遺傳巨觀結構的安排方式，是與A版相同。亦即兩版本在安排巨觀結構層級時，沒有呈現性別遺傳(第三層的巨觀結構)上一層的「染色體遺傳」巨觀結構。

這些發現顯示，三版本教科書中的生殖與遺傳章節內容，具有明顯的巨觀結構修辭模式，但是有些巨觀結構名稱沒有發揮分類功能，有些排列的層級位置並不適當，以及有些受到遺漏。

## 二、三版本教科書具有部分的前導組體功能性設計

經由內容分析，本研究在A、B與C三版本每一章或是小節開端處，各發現4、6和10段引言。依據文獻探討，本研究原本僅界定前導組體引言，但是在資料分析過程中，陸續發現第二類的大意引言，以及第三類的觸發興趣引言。基於本研究旨在調查章節開端處引言，是否具有前導組體功能性設計，因此有些前導組體引言可能只包括部分新科學概念或知識群，以及只陳述部分的新科學概

念或知識群間關係。

根據引言特性分析下，本研究在B與C三版本中，分別發現1和4段觸發興趣引言；在C版內，發現兩段涵蓋大意引言；在A、B與C版內，各發現4、5和4段前導組體引言。例如本研究發現C版第一章第四節開端處引言，只在呈現舊觀察經驗，是屬於觸發興趣引言：

阿德的眼睛長得像爸爸，臉型長得像媽媽。請問：為什麼會這樣？(頁25)

以及本研究發現C版第二章第四節開端處引言，只針對新科學知識群加以描述，是屬於涵蓋大意引言：

美國遺傳學家莫根(T. H. Morgan, 1866-1945) (圖2-10)利用果蠅進行遺傳學實驗，他用X光照射野生種的紅眼果蠅，想知道果蠅的性狀會不會產生變化，努力了兩年之後，莫根終於得到一隻白眼果蠅(圖2-11)。想一想，除了X光之外，還有其他的因素可以使果蠅產生新的性狀嗎？」(頁54)

還有B版第二章開端處引言，除了呈現新舊科學知識(包括前一章的粗略內容)外，也

針對新科學知識略加闡述，是屬於跨章層級的前導組體引言：

長相相似的雙胞胎，總是特別容易引人注意，仔細比對他們外在的特徵，是不是幾乎一模一樣？父母細胞內的染色體會經由精卵結合後傳給下一代，雙胞胎是在卵受精後細胞分裂成兩個獨立的胚胎，各自發育而成的，因此才會這麼相似。

在本章中，我們將運用來自第一章所習得的知識，來學習孟德爾的遺傳法則以說明遺傳現象，並且能深入瞭解基因是怎樣遺傳到下一代的，又是如何影響外在的特徵呢？我們將會學習遺傳學的發展以及生物科技的應用。(頁31)

同樣地，三版本教科書在章開端處大多會呈現章層級的前導組體引言(表2)。例如A版第一章開端處引言：

生物的壽命長短雖然各有不同，但是終究都有死亡的時候，因此，必須藉由某種方式來繁殖後代，使種族得以不斷延續。生物繁殖後代的方式可以分為有性生殖和無性生

表2：A、B與C三版本教科書各層級內現有與預期前導組體的分布

層級	A版	B版	C版
第一章			
章層級	1	1	0
小節層級	0	1	1
第二章			
章層級	1	1 <sup>a</sup>	1
小節層級	2	2	2
預期建立的引言	9 (= 1 + 3 + 1 + 4)	11 (= 1 + 4 + 1 + 5)	10 (= 1 + 3 + 1 + 5)
引言呈現率(= 現有引言／預期建立的引言)	44.4% (= 4/9)	45.5% (= 5/11)	40.0% (= 4/10)

註：<sup>a</sup>此引言也是跨章引言。

殖。有性生殖通常須藉由配子的產生和結合，再發育成為新個體；而無性生殖是親代直接產生新的個體，沒有經過配子的結合。(頁7)

C版第二章第二節開端處引言，是屬於小節層級的前導組體引言：

大雄為幼犬找到父母後，也學習了孟德爾的遺傳法則，瞭解性狀是如何傳給後代。大雄很好奇，當年孟德爾是否知道遺傳因子是什麼物質？又位在什麼地方呢？(頁47)

基於章和小節開端處大多會呈現引言，所以這些引言都可以導入前導組體功能性設計。以A版為例，此版有第一章與第二章，就可以各加入一段引言，並建立為章層級的前導組體引言。並且這些章層級的前導組體引言，也可以在加入他章內容的簡單陳述後，同時成為跨章層級引言(如同上述的B版第二章開端處引言)。第一章有三個小節，第二章有四個小節，可以各加入一段引言。所以，當在這些章節開端處都呈現引言時，預期A版能建立出9段前導組體引言(表2)。同樣地，B版共有兩章，在章下各有四和五小節，所以預期B版能建立出11段前導組體引言。C版共有兩章，在章下各有三和五小節，所以預期C版能建立出10段前導組體引言。因此計算之後，如同表2顯示，A、B和C版中的生殖與遺傳學習範圍，最多呈現近半數的前導組體。

此外，本研究發現這些觸發興趣引言，會顯現出連結到學生興趣的戲劇性動詞用語(dramatic verb)，像是上述內容中的「請問：為什麼會這樣？」(C版，頁25)。以及前導組體引言也會出現這類動詞用語，像是「是不是幾乎一模一樣？」(B版，頁31)。

### 三、三版本教科書具有順向排列的學習主題，也具有部分逆向排列的學習主題

在依據圖3進行內容分析後，本研究發現教科書具有順向排列的學習主題。如同表1顯示，A版在第二章呈現基因→等位基因→基因型與表現型→突變等學習主題順序；B版在第二章呈現DNA→基因→等位基因→基因型→表現型→突變等學習主題順序；以及C版在第二章呈現基因→基因型→表現型→突變等學習主題順序。這些都與本研究建立的科學學習主題順序(即DNA→基因→等位基因→基因型與表現型→突變等學習主題順序，見圖3)相同。

另外，A版在第二章呈現性狀→遺傳→生物技術→遺傳工程等學習主題順序；以及B版在第二章呈現性狀→遺傳→基因轉殖→生物複製(即遺傳工程)等學習主題順序。這指出三版本教科書中的生殖與遺傳章節內容，會呈現順向排列的學習主題。

相對地，在依據圖3進行內容分析後，本研究發現教科書具有部分逆向排列的學習主題。如同表1顯示，A版在第一章呈現無性生殖→細胞分裂→DNA與染色體，和有性生殖→DNA與染色體→減數分裂等學習主題順序；以及B版在第一與第二章呈現細胞分裂→染色體→無性生殖→DNA，和染色體→有性生殖→減數分裂→DNA等學習主題順序(表1)。這些都與本研究建立的科學學習主題順序(即DNA→染色體→細胞分裂→無性生殖，染色體→DNA→細胞分裂→無性生殖，DNA→染色體→減數分裂→有性生殖，或是染色體→DNA→減數分裂→有性生殖等學習主題順序，見圖3)不同。

簡單來說，依據圖3中顯示的DNA，染色體，細胞分裂，減數分裂，無性生殖以及



有性生殖等主題的學習順序來看，DNA與染色體是最先教授的學習主題，無性生殖與有性生殖是最後教授的學習主題。但是，A版與B版在呈現這兩項主題學習順序時，都與圖3不同。

此外，A版與B版在第一章呈現的細胞分裂→同源染色體，和減數分裂→單套與雙套染色體學習主題順序，也都與圖3（即單套與雙套染色體→細胞分裂，單套與雙套染色體→減數分裂，以及同源染色體→減數分裂等學習順序）不同。

還有，C版在第二章呈現的等位基因與基因兩項學習主題順序（即等位基因→基因學習順序，見表1），也與本研究建立的科學學習主題順序（即基因→等位基因學習順序，見圖3）不同。

綜合上述有關學習主題順序之研究發現，這指出三版本教科書中的生殖與遺傳章節內容，會呈現順向排列的學習主題，也會呈現部分逆向排列的學習主題。

## 伍、討論、結論與建議

基於研究發現，本研究經由討論，提出三項結論以及建議如下。

### 一、雖然三版本教科書縱向架構具有部分鬆散的結構，不過仍然具有顯著的組織性

本研究發現一指出，三版本教科書中有些節次或標題名稱沒有發揮分類屬性，去標明隨後文本內容的多項科學學習主題特性；以及沒有運用文本基礎結構中的層級化功用，去形成科學概念間的分類與從屬關係。不過，三版本教科書生殖與遺傳學習範圍仍然具有明顯的巨觀結構修辭模式。這一研究

發現，與Taylor (1982)認為說明性文體科學教科書不具有很好層級結構的看法一致。因此整體來說，三版本教科書的生殖與遺傳學習範圍都具有組織性架構，但是需要調整或修改縱向結構。

針對此現象，本研究建議三版本教科書生殖與遺傳學習範圍在保留課程內的縱向架構設計之特性下，進行其小節或是標題命名時，要留意這些命名字詞所內含的語意，以及確認這些字詞對隨後文本內容具有的代表性功能。其次，對於小節或是標題名稱之命名，本研究建議不需要執著使用原有名稱。例如，Elmesky (2013)在生殖與遺傳學習進程的研究中，就是採用配子的產生名稱，來涵蓋減數分裂與有性生殖等學習主題。雖然國內生物教科書不太採用這項配子的產生作為標題名稱，但是它能與所涵蓋內容間產生邏輯性關係，並進一步發揮小節或是標題名稱對其後文本內容的代表性功用。

### 二、三版本教科書具有中等連結強度的外顯橫向架構

本研究發現二指出，相對於可形成引言的數量，三版本教科書中生殖與遺傳學習範圍，只呈現約半數的前導組體引言。本研究對教科書生殖與遺傳章節部分具有前導組體引言的發現，與許良榮研究團隊（林弘庭、許良榮，2006；許良榮、邱玉如，2003）對大專物理和自然科學概論兩類教科書的內容分析之研究結果一致。亦即研究結果都顯現，並非所有的科學教科書，都會呈現涵蓋大意引言或是跨水平層級引言形式的前導組體。

另外本研究發現，雖然三版本的章開端處大都會呈現章層級之前導組體引言，但是較少呈現跨章層級的前導組體引言。也就是，三版本生殖與遺傳兩單元都具有次高層

級(即章層級)的橫向結構,但是A版與C版本缺少最高層級(即跨章層級)的橫向架構。此外,並非所有的小節開端都會出現前導組體引言。因此,針對生殖與遺傳學習範圍,本研究認為三版本教科書具有中等連結強度的外顯橫向架構。

由於前導組體形式引言的功能,主要在扮演精簡告知隨後文本內容的角色,並非在強調隨後文本內容的排序,因此本研究建議撰寫跨水平層級引言時,可以注重該內容組織其後多項文本基礎結構層級名稱的完整性。例如,跨章引言內容要包括生殖與遺傳兩項章名稱,單一章引言(即跨小節引言)內容要包括該第一節到最後一節的名稱,如此原則性地撰寫引言。也就是說,在撰寫教科書引言時,主要是在編寫隨後的巨觀結構(即章名稱、小節名稱、主標題名稱,以及次標題名稱)。另外基於敘述性文體通常會採用故事語法作為寫作樣式與步驟的依據(許良榮, 1994; Taylor, 1982),因此本研究建議可以參考「目的—企圖—結果之順序」(goal-attempt-outcome sequence)的簡單故事語法(Black & Wilensky, 1979),來建立引言短文。例如在撰寫生殖與遺傳之跨章引言時,可以依據此簡單故事語法形成「在天擇壓力下,生物為延續種族(目的),因此會採用有性生殖或是無性生殖策略(企圖,即生殖概念),造成親代產生具有差異性或不具有差異性的子代(結果,即遺傳概念)」前導組體。

其次,本研究發現C版出現與其前導組體引言數量相同,但較其他版本多的觸發興趣引言。因為這些引言中出現的戲劇性動詞用語,是屬於教科書教學活動內的連接(connection)要素特性(Chambliss & Calfee, 1998),所以呈現觸發興趣引言的教科書也具有教學設計特性。由於本研究是採用文本

可理解性設計觀點中的連結特性,來檢視生物教科書中的科學知識架構,因此基於研究限制,僅能呈現此研究結果,以及無法有系統地詮釋此研究結果與教學活動設計間更深層的關連意義。不過,本研究發現前導組體引言內也會出現處發興趣引言內的戲劇性用語。這表示當前導組體引言具有戲劇性動詞用語時,該引言同時也是一種觸發興趣引言。相對地,這也表示當觸發興趣引言加入新科學知識或概念群等內容後,可以成為前導組體引言,一種具有更多功能的引言。

另外,基於國內教科書是根據課程綱要,再經由多位領域專家編纂而成,所以具有教科書課程設計中的專家視鏡特性(Chambliss & Calfee, 1998)。因此本研究結果顯示國內B與C版國中生物教科書(都具有前導組體與觸發興趣引言),涵蓋文本可理解性設計、課程設計和教學設計等三種設計;以及A版至少具有文本可理解性設計和課程設計等兩種設計。

### 三、三版本教科書具有部分組織的內隱橫向結構

本研究發現三顯示三版本教科書中的生殖與遺傳章節內容,會呈現順向排列的學習主題,以及呈現部分逆向排列的學習主題。因此,三版本教科書生殖與遺傳學習範圍具有部分組織的內隱橫向結構。

此外,基於上述文獻探討中新舊知識結合有助學習的觀點,本研究推測A版與B版教科書呈現的DNA、細胞分裂、減數分裂、無性生殖以及有性生殖等學習主題之逆向排列,可能會影響學習者的學習。以及三版本生物教科書呈現的其他學習主題(細胞分裂、同源染色體、減數分裂和單套與雙套染色體等學習主題,以及等位基因和基因等學習

主題)之逆向排列,也會影響學習。例如,A版教科書的第一章生殖,會選擇蘭花與金線蓮的組織培養,來介紹植物無性生殖概念的應用價值。由於植物組織培養牽涉到無性生殖概念,也牽涉到細胞分裂概念中保留原有特徵的知識,因此在學習植物組織培養知識時,需要已學習到無性生殖概念與細胞分裂概念。但是該版本教科書的第一章生殖內容,是呈現細胞分裂→無性生殖內隱橫向結構,也就是在陳述組織培養知識前,還未介紹細胞分裂概念。所以這樣的內隱橫向知識架構,可能會導致教科書在解說組織培養概念時,沒有提供學習者完整呈現相關的科學知識,進而影響學習。因此,本研究建議未來的實徵性研究可以進一步地驗證這樣的逆向排列對科學學習之影響。

還有基於本研究發現三,以及生殖和遺傳的學習進程與另有概念相關文獻,本研究建議將有關基因、DNA和染色體等屬於細胞內構造的學習主題,挪到生物教科書上冊第二章範圍(即A版的生物體的組成,B版的生物體的構造,以及C版的生物體的組成)內。並且在解說這些學習主題時,只關注在其結構與簡單功用,並不論及其參與的生理機制或過程(例如,減數分裂、細胞分裂,以及生

殖等學習主題)。這樣可以幫助學生在學習生殖與遺傳等抽象的生理機制或過程前,已經學習過或是學習好相關且必要的基因、DNA和染色體科學概念。進一步地,這樣的教材安排可以減少占用學習者學習生殖與遺傳兩個單元時的工作記憶區容量,也可以在同一學習單元中或是同一小節中,提供學習者更為完整的細胞結構知識。

最後,綜合上述三版本教科書縱橫向結構的組織特性,本研究顯示國內生物教科書生殖與遺傳學習範圍需要部分調整或改變其縱橫向科學知識架構內容,不過仍然具有基本的縱橫向科學知識架構。此外,本研究也顯示本研究結果除了可以提供科學教師引導生手學生建立更高一致性的科學知識架構外,同樣地也可以作為教科書採用文本可理解性設計時的參考依據,來提升科學教科書知識架構的一致性。

## 誌謝

本研究係由行政院科技部經費補助(NSC 100-2511-S-018 -013 -MY3, MOST 103-2511-S-018-005-MY3),並經兩位匿名審查委員提供寶貴建議,在此特致謝忱。

## 參考文獻

1. 宋曜廷、黃信樽、陳學志(2012)。能源與氣候變遷概念之內容分析：以自然與生活科技領域為例。*教科書研究*, 5(2), 1-30。
2. 李佳蓁、江秋樺(2008)。前導組體策略在學障學生閱讀理解之應用。*特教論壇*, 5, 43-56。
3. 林弘庭、許良榮(2006)。國內「大專物理教科書」之內容分析。*科學教育研究與發展季刊*, 42, 1-16。
4. 國家教育研究院(2016)。性狀。查詢日期：2016年1月9日,檢自：<http://terms.naer.edu.tw/search/?q=%E6%80%A7%E7%8B%80&field=ti&op=AND&match=&q=&field=ti&op=AND&order=&num=10&show=&page=&group=&heading=>。

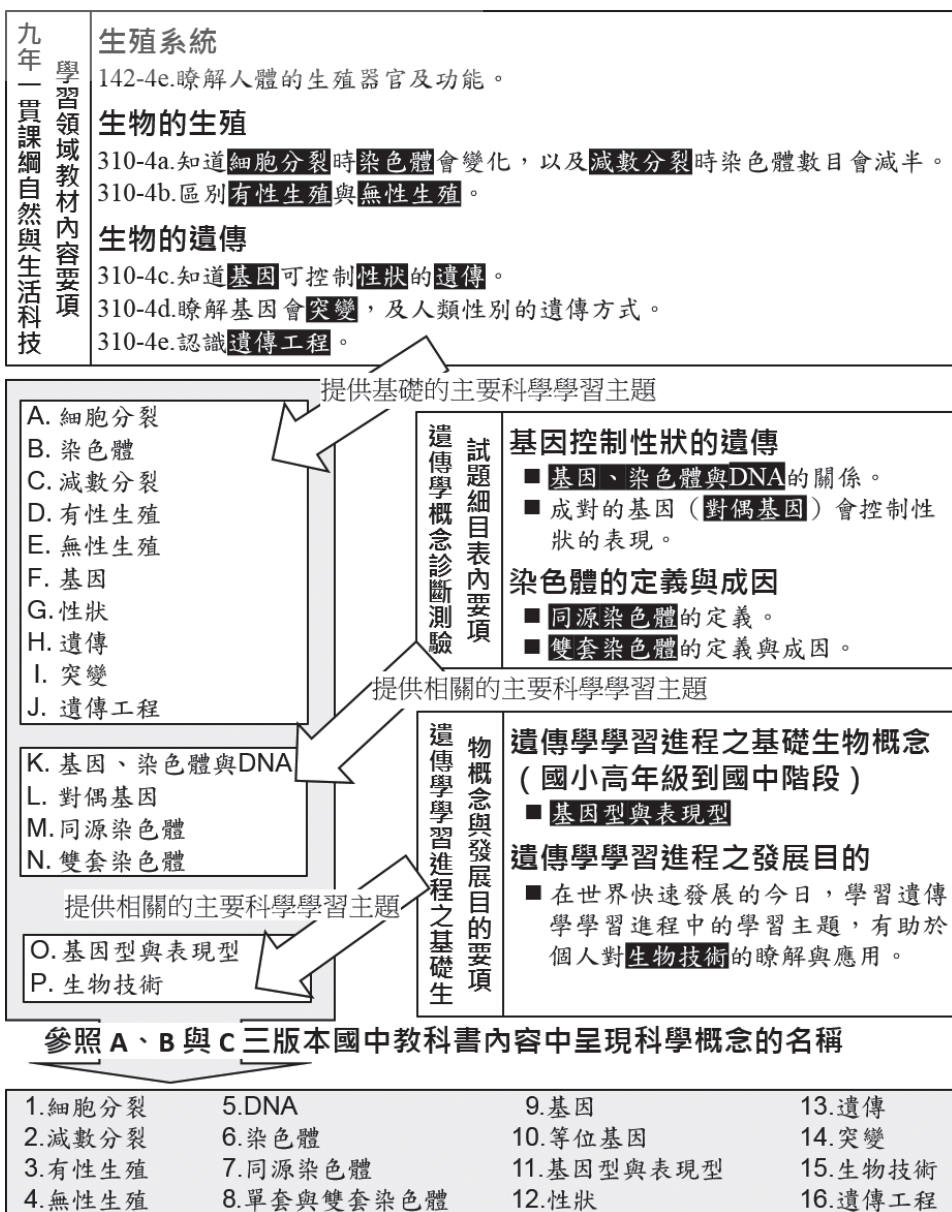


5. 張芬芬、陳麗華、楊國揚(2010)。臺灣九年一貫課程轉化之議題與因應。《教科書研究》，3(1)，1-40。
6. 莊善媛、李隆盛(2011)。國中自然與生活科技教師對部編本教科書之滿意度調查研究。《教科書研究》，4(1)，55-85。
7. 許良榮(1994)。科學課文的特性與學習。《科學教育月刊》，170，23-36。
8. 許良榮、邱玉如(2003)。國內大專用書「自然科學概論」內容之潛在問題分析。《科學教育月刊》，262，2-12。
9. 陳世文、楊文金(2009)。科學文本中陳述語意關係的語言特性：以國中階段科學教科書為例。《教育科學研究期刊》，54(4)，63-83。
10. 楊坤原、張賴妙理(2004)。發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念。《科學教育學刊》，12(1)，107-131。
11. 葉季昀(2006)。現行國中自然與生活科技領域教科書「神經系統」單元教材內容分析。《科學教育月刊》，286，24-39。
12. 劉新、張永達(2003)。九年一貫國中「自然與生活科技」領域課程發展、設計、評量之策略。《科學教育月刊》，260，41-51。
13. 霍秉坤、黃顯華(2000)。教科書前導組體設計之探討。《課程與教學季刊》，3(2)，95-114。
14. Ausubel, D. P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 51(5), 267-272.
15. Ausubel, D. P., & Fitzgerald, D. (1962). Organizer, general background, and antecedent learning variables in sequential verbal learning. *Journal of Educational Psychology*, 53(6), 243-249.
16. Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A Cognitive view* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.
17. Avraamidou, L., & Osborne, J. (2009). The role of narrative in communicating science. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1683-1707.
18. Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313-351.
19. Black, J. B., & Wilensky, R. (1979). An evaluation of story grammars. *Cognitive Science*, 3(3), 213-229.
20. Boscolo, P., & Mason, L. (2003). Topic knowledge, text coherence, and interest: How they interact in learning from instructional texts. *The Journal of Experimental Education*, 71(2), 126-148.
21. Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., et al. (2008). *Biology* (8th ed.). San Francisco, CA: Pearson.
22. Chambliss, M. J., & Calfee, R. C. (1989). Designing science textbooks to enhance student understanding. *Educational Psychologist*, 24(3), 307-322.

23. Chambliss, M. J., & Calfee, R. C. (1998). *Textbooks for learning: Nurturing children's minds*. Malden, MA: Blackwell.
24. Cronin, P. J., Dekkers, J., & Dunn, J. G. (1982). A procedure for using and evaluating concept maps. *Research in Science Education*, 12(1), 17-24.
25. Davis, E. A., & Krajcik, J. (2005). Designing educative curriculum materials to promote teacher learning. *Educational Researcher*, 34(3), 3-14.
26. Driscoll, M. P. (2005). *Psychology of learning for instruction* (3rd ed.). Boston, MA: Pearson.
27. Duncan, R. G., Castro-Faix, M., & Choi, J. (2016). Informing a learning progression in genetics: Which should be taught first, mendelian inheritance or the central dogma of molecular biology? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 445-472.
28. Elmesky, R. (2013). Building capacity in understanding foundational biology concepts: A K-12 learning progression in genetics informed by research on children's thinking and learning. *Research in Science Education*, 43(3), 1155-1175.
29. Esmaeili, N., Khademi-Ashkzari, M., Ebrahimi, M., & Hasanvandi, S. (2014). Examining educational achievement motivations changes in elementary school based on advance organizer teaching pattern. *Asian Journal of Medical and Pharmaceutical Researches*, 4(3), 149-155.
30. Farragher, P., & Yore, L. D. (1997). The effects of embedded monitoring and regulating devices on the achievement of high school students learning science from text. *School Science and Mathematics*, 97(2), 87-95.
31. Garner, R. (1985). Text summarization deficiencies among older students: Awareness or production ability? *American Educational Research Journal*, 22(4), 549-560.
32. Harsh, S., & Mallory, M. (2013). The future of education: Building capacity for success. *Delta Kappa Gamma Bulletin*, 80(1), 16-25.
33. Huerta, M., Lara-Alecio, R., Tong, F., & Irby, B. J. (2014). Developing and validating a science notebook rubric for fifth-grade non-mainstream students. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1849-1870.
34. Knippels, M.-C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112.
35. Lewis, J., & Kattman, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206.
36. Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage.
37. Liu, Y. (2015). An empirical study of schema theory and its role in reading comprehension. *Journal of Language Teaching and Research*, 6(6), 1349-1356.
38. Mayer, R. E. (1979a). Can advance organizers influence meaningful learning? *Review of educational research*, 49(2), 371-383.

39. Mayer, R. E. (1979b). Twenty years of research on advance organizers: Assimilation theory is still the best predictor of results. *Instructional Science*, 8(2), 133-167.
40. McNamara, D. S. (2001). Reading both high-coherence and low-coherence texts: Effects of text sequence and prior knowledge. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55(1), 51-62.
41. Meletioui-Christou, M.-S., & Rhizopoulou, S. (2012). Constraints of photosynthetic performance and water status of four evergreen species co-occurring under field conditions. *Botanical Studies*, 53(3), 325-334.
42. Mikkilä-Erdmann, M. (2002). Science learning through text: The effect of text design and text comprehension skills on conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 337-353). Norwell, MA: Kluwer Academic.
43. Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 101(2), 343-352.
44. Öztap, H., Özay, E., & Öztap, F. (2003). Teaching cell division to secondary school students: An investigation of difficulties experienced by Turkish teachers. *Journal of Biological Education*, 38(1), 13-15.
45. Pearsall, N. R., Skipper, J. E. J., & Mintzes, J. J. (1997). Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education*, 81(2), 193-215.
46. Penney, K., Norris, S. P., Phillips, L. M., & Clark, G. (2003). The anatomy of junior high school science textbooks: An analysis of textual characteristics and a comparison to media reports of science. *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education*, 3(4), 415-436.
47. Rourke, L., & Anderson, T. (2004). Validity in quantitative content analysis. *Educational Technology Research and Development*, 52(1), 5-18.
48. Taylor, B. M. (1982). Text structure and children's comprehension and memory for expository material. *Journal of Educational Psychology*, 74(3), 323-340.
49. Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
50. Von Glasersfeld, E. (1984). An introduction to radical constructivism. In P. Watzlawick (Ed.), *The invented reality: How do we know what we believe we know? Contributions to constructivism* (pp. 17-40). New York: Norton.
51. Williams, M., Montgomery, B. L., & Manokore, V. (2012). From phenotype to genotype: Exploring middle school students' understanding of genetic inheritance in a web-based environment. *The American Biology Teacher*, 74(1), 35-40.

## 附錄：選取16項學習主題的發展過程





# The Content Analysis of the Science Knowledge Framework in Textbooks: An Example of Reproduction and Heredity Units

Ming-Ling Lee and Meichun Lydia Wen\*

Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

## Abstract

Given the impact of science knowledge framework on learning outcomes, it would benefit students' science learning while textbooks could provide a well-organized framework. Therefore, it is an important task to examine whether science textbooks comprise this well-organized framework or not. Firstly, the current study developed the rubrics to examine the science knowledge framework in science textbooks depending on theories about the macrostructures, meaningful learning theories (i.e. the advanced organizer), and theories regarding learning topic sequence. Next, we conducted a content analysis of reproduction and heredity units in junior high school science textbooks (i.e. three books from A, B, and C Publishers). The findings of our study showed: 1. these textbooks display the explicit macrostructures; 2. these textbooks held explicit horizontal structures with a median degree of linkage; 3. these textbooks exhibited some degree of the organization in terms of implicit horizontal structures. Namely, the framework of three biology textbooks comprised somehow insufficient organized vertical and horizontal structures. Therefore, this study suggests that teachers should examine and modify the science knowledge framework in textbooks depending on theories about the macrostructures and the meaningful learning while they rely on textbooks and subsequently use the framework.

**Key words:** Macrostructure, Meaningful Learning, Science Knowledge Framework, Science Textbook, Advanced Organizer

---

\* Corresponding author: Meichun Lydia Wen, mlwen@cc.ncue.edu.tw