科學教育學刊
2009, 第十七卷第四期, 343-365

Chinese Journal of Science Education
2009, 17(4), 343-365

光合作用文本對學生概念學習的影響

葉佳承　楊文金　廖斌吟　賴廷倫　林芯聿
國立臺灣師範大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 97 年 9 月 30 日，修訂日期：98 年 7 月 17 日，接受日期：98 年 8 月 18 日）

摘要：本研究以光合作用單元文本為標的，旨在探討現行文本釐清學生迷思概念的效果；並在科學內容一致的情況下，探究依據漢語特性與科學語言所修改的文本是否能提昇釐清學生迷思概念的效果及促進新概念的學習。依據上述目的研究分成兩部份，第一部份隨機將三個現行文本分派給 288 位六年級學生閱讀，以學生閱讀前、後迷思概念改變情形評估現行文本的可讀性；第二部份亦隨機將三個現行版及三個對應的修改版分派給 711 位學生閱讀，利用學生閱讀理解測驗結果檢驗改寫的效果。研究發現現行文本分類/組成關係的論述內隱且不明確，造成學生某些迷思概念加深；而依據漢語及科學語言特性所改寫的文本較能協助讀者釐清迷思概念，且俾益其習得新的科學概念。

關鍵詞：系統功能語言學、科學文本、科學語言特徵、漢語特徵

壹、研究背景與目的

教科書是學生獲得知識的主要來源，也是課程與教學間的橋樑，更是師生對話的媒介（藍順德，2006）。教科書的編寫應有協助讀者消除既有迷思概念及習得新概念的功能。現行教科書係依據課程綱要而設計以供教師、學校選擇（吳俊憲、黃政傑，2003；周珮儀，2003）。目前的科學教科書，版本間相似度高，概念內容並沒有太大的差異，各版本每年都進行小幅度的編修：概念順序的調動、局部內容與說明範例的增刪、圖示內容的編排…等。Fang（2006）分析美國中學科學教科書的內容，發現科學文本有一些可能阻礙科學學習的語言特徵，如：技術詞彙、抽象名詞、名詞組的使用方式、省略（Ellipsis）、句子間的邏輯關係、被動句的使用等。在編寫教科書時鮮少考量這些語言特徵。

Halliday（2004）把個體語言的發展分成四階段：原型母語（protolanguage）、口語語法、讀寫能力的語法及最後的專業學科語言。而國、高中階段的科學教科書所扮演的角色就是帶領學生進入科學的專業語言當中。但學生常覺得科學是困難的學科，甚至隨著年齡增長而覺得科學愈來愈困難（楊文金，1998a，1998b；Simpson & Oliver, 1985）。

學者認為科學學習之所以困難，在於科學教科書所使用的是一種形式特殊而嚴謹的科學語言（Graesser, Leon, & Jose, 2002; Wellington & Osborne, 2001）。Lemke（1990）認為學習科學就是學習如何談科學，而要學習談科學就必須經由閱讀及書寫科學來練習、熟悉科學語言。由此看來，科學的學習就是科學語言的學習；其中，教科書文本是提供科學語言學習的重要媒介。提供能呈現科學語言特性的科學文本，不只有助益於學生科學概念的學習，也可以幫助學生習得適當的科學論述方式（Shanahan, 2004）。至於適當的科學論述將在理論背景中討論。

我國的科學教科書在12年級以下都是以漢語寫成，因此分析或編寫科學文本時，漢語特徵的考量是必要的。楊文金、陳世文、李哲迪、任宗浩與古智雄（2008）比較漢、英語觀念物理論述時，發現漢語特徵對「專家」級的讀者也會造成不必要的理解困難，例如斷詞的歧異、零代詞的使用、名詞組的結構等。由此可知，學生在學習科學時，並不是直接學習科學語言，而是得經由漢語才能習得。因此，漢語的特徵在構作漢語科學文本時是必須詳加考查的重要項目之一。

光合作用單元是生物科學中常造成學習困難的主題之一，主要原因在於學生對於「植物行光合作用的原料」、「消耗及產生的氣體」和「植物與能量之間的關係」等概念不清楚（Simpson & Arnold, 1982）。上述造成學生學習困難的原因，都涉及光合作用中原料、產物、能量之間的分類或組成關係，亦即要學會光合作用就是學會上述物件的分類或組成關係。為此，本研究將聚焦於光合作用的分類或組成關係的論述。

教科書做為媒介科學的主要載體，我們期望這個媒介能夠減少讀者的迷思概念與提昇科學概念理解。然而 Beaty（1996）發現國小教科書中潛藏許多迷思概念；相同地，Herron（1996）也指出教科書所使用的語言也是造成學生迷思概念的來源之一。也就是說，如果不考究其論述方式的適切性，科學教科書不但不能促進學生對科學的理解，反而可能加深既有的迷思概念。因此，對於科學文本可讀性的評估，Norris 與 Phillips（2003）認為應該由那些還不瞭解該學科的初學者來決定。綜而言之，要瞭解一個文本的論述是否適切，方法之一就是讓將學習該文本的學習者來閱讀，並檢驗其閱讀理解的成果。

本研究旨在探討現行教科書釐清學生迷思概念的效果；並在科學內容一致的情況下，探究依據漢語特性與科學語言所改編的文本是否能提昇釐清學生迷思概念的效果與新概念的學習。

貳、理論背景

本段落將說明本研究改寫文本的理論依據，包括漢語特性及科學語言特性等二部份，茲分別說明如下：

一、漢語特性

(一)斷詞歧異

漢語與拼音語言在文字的呈現方式上有很大的不同。例如：1.拼音語言的一個單字就是一個獨立的詞，但漢語的一個詞可能是單字詞、雙字詞、或多字詞；2.與拼音語言不同，漢語不具詞間空格；3.漢語相鄰字之間有相互競爭成詞的現象（洪緯玲，2006）。基於上述特性，漢語讀者在閱讀時可能會得到錯誤的詞彙組合；這種斷詞方式不一的現象就是所謂的「斷詞歧異」。洪緯玲（2006）與周婉綺（2007）以問卷調查國一學生的斷詞歧異之研究發現，斷詞歧異對於初學學生

的閱讀理解會有相當程度的影響。

斷詞歧異在科學教科書相當常見，例如：

(a)光反應中會利用吸收來的太陽能將水分解產生氧氣和能量。

其中，光反應所利用的是「太陽」或是「太陽能」，端賴讀者的斷詞而定。雖然把詞彙斷成「利用吸收來的太陽能將…」時，可能產生「到底是太陽的什麼屬性被吸收利用」的問題，但句(a)中的這兩種斷詞都是合理而有意義的，這對學生的閱讀理解較易產生混淆。句(a)的後半段還有：「將水分解產生氧氣和能量」，也有兩種可能的斷詞：將「水」「分解」產生氧氣和能量，或是：將「水分」「解」產生氧氣和能量。雖然把詞彙斷成後者，有經驗的讀者可能發現「解」似乎無法獨立而具有意義的單獨存在，但對沒有經驗的初學者來說，可能要花相當的閱讀時間來判斷這種斷詞的合適性。

(二)零代詞現象

漢語除了上述的特色之外，還有因為前後文脈絡而把應該出現在句子中作為主語或賓語的名詞/組省略，這種在句中被省略不提的名詞/組被稱為零代詞（zero anaphora）（趙元任，1968/呂叔湘譯，1979）。上述句(a)同樣有零代詞的現象。

句(a)一開始就沒有主詞，只出現「光反應中」用來指涉「分解產生」反應發生的地點，而「會利用吸收來的太陽能將水分解產生氧氣和能量」的動作者（主語）則被省略。這就是漢語中的零代詞現象，可標記為句(b)：

(b)光反應中 Ø 會利用吸收來的太陽能將水分解產生氧氣和能量。

句(b)中的 Ø 代表的是零代詞出現的位置。要理解句(b)被省略的成份時，如果無法找到相對應的成份，將會使生物知識未豐的初學者感到困惑。要還原句(b)中的 Ø，只能依靠專業知識的教師，以生物科的學科概念切入，才能讓學生理解吸收太陽能的動作者是葉綠素，亦即在 Ø 處省略了葉綠素。

由此看來，文本的作者及擁有專業知識的教師可以瞭解句子中被省略的成份，其瞭解乃來自作者與教師的專業知識，並非文本中的論述；文本論述中所預留的語言訊息，對於缺乏專業知識的學習者而言是極為重要的。由此可預見零代詞現象對於學生閱讀理解科學文本的可能影響。

二、科學語言特性

(一)名詞組隱含分類

科學論述為了清楚地定義或描述某一事件或事物，都會使用名詞組（Fang, 2006）。依據程琪龍（1994）對名詞組的定義：所謂的名詞組是由修飾語加上中心詞所構成的。Halliday（1993）指出名詞組的分類潛勢：名詞組的角色除了精確陳述所欲描述的事物之外，同時也說明其他類別的存在，亦即，名詞組具有分類的功能。「綠色植物」這個名詞組除了限定所指為綠色的植物外，還隱含著尚有「非綠色」的植物。其中，「綠色」為修飾語，而「植物」為這個名詞組的中心詞。名詞組的這種分類潛勢稱為隱含分類架構。

Lai 與 Yang（2007）以國中、高中及大學生為對象對名詞組的分類潛勢進行研究，發現國中學生不易察覺名詞組隱含的分類，大學生則傾向於將名詞組理解為一種分類關係。Yeh, Yang, Lin 與 Lai（2008）對七年級學生閱讀光合作用單元所進行的研究，發現學生傾向於把名詞組的修飾語當作形容詞（不具分類意義）與將之視為具隱含分類詞的比例約為4：6。以科學文本的功能來看，不論學生是否瞭解名詞組隱含的分類架構，文本的論述都應謹慎使用名詞組，才能讓讀者正確解讀文本。

(二)分類或組成的論述

說明自然世界中物件的分類和組成關係是科學文本傳達科學世界觀的重要功能。為達成分類關係或部分整體關係的論述，科學文本必須使用適當的語言資源；例如「A 是一種 B」與「A 是 B 的一部分」分別說明了 A 和 B 間的分類及組成關係。

1.外顯或內隱的分類/組成論述

語言所提供用以體現物件間分類與組成關係的方式，有些很容易被解讀為說明物件間的分類或組成關係，稱為外顯的分類/組成論述；有些則相對不易，稱為內隱的分類/組成論述。外顯的分類/組成論述包括「分為、由…組成、是…一種、是…一部分、有、含有、合成、分解…等」；內隱的分類/組成論述則包括「例如、諸如…」等連接詞甚至是「—」（破折號）、「；」（分號）等標點符號（陳世文，2007；楊文金，2007）。

有些內隱的分類/組成論述則省略上述的資源，而以事物之間的關聯來說明事物的分類，例如某版本的論述為：

> 醣類、脂類、蛋白質能提供細胞所需的能量，核酸是細胞內遺傳物質的重要成分，維生素、礦物質和水使得細胞能維持正常的代謝作用。

這段文中說明三個種類的物質與細胞的關係，第一種是提供細胞所需的能量之物質；第二種是細胞內遺傳物質的重要成分；第三種是可使得細胞維持正常代謝作用的物質。文中沒有使用「分為」、「由…組成」等分類組成的論述，亦沒有使用連接詞或標點符號，只藉由這些物件在細胞內的功能來表達分類關係。

2.明確與模糊的分類/組成論述

有些論述明確地專指為分類論述（例如「是…一種」）或組成論述（例如「是…一部分」），稱為明確的分類/組成論述；有些論述所指為分類或組成關係，則需視脈絡而定（例如「有」），稱為模糊的分類/組成論述。科學文本使用這些說明分類或組成關係時，必須考慮所選擇的論述方式是否明確，才能幫助讀者瞭解文本的意涵。

參、研究設計

本研究以光合作用單元文本為標的，探討現行教科書釐清學生迷思概念的效果；並在科學內容一致的情況下，探究依據漢語特性與科學語言所改編的文本是否能提昇釐清學生迷思概念的效果與新概念的學習。基於上述目的，本研究討論的閱讀理解包含兩個問題，其一為即將升上七年級的六年級學生閱讀現行版本教科書前、後的迷思概念改變情形為何？其二為學生閱讀修改文本及現行版本後之閱讀理解有何差異？本節首先說明文本分析的方法；接著說明標的文本的選擇與調動；再闡述根據前述之漢語與科學語言特性所進行的文本建構，舉例說明改寫前後文本的差異；最後說明研究工具、設計和資料分析方法。

一、文本分析方法

為了系統地分析科學文本，本研究採用雪梨學派的系統功能語言學（Systemic Functional Linguistics，以下簡稱 SFL）（胡壯麟、朱永生、張德祿與李戰子，2005；Halliday & Matthiessen, 2004; Martin, Matthiessen, & Painter, 1997; O'Halloran, 2005; Unsworth, 2001）做為分析文本的架構。SFL 除適合漢、英語文本分析之外，其對於科學語言的分析尤為重要，且已逐漸獲得科學教育學者的重視（Fang, 2005, 2006; Norris & Philips, 2003;

Schlepegrell, 2004）。

系統功能語言學文本分析的基本單位是小句，一個小句代表作者所要傳達的一個事件。也就是說，事件是意義的基本單位；小句是事件的語言表徵，而事件則是小句的意義內涵，此二者互為表裡。判斷小句的要素有：一、小句表達完整的意思；二、小句具有概念、人際及語篇功能；三、小句是以單一過程為核心的單位（李哲迪，2006）。亦即，小句是具有單一過程且表達完整意思的單位。在文本中，結合兩個或兩個以上互相關連的小句成為小句組，進而組成一個句子、段落、以至整個文本。而小句則由各種成分組成：參與者、過程、環境成分、連接詞及人際關係等。參與者是事件中的主角，由名詞（組）來體現；過程是事件中的「發生」（happening），由動詞（組）來體現；環境成分說明事件發生的時間、空間等要素，由介詞片語來體現；連接詞將小句聯結成小句組，用以說明事件間的邏輯關係；人際關係則說明事件發生的機率、肯/否定等程度，以形容詞及副詞片語來體現（李哲迪，2006；林文杰、楊文金，2008）。上述對於小句內各種成分所進行的分析，實際上結合了 SFL 的概念功能及人際功能的分析原則，在此將上述的分析稱為小句成分分析。以現行某版本的論述為例：

[1]醣類、脂類、蛋白質能提供細胞所需的能量，[2]核酸是細胞內遺傳物質的重要成分，[3]維生素、礦物質和水使得細胞能維持正常的代謝作用。

此段論述是一個文本句（又稱句子），是作者運用「。」「？」及「！」等標點符號所表達的一個完整的想法或概念，文本句可由一個小句或兩個小句（含）以上的小句組所組成，上述的文本句包含三個小句。表1為這三個小句的成分分析。

完成小句成分分析後，就能從小句的參與者找到名詞組，找出名詞組後就可以檢視這些名詞組是否具有分類的意義，例如小句1中的「細胞所需的能量」，可檢視有無「非細胞所需的能量」的類別，以判斷是否具有分類的意義。從小句的過程可判斷體現的是什麼樣的分類/組成關係，小句1~3所使用的過程分別為「提供」、「是」、「使得…維持」，其中「是」為關係過程詞，常被用來說明外顯但模糊的分類/組成關係；而「提供」及「使得…維持」體現的是內隱的分類/組成關係。

以小句3的分析看來，句中出現了兩個過程：「使得」與「維持」，其中「使得」是聯繫「肇因者（維生素、礦物質和水）」與「動作者（細胞）」之間的過程；而「維持」則是聯繫「動作者」與「目標（正常的代謝作用）」之間的過程，這兩個過程都是主要過程，且這兩個過程必須合併使用才能使小句具備完整意義，因此視為一個小句，相關的細節詳

表 1：小句成分分析說明

	主位		述位				
小句 1	醣類、酯類、蛋白質	能	提供	細胞所需的能量，			
成份	參與者	人際關係	過程	參與者			
小句 2	核酸		是	細胞內遺傳物質的重要成分，			
成份	參與者		過程	參與者			
小句 3	維生素、礦物質和水		使得	細胞	能	維持	正常代謝作用。
成份	參與者		過程 [1]	參與者	人際關係	過程 [2]	參與者

見楊文金與陳世文（2008）與蔡佩君（2009）。

本研究利用 SFL 分析語篇功能的主/述位（Theme/Rheme）分析，以瞭解文本的分類/組成關係的訊息如何傳遞。語法結構上，主/述位分析是以小句中的第一個主要過程為分界，主要過程之前稱為主位，主要過程所帶領的其他小句成分合稱述位；若從訊息的傳遞來看，主位通常代表已知訊息，而述位的訊息通常是作者想告訴讀者的新知。藉由主/述位分析，可瞭解訊息如何在文本中傳遞；由於主/述位是以過程作為區分點，從過程前、後判斷是否有參與者被省略，即可判斷是否具有零代詞現象。

說明研究結果時，除了小句成分分析外，亦使用分類/組成關係圖來輔助說明分析結果。依據小句成分及主/述位分析結果所繪製的分類/組成關係圖，每個細格呈現每個小句所對應的分類/組成關係，並依據回答某題目所需的訊息，標示出不同版本所呈現的分類/組成關係及相對應的訊息距離。圖1為文本分析及分類/組成關係圖的相關符號說明。

二、標的文本的選擇與調動

本研究選擇市佔率較高的三個版本（H、K 和 N 版）作為研究的文本，分析三版本教科書光合作用單元的概念內容，可區分成兩部份，一是三個版本共同主題，這三個主題又可細分為九個小主題，其中食物所含營養

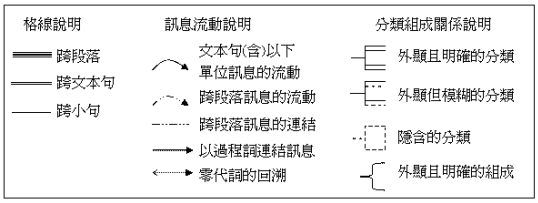


圖 1：文本分析及分類組成關係圖示說明

素及營養素所含熱量兩個小主題因與光合作用較無關聯，因此不列入研究範圍，其餘七個共同小主題則為研究範圍。其二，現行版本依據其論述需要而特有的1~2個主題，這些特定小主題不予任何修改，並排除在閱讀理解測驗範圍之外，詳見表2。

此外，為保持各版本概念內容的一致性，N 與 K 版部份內容安排順序有經過調動。將 N 版本4-1養分類別和植物的關係主題移至3-1光合作用單元之前，使其位置與 H 及 K 版本相同；而 K 版4-2對於氣孔功能之論述，也移至3-3葉的構造主題中，使其位置與 H 及 N 版本相同。

此外，雖然科學教科書是多模態（multimodality）的，包含了文字、圖像、表、照片…等內容（Guo, 2004; Unsworth, 2001）。限於篇幅與研究旨趣，本研究聚焦於課文中的文字表徵，對於其他表徵或表徵之間的轉換問題未於此討論。

表2呈現 H、K、N 三個版本的共同主題及特有主題，三個現行版之間的小句數差異約從17.7% 到50.8% 之間，字數差異約從8.3% 到32.7% 之間，各版本間的差異相當大。反黑部份為對應 H、K、N 修改版本小句數與字數，將於下一小節說明。

三、文本分析與改寫

本研究文本改寫主要依據漢語與科學語言特徵，並配合相關的實徵研究結果（周婉綺，2007；洪緯玲，2006；許慶堂，2007；陳世文，2007）進行修改。修改的原則歸納成四部份，包括避免斷詞歧異、還原或回溯零代詞、不具分類意義的名詞組拆解、分類/組成關係的外顯化與明確化等。以下分別說明之。

1.斷詞歧異的避免

以 H 版的論述「有些植物在表皮組織外面

表 2：各版本小句數與字數之對應比較

	主題	小主題	H	D_H	K	D_K	N	D_N
共同主題	植物與養分	養分類別和植物的關係	5/105	6/134	6/112	6/134	7/136	6/134
		行光合作用場所	11/158	14/186	12/167	14/186	16/220	14/186
		食物所含營養素[a]	3/60	3/60	5/81	5/81	9/127	9/127
		營養素所含熱量[a]	11/193	11/193	14/184	14/184	8/111	8/111
	葉的構造	角質層	2/28	2/21	2/18	2/21	2/31	2/21
		保衛細胞	2/38	2/26	2/34	2/26	3/36	2/26
		表皮與氣孔	5/78	5/71	7/105	5/71	5/68	5/71
	光合作用過程與產物	光合作用過程	15/228	16/243	14/218	16/243	20/288	16/243
		光合作用產物	4/69	6/107	4/66	6/107	8/108	6/107
版本特有主題		自營與異營生物	7/85	7/85	----	----	----	----
		營養素的功能	----	----	11/119	11/119	----	----
		病原體定義	----	----	2/32	2/32	----	----
		葉脈與植物種類	----	----	----	----	9/101	9/101
		植物與土壤之關係	----	----	----	----	11/157	11/157
	總小句數		65	72	79	83	98	88
	小句數差異[b]		10.8%		5.1%		-10.2%	
	總字數		1042	1126	1136	1204	1383	1284
	字數差異[c]		8.1%		6.0%		-7.2%	

[a]為三個版本都有的內容，但與光合作用較無關聯，因此不列入研究範圍；空格內的數字為「小句數/字數」，----為缺少的主題；[b]小句數差異 =（現行版本小句數-修改版本小句數）/現行版本小句數，正值表示修改後小句數增加，負值表示修改後小句數減少；[c]字數差異 =（現行版本字數-修改版本字數）/現行版本字數，正值表示修改後字數增加，負值表示修改後字數變少。

具有角質層」為例，此論述可被斷成「有些 植物 在 表皮組織 外 面具 有 角質層」或是「有些 植物 在 表皮組織 外面 具有 角質層」兩種方式。若把詞彙斷成「有些 植物 在 表皮組織 外 面具 有 角質層」，則可能會產生「什麼的面具會有角質層」的疑問；亦可能會產生「面具」有角質層，而非表皮組織外有角質層的理解。因此改編成「有些植物表皮外面有角質層」以避免斷詞歧異。

而 N 版本亦有「葉綠體內的葉綠素能捕捉光能」之論述，此論述可被斷成「葉綠體 內 的 葉綠素 能 捕捉 光能」或「葉綠體 內 的 葉綠素能 捕捉 光能」兩種，若把詞彙斷成後者，則會產生「葉綠素能是什麼樣的能量」的疑問，為此，改編成「葉綠素於吸收光能後」，以避免斷詞歧異。

2.還原或回溯零代詞

依據許慶堂（2007）以科學教科書的零代詞進行研究，發現承前一句主語與承前一句賓語的零代詞形式，較容易讓學生正確地找出指涉對象。依據上述研究成果，改寫時盡量使用「承前省略」的型式，並讓零代詞與指涉對象間保持較近距離。如 N 版光反應論述為：

> 葉綠體吸收光能後，$Ø_1$將水分解產生氧氣，$Ø_2$並將光能貯存起來，$Ø_3$以供暗反應物質的合成。

其中 $Ø_1$省略的主詞是「吸收光能後的葉

綠體」，還原這個主詞需要將前一小句的訊息予以重組，不屬於簡單承前省略的零代詞；而 $Ø_2$省略的主詞為「NADPH」；$Ø_3$省略的主詞是指「被貯存起來的物質及光能的轉化物」。$Ø_2$與 $Ø_3$既不是承前也不是蒙後的零代詞，亦無法直接從文本脈絡中找到相對應的訊息，必須依據學科知識才能瞭解 $Ø_2$與 $Ø_3$所指涉的對象。

依據九年一貫課程的規劃，七年級學生並不需要學習何謂 NADPH，為說明光反應的過程，而使用了零代詞來取代。這也使得讀者無法得知被零代的詞為何。因此改寫成：「光反應中，葉綠素吸收光能，$Ø_4$將水分解為氧氣，以便 $Ø_5$合成某種高能物質」，以「高能物質」來取代 NADPH，簡單地處理零代詞無法還原的問題。上述的句子中，$Ø_4$與 $Ø_1$一樣代表著「吸收光能的葉綠素」；而 $Ø_5$則是指「葉綠素」。除了減少零代詞的使用外，使用的零代詞亦涉及較簡單的回溯對象，以利學生的概念理解。

3.不具分類意義之名詞組的拆解

針對各版本使用的不具隱含分類之名詞組，在不影響語意的情況下重新改寫，使得改寫版的名詞組都具有隱含分類的意涵。例如：把「防止水分散失的角質層」改寫成「角質層可防止水分散失」以避免讓學生誤以為有「不能防止水分散失的角質層」的類別；同理，把「透明的表皮細胞」改寫成「表層細胞排列緊密且透明、無色」；把「成對的保衛細胞」改寫成「每個氣孔都由兩個保衛細胞所組成」…等。由於大部份的名詞組被改寫後會轉變為小句（組）的形式，也是造成改寫版與其他三個版本之間小句數及字數差異的來源之一。

4.分類/組成關係的外顯化與明確化

陳世文（2007）以問卷調查國、高中學生及科學教師對於不同分類/組成關係論述的理解情形，發現使用「過程+修辭」等外顯的方式來論述，能更清楚地讓學生理解分類/組成關係。因此對分類/組成關係的修改，主要原則是將現行文本的論述以更外顯、更明確的方式來改寫。N 版論述營養素的分類如表3。

小句前的號碼依序為段落-文本句-小句，例如1-3-1是指第一個段落的第三個文本句的第一個小句，依此類推。N 版使用四個小句來說明營養素的分類，小句1-3-1及1-4-2的過程分別為「包括」、「是」，所體現的是外顯但模糊的分類關係，小句1-4-1及1-4-3則是用「提供」及「使得…維持」來說明「醣類、脂類、蛋白質」及「維生素、礦物質和水」二種不同功能的物質，屬於內隱的分類關係。為了使營養素的分類關係更為外顯且明確，改寫如表4。

表3：N版營養素的分類之論述

主位			述位	
1-3-1	食物中所含的營養素		包括	醣類、酯質、蛋白質、核酸、維生素、礦物質和水等。
成份	參與者		過程	參與者
1-4-1	醣類、酯質、蛋白質	能	提供	細胞所需的能量，
成份	參與者	人際關係	過程	參與者
1-4-2	核酸		是	細胞內遺傳物質的重要成分，
成份	參與者		過程	參與者
1-4-3	維生素、礦物質和水		使得	細胞 能 維持 正常的代謝作用。
成份	參與者		過程[1]	參與者 人際關係 過程[2] 參與者

表 4：改寫版營養素的分類之論述

	主位		述位	
2-2-1	營養素	又	稱為	養分，
成份	參與者	人際關係	過程	參與者
2-2-2	依據是否能提供細胞能量	而	分為	兩類：
成份	環境成份	連接詞	過程	參與者
2-2-3	第一類的養分	能	提供	細胞所需的能量，如醣類、酯質、蛋白質；
成份	參與者	人際關係	過程	參與者
2-2-4	第二類的養分 雖然	不能	提供	細胞能量，
成份	參與者 連接詞	人際關係	過程	參與者
2-2-5	但 對於細胞的正常代謝、生長與發育		也是	不可或缺，如維生素、礦物質和水。
成份	連接詞 環境成份		過程	人際關係 參與者

小句2-2-1使用「稱為」作過程連結營養素與養分，說明兩者之間的等同關係；小句2-2-2則是使用「**分為**」作過程，並加上「**兩類**」為修飾語，使之成為外顯且明確的分類關係論述；而小句2-2-3及2-2-4主位的參與者分別為「第一類的養分」及「第二類的養分」，清楚說明接下來要談論的是第一類養分及第二類養分，以外顯且明確的方式論述營養素的類別。

5.改寫前、後文本的比較

配合 H、K 及 N 版本的修改版本分別為 D_H、D_K 及 D_N 版，合稱為 D 版。現行版本與對應版本間的修改幅度如表2所示，結果顯示各對應版本的修改的範圍在11% 以內，比現行各版本間的小句數及字數的差異都還要小。

從語言的角度來看，科學概念是藉由科學內容詞來體現的，不同版本論述相同的科學概念時應具備相同的科學內容詞，本研究比較現行版與改寫版使用的科學內容詞是否相同來說明科學內容的一致性。從 SFL 的理論來看，文本中的詞彙主要分為兩類，一類是內容詞（content words），包含名詞、動詞、形容詞及副詞等，另一類是功能詞（function words），包含限定詞、介詞、連接詞及代名詞等（Halliday, 1989; Unsworth, 2001）。有關內容詞與功能詞的相關論文參見李世文與陳秋梅（1993）、翁育誠（2004）與黃湘菱（2006）之研究。其中內容詞可再分為科學內容詞及一般內容詞，本研究界定的科學內容詞是以自然與生活科技課本中所出現的粗體字及索引內所列舉的專有詞彙作為判定科學內容詞的標準，其餘內容詞則歸入一般內容詞。

若比較各版本的科學內容詞、一般內容詞及功能詞，D 版本特有的一般內容詞有9個，包括：運用、發生、部位、得到、常見、高能物質、為、依據（名詞）、多餘；及9個功能詞，包括：給、留待、某、於、其中、依據（介詞）、自行、如、地。H 和 K 兩個版本論及暗反應的促發者時使用「酵素」此一科學內容詞，然而 N 版在光合作用單元並無使用「酵素」一詞，此差異為現行版本間因論述需要所產生，並非改寫時所添增，因此 D 版的改寫過程中沒有增加新的科學內容詞，即可說明改寫版與現行版之間科學內容的一致性。而出現「酵素」一詞的測驗試題主要測驗的是暗反應發生的場所，並非測驗學生是否瞭解「酵素」之意義，因此其效應不列入考量。

五、測驗工具

本研究測驗工具之設計聚焦於學生對文本中呈現的分類/組成關係論述之理解，為了正確回答測驗題目，學生須從散落在文本中的分類/組成關係關聯起來，這些散落在文本中的分類/組成關係範圍可能從**名詞組**、**小句**、**小句組（文本句）**、**文本句間**甚至到**段落間**，端視版本的論述方式而定。在此將學生回答測驗題目時必須參照的上述五種範圍稱為五種**語言單位**，例如學生要回答「土壤不提供植物能量」這個題目時，閱讀現行版本的學生就需要整合散落在段落間的訊息才能正確回答，亦即閱讀現行版本的學生要正確回答「土壤不提供植物能量」之問題，就涉及段落間的語言單位。為說明測驗題目與涉及的語言單位間的關係，並瞭解每個測驗題目於改寫前、後版本所涉及的語言單位變化，本研究的雙向細目表將以測驗題目及改寫前、後所涉及的語言單位間的關係來說明。

表5將 H、K 及 N 版本的論述統稱為現行版本(T)論述，而將 D_H、D_K 及 D_N 版本的論述合稱為改寫版本(D)論述。將現行版本內隱或模糊的分類/組成關係論述修改成外顯或明確的分類/組成論述之結果，不必然有語言單位的改變，有些修改前、後的語言單位是相同的，但呈現的分類/組成關係變得外顯或明確，這類的修改有10題；其餘的修改則涉及語言單位的改變。其中不具分類意義的名詞組被拆解成小句或小句組的單位，零代詞及外顯/明確化分類/組成關係的改寫則成為小句或小句組。

表6為修改前、後語言單位的分布情形，顯示現行版本的讀者，要正確回答題目的分類/組成關係，需閱讀小句組（不含）以上的語言單位佔超過一半；而閱讀改寫版本的讀者，要正確回答題目的分類/組成關係，大都只需從小句組及小句取得訊息即可。

本研究的施測問卷依據題目的來源可區分成兩個分測驗，第一個分測驗為光合作用迷思概念題13題。迷思概念題目的發展主要是參照國內、外光合作用單元的迷思概念研究成果篩選而來（吳麗娟，2002；林家平，2001；郭惠芳，2002；廖彩良，2006；Simpson & Arnold, 1982）。其題目的形式1~9題為是非題（共9題），10~13題為選擇題（共4題）。迷思概念題目用於第一部份的研究，以瞭解學生閱讀各現行版本前、後迷思概念的改變情形，信度為0.73。第二個分測驗為光合作用重要概念理解題12題，題目是針對上述光合作用三個主題的七個共同小主題的重要概念及參照坊間相關題庫編寫而成，題 A~E 為是非題（共5題），F~L 為選擇題（共7題）信度為0.78。兩個分測驗的題目合計25題，經試測（樣本219人）後整份閱讀理解問卷的信度為0.77，供第二部份的研究使用，以瞭解學生閱讀不同版本教科書之閱讀理解差異。

表5中不同的字體代表不同的主題；反黑為答對率下降之題目；底線為答對率提高且達顯著差異之題目。而括號內的數字如表註所示，至於更詳細的內容，將於研究發現的第二小節說明。

六、研究設計與分析

本研究以即將畢業進入七年級的六年級學生為研究對象。依據前述研究目的本研究區分成兩部份，第一部份讓288位學生填寫迷思概念分測驗問卷，於一週後將三個版本教科書隨機分派給學生閱讀，並於閱讀期間進行後測，以瞭解學生閱讀現行版本前、後迷思概念改變情形。由於研究的旨趣在瞭解學生閱讀理解表現，以評估文本的可讀性，

表 5：題目與改寫前、後語言單位變化之雙向細目表

	D 段落間	D 文本句間	D 小句組	D 小句	D 名詞組
T 段落間	5 氣孔不吸水(.44/.48/.04) 6 光合作用主要產物不是氧(.34/.32/-.02) 12 光反應所需要的水是根吸收的(.42/.51/.09)		1 土壤不提供植物能量(.12/.21/.09) 3 水和礦物質不提供能量(.14/.19/.05) I 暗反應發生於葉綠體中(.49/.54/.05) L 葡萄糖可以合成蛋白質和脂質(.59/.63/.04)	2 植物製造有能量的養分(.23/.31/.08) A 有些葉子表皮外有角質層(.41/.63/.22)	
T 文本句間		9 氧氣不由二氧化碳轉換而來(.17/.21/.04) K 光合作用先釋放氧氣再消耗二氧化碳(.17/.23/.06)	F 營養素分類的依據[a](.52/.65/.13)	10 綠色部位都可行光合作用[a](.23/.54/.31)	
T 小句組			H 角質層有防止水分散失的功能(.71/.69/-.02) 7 暗反應不一定要在黑暗中進(.70/.80/.10) 8 蛋白質和脂質不是為了貯存(.24/.28/.04)	4 植物不吸收土壤(.60/.66/.06) G 有些植物具有角質層[a](.28/.46/.18) J 光反應提供能量和物質給暗反應(.27/.45/.18)	
T 小句			D 葉子的功能是行光合作用(.65/.69/.04)	11 光合作用產生的氧氣是水分解的(.25/.29/.04) 13 暗反應產生的水是二氧化碳分解的(.40/.44/.04)	
T 名詞組			B 表皮細胞是透明的(.52/.63/.11)	C 保衛細胞是成對的(.55/.62/.07) E 有些保衛細胞是半月形(.37/.42/.05)	

T 為現行版本、D 為改寫版本；1~13 為迷思概念分測驗之題目、A~L 則為重要概念分測驗之題目；細明體為植物與養分主題、標楷體為葉的構造主題、正體為光合作用與產物主題、反黑為答對率下降之題目、底線為答對率提高且達顯著差異之題目；括號裡面的數字依序為（現行版答對率/修改版答對率/修改版-現行版答對率）；[a]為各版本論述所涉及的語言單位不同，因而採各版本語言單位的眾數做為代表。

並非測驗學生的記憶力，因此學生於後測作答期間可翻看文本內容。測得的結果以成對樣本 *t* 檢定檢驗閱讀前、後的閱讀理解差異。

第二部份則聚焦於修改版本是否比現行版本更能促進學生迷思概念的釐清與新概念的學習，因此使用由迷思概念及重要概念題所組成的整份問卷進行施測。同樣以隨機方式將六個版本的教科書分配給711位學生閱讀，並於閱讀期間進行測驗，學生作答時，亦可翻看文本取得作答所需訊息。測得結果

表 6：修改前、後語言單位的分布情形

	段落間	文本句間	小句組	小句	名詞組
現行版	9	4	6	3	3
改寫版	3	2	10	10	

以獨立樣本 *t* 檢定比較閱讀不同版本的效應。圖2為本研究兩部份之研究設計圖。

肆、研究發現

本節依據兩部份的研究說明研究發現。首先呈現閱讀現行版本教科書的學生，在迷思概念分測驗前、後測的表現，並以小句成分分析、主/述位分析及分類/組成關係圖說明造成學生迷思概念改變情形；其次說明學生閱讀現行版本及修改版本的閱讀理解差異。

一、現行版本的閱讀理解效應

(一)閱讀現行版本前後之閱讀理解改變

從功能上來看，科學教科書至少應具備釐清學生迷思概念的功能。從第一部份的整體結果來看，閱讀現行版本對學生的迷思概念情形並不如預期（答對率由29.2%~31.5%變成28.4%~29.9%）。此一結果顯示現行版本對即將進入七年級的學生而言，藉由閱讀現行版本來釐清迷思概念的效果不甚理想。

表7所示為學生閱讀三個現行版本迷思概念分測驗前、後測結果。整體來看，閱讀 H 版及 K 版學生的答對率分別下降3% 及2.5%，其中 H 版答對率下降達顯著差異，而閱讀 N 版學生的答對率上升0.7%，效果並不顯著。

由進、退步的題數來看，閱讀 H 版的學生進步2題、退步3題，總分退步達顯著差異，效果量 *Cohen's d* = -0.259。閱讀 K 版的學生進步1題、退步2題，總分退步未達顯著。閱讀 N 版的學生進步3題、退步3題，總分進步未達顯著。由此看來，閱讀現行版本可改善學生的某些迷思概念，但同時亦會加深另一些迷思概念。這個結果與 Herron（1996）認為教科書亦可能是學生迷思概念來源之一的想法一致。

(二)造成迷思概念改變的各版本論述

如前所述，學生要正確回答題目涉及的分類/組成關係，就必須將散落於文本中複雜且交錯的分類/組成關係關聯起來。以下對各版本論述的分析是以專家的角度，從文本中節錄出與正確回答題目的分類/組成關係相關的論述，與學生實際處理文本訊息時的複雜程度相較之下，這是一種瞭解學生閱讀理解情形較簡約的方式。

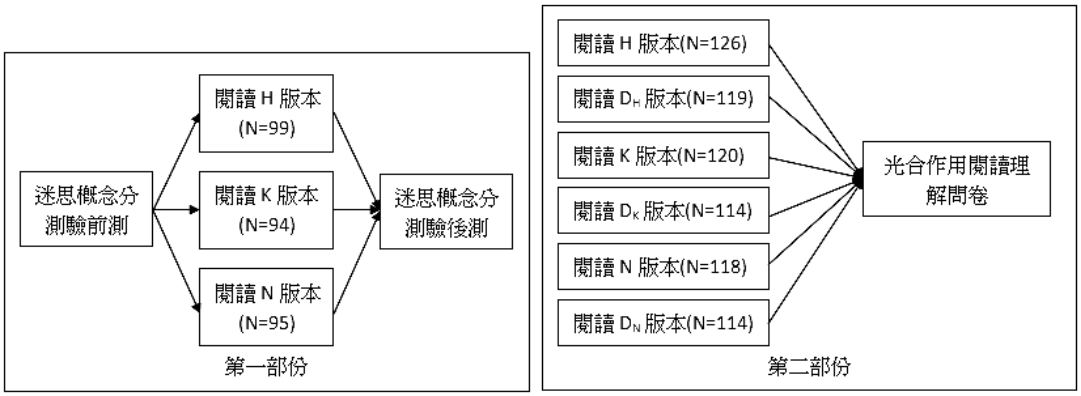


圖 2：研究設計圖

表 7：現行版本迷思概念前後測成對樣本 *t* 檢定結果

	H（*N* = 99）			K（*N* = 94）			N（*N* = 95）		
	前測	後測	*t*	前測	後測	*t*	前測	後測	*t*
1 土壤不提供植物能量	0.03	0.13	2.761**	0.05	0.04	-0.575	0.07	0.17	2.102*
2 植物製造有能量的養分	0.47	0.30	-3.192**	0.35	0.27	-1.522	0.42	0.20	-4.233**
3 水和礦物質不提供能量	0.07	0.14	1.714	0.09	0.11	0.575	0.11	0.11	0.000
4 植物不吸收土壤	0.57	0.55	-0.445	0.64	0.54	-1.532	0.43	0.47	0.647
5 氣孔不吸水	0.46	0.38	-1.157	0.53	0.36	-2.607**	0.46	0.43	-0.467
6 光合作用主要產物不是氧	0.27	0.24	-0.575	0.27	0.26	-0.199	0.21	0.21	0.000
7 暗反應不一定要在黑暗中進行	0.65	0.60	-0.761	0.68	0.68	0.000	0.59	0.68	1.290
8 蛋白質和脂質不是為了貯存	0.40	0.19	-3.780**	0.34	0.19	-2.546**	0.34	0.19	-2.464*
9 氧氣不由二氧化碳轉換而來	0.06	0.13	1.969	0.09	0.09	0.000	0.09	0.16	1.510
10 綠色部位都可行光合作用	0.29	0.21	-1.647	0.24	0.21	-0.598	0.21	0.32	2.285*
11 光合作用產生的氧氣是水分解的	0.03	0.15	3.130**	0.06	0.18	2.600**	0.08	0.31	4.418**
12 光反應所需要的水是根吸收的	0.55	0.34	-3.001**	0.50	0.46	-0.684	0.46	0.32	-2.391*
13 暗反應產生的水是二氧化碳分解的	0.23	0.32	1.578	0.24	0.37	1.924	0.31	0.33	0.315
總分	4.09	3.70	-2.069*	4.09	3.76	-1.760	3.79	3.88	0.500
平均答對率	0.314	0.284		0.314	0.289		0.292	0.299	

底線為前、後測進步達顯著的題目；反黑為前、後測退步達顯著的題目；*p < .05; **p < .01

1.H 版論述呈現的養分類別和植物的關係

從小句成分的分析來看（見圖3，圖3~7標示詳見圖1），H 版對養分的分類使用「有」及「是」兩個外顯但模糊的過程來說明食物中的養分類別及醣類、蛋白質和脂質所屬的類別，其餘的過程則屬內隱的分類關係。而小句8-1-2及8-1-3出現零代詞，要回溯 $Ø_2$時，學生容易將 $Ø_2$視為澱粉、蛋白質和脂質等養分。從表7來看閱讀 H 版的學生在「蛋白質和脂質不是為了貯存（題8）」的表現，則發現答對率由40% 下降到19%，退步達顯著。這結果說明 $Ø_2$雖然是容易回溯的零代詞形式，但也使得學生愈容易將澱粉、蛋白質和脂質視為只是貯存在植物體內的養分類別。

從主/述位分析呈現的訊息流動來看，H 版首先說明綠色植物行光合作用自行製造養分；跨1個段落說明食物中有五種養分；再跨2個段落用外顯但模糊的方式說明醣類、蛋白質和脂質是生物能量的主要來源，並以內隱的方式說明維生素和礦物質屬於無法轉化成能量的養分類別；段落8則說明植物行光合作用產生的葡萄糖可轉換成澱粉、蛋白質和脂質等養分。

若以文本分析右側所提供的訊息流向來看，閱讀 H 版的學生要回答「植物製造有能量的養分（題2）」時所需要的訊息，就必須從段落1連結到段落8，再回到段落2再到段落4，以瞭解「植物製造的養分具有能量」的分類關係。從分類關係圖中亦可看到 H 版對養分的類別與植物關係的分類關係，僅以小句4-1-1與小句8-1-2之間藉由蛋白質及脂質取得聯繫。因此，閱讀 H 版的學生在「植物製造有能量的養分」的表現退步達顯著性。而要回答「土壤不提供植物能量（題1）」尚需推論植物體內能提供能量的養分，都是由植物製造而來，因此學生閱讀後回答此題雖然有進步，但是後測答對率卻不如在「植物製造有能量的養分」的表現。

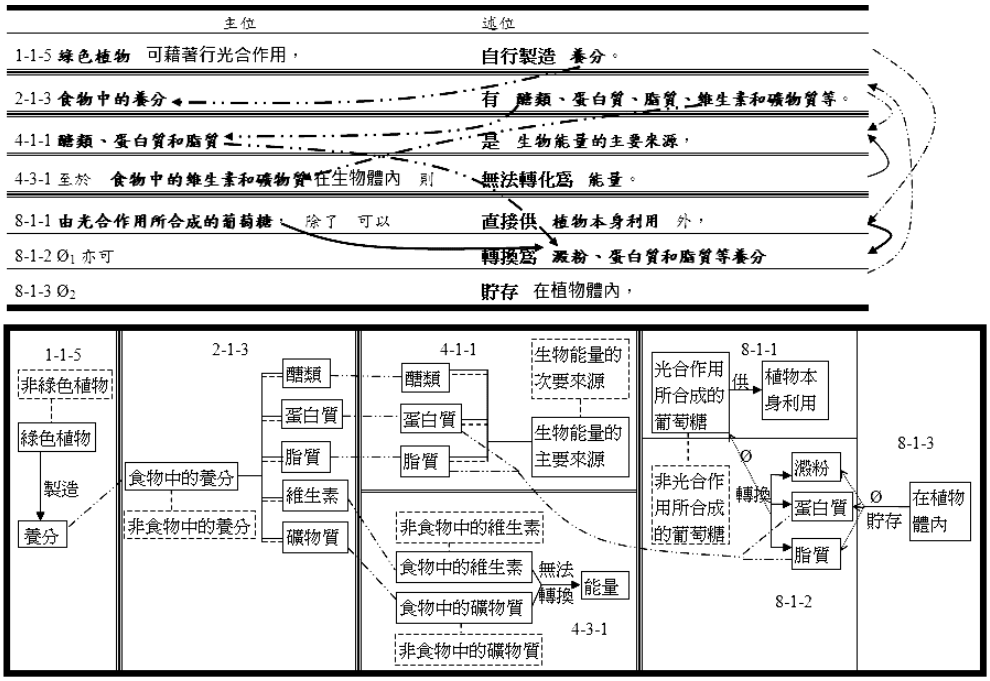


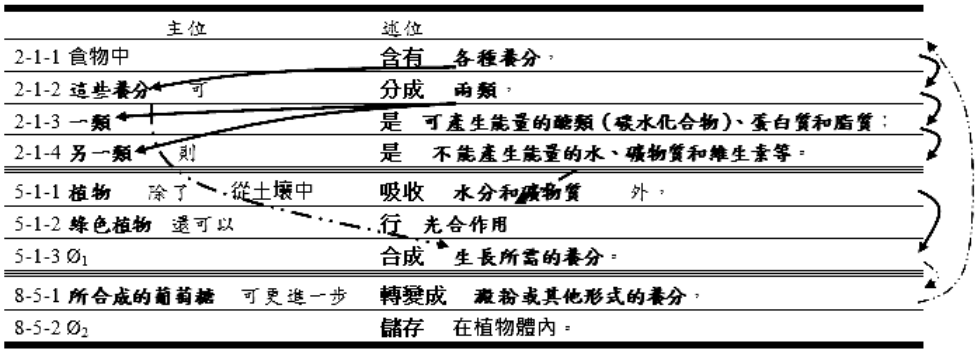
圖 3：H 版養分類別和植物的關係圖

2.K 版論述呈現的養分類別和植物的關係

從小句的成分來看，K 版使用不具分類意義的名詞組「不能產生能量的水、礦物質和維生素」（見圖4）。此外亦使用兩個零代詞，$Ø_1$指的是「行光合作用的綠色植物」，需對前一個小句的訊息予以整合；學生容易將 $Ø_2$ 回溯為儲存在植物體內的養分是「澱粉或其他形式的養分」，這使閱讀 K 版的學生回答「蛋白質和脂質不是為了貯存」的表現退步達顯著性（見表7）。

以主/述位分析來看訊息的流動，則發現 K 版使用段落2的四個小句來說明食物中的養分，並使用「分成兩類」外顯且明確的「過程+修飾」方式表示養分的兩種類別；段落5則說明植物和養分間的關係，並清楚地指出「水分和礦物質」為植物吸收的養分類別；但在段落5以「生長所需的養分」說明光合作用的產物，段落8則是以「澱粉或其他形式的養分」說明葡萄糖轉化的養分，學生要自行推測「生長所需的養分」指的就是「其他形式的養分」。

閱讀 K 版的學生要正確回答「植物製造有能量的養分」的問題時，必須先從段落5得到植物製造「生長所需的養分」，而生長所需的養分為何？段落8並沒有提供解答，只得到「其他形式的養分」的訊息，須再結合段落2的訊息，推論生長所需的養分或形他形式的養分可能是醣類、蛋白質和脂質。因此學生回答「植物製造有能量的養分」的答對率由35% 降到27%，沒有達顯著性。學生回答「土壤不提供植物能量」的問題時，雖然 K 版清楚說明植物吸收土壤中的水分和礦物質，但尚需往前尋找水分和礦物質是能提供能量之訊息，同時 K 版亦使用不具分類意義的名詞組「不能產生能量的水、礦物質和維生素」，兩者的作用下，使得學生回答土壤是否提供植物能量的問題時，答對率由5% 降到4%，比回答「植物製造有能量的養分」時更低。



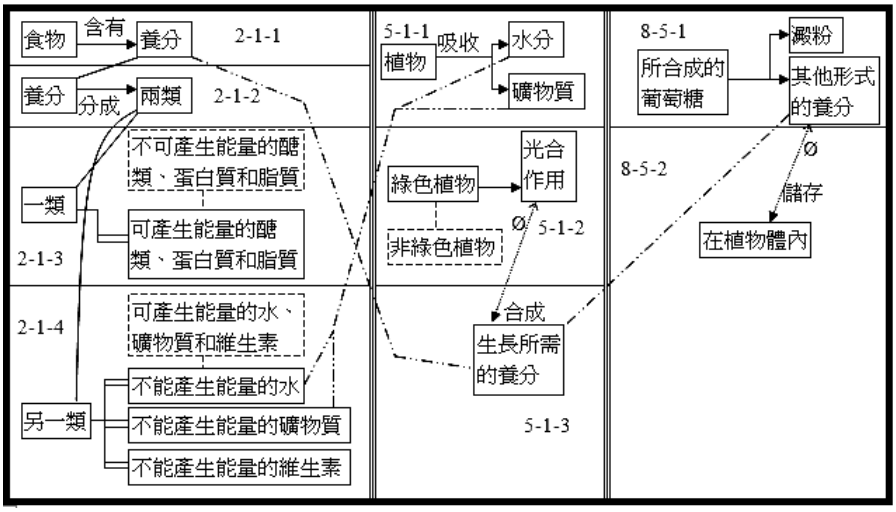


圖 4：K 版養分類別和植物的關係圖

由此看來，雖然 K 版論述養分的分類時用外顯且明確的方式呈現，但由於其他相關訊息內隱與模糊，並沒有讓學生對養分類別與植物之間的關係更為清楚，此現象說明只提供某些外顯且明確的分類關係而忽略其他訊息的配合，對於學生分類關係的釐清並沒有預期的效果。

3.N 版論述呈現的養分類別和植物的關係

從小句成分分析結果看來，N 版使用「包括」說明營養素的種類，屬於外顯但模糊的分類關係，其餘的過程都屬於內隱的分類關係（見圖5）。此外，N 版使用「營養素」（小句1-3-1）、「養分」（小句3-1-5）及「生長所需物質」（小句7-1-4）來指涉相同的物件；且在小句1-3-1使用「脂質」，小句1-4-1使用「脂類」，而小句7-1-4則是使用「脂肪」，這三者指涉的亦為相同的物件，由此看出 N 版對名詞使用並不太一致，學生需要自行推論才能將這些物件關聯起來。此外，這10個小句出現6個零代詞，其中7-1-3小句只有過程而省略了前、後的參與者，這種句法較不常出現，$Ø_4$是承前一句賓語的零代詞，較容易將訊息回溯到澱粉，但「貯存」後面的 $Ø_5$到底是貯存在何處，就相對較模糊。從段落7的訊息可看到 N 版使用「除了…外」、「也可…」、「或…」來說明葡萄糖、澱粉、蛋白質和脂肪的關係，此處的「或」意味著「亦可…」的意思，應是指「葡萄糖可以被植物生長利用」；「葡萄糖也可以澱粉的方式貯存」；「葡萄糖亦可合成生長所需的物質–蛋白質和脂

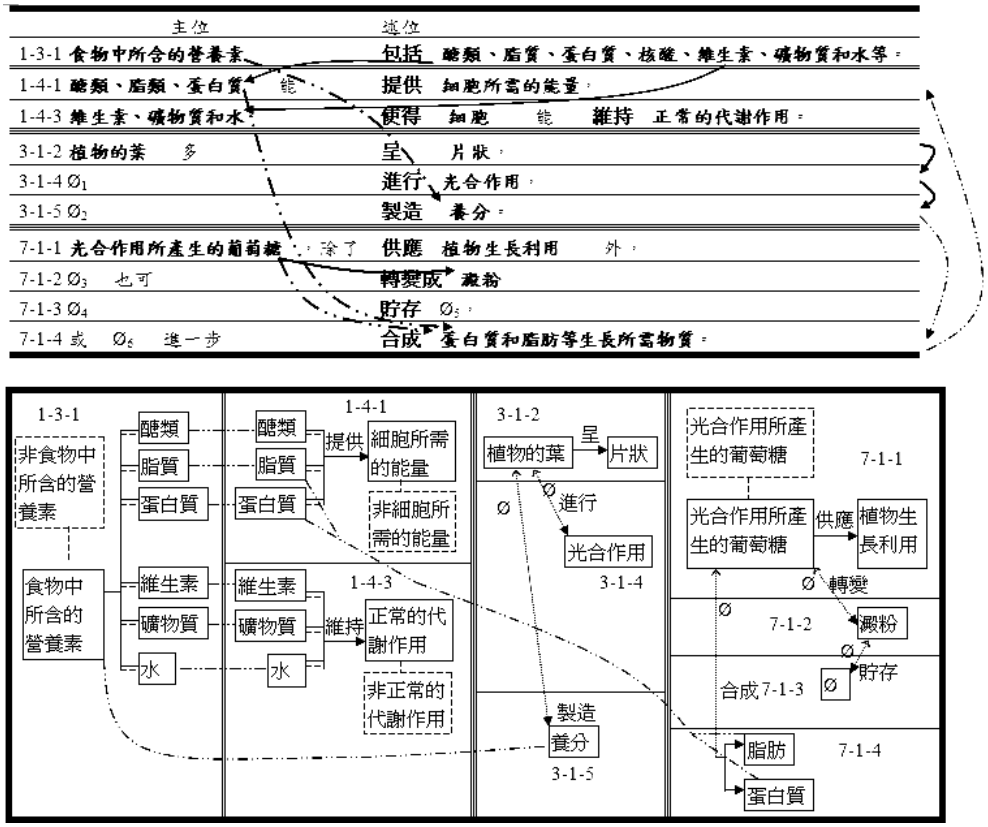


圖 5：N 版養分類別和植物的關係圖

肪」三者並列的關係。然而從學生在「蛋白質和脂質不是為了貯存」的答題表現得知學生可能是對於這樣的並列關係不易理解，也可能是因為不理解「生長所需的物質」此一名詞組導致答對率下降達顯著性。

從主/述位的分析結果看出要瞭解養分類別與植物的關係，就必須先瞭解段落3植物製造養分，再到段落7理解光合作用的產物可以合成蛋白質和脂肪，再整合段落1對於養分的內隱分類，才能正確回答「植物製造有能量的養分」的問題，這些分類的訊息除了使用跨段落的語言單位來論述之外，亦使用不同的名詞（組）來指涉相同的事物，增加學生閱讀理解的困難度。從表7的結果可看出內隱分類加上名詞使用的不一致，使得學生的答對率從42% 下降到20%，而且後測的答對率比閱讀 H 版的學生答對率（30%）更低。

4.小結

循此，造成迷思概念加深的各版本論述，大多使用外顯但不明確或內隱的論述說明分類關係；有些是相關訊息取得不易造成無法正確瞭解論述的分類關係；有些是使用的名詞不一致造成推論分類組成關係的困難。改寫版在考量漢語及科學語言特性的情況下，將事物間的分類/組成關係以更外顯/明確的方式來說明。接下來將說明現行版與修改版之間的閱讀理解效應。

二、閱讀現行版與修改版的理解效應

(一)現行版與修改版的閱讀理解差異

研究方法中表5呈現的為現行版與修改

版的比較差異，括號內的數字依序為現行版答對率/修改版答對率/兩版本答對率差。整體而言，修改版本有23題的答對率提昇，其中11題顯著優於現行版；修改版的答對率只有2題低於現行版的答對率，但未達顯著。由此看來，文本經由考量漢語及科學語言特性修改後答對率提昇，表示修改後的版本對即將進入七年級的學生而言，較易理解。

從表8的結果可看出改寫版整體的閱讀效果優於現行版；改寫版在三個主題的閱讀效果都優於現行版；且改寫版在七個小主題的整體閱讀效果皆優於現行版，其中表皮與氣孔及光合作用產物兩個小主題具有小的效果量；養分的類別和植物的關係、角質層、保衛細胞及光合作用過程四個小主題具有介於中到小的效果量；行光合作用之處主題則有中到大的效果量。

(二)現行版與修改版的分類組成關係

以下選擇三大主題的內容，分別說明分類/組成關係的外顯/明確化、不具分類意義名詞組的拆解及零代詞的回溯與尋回之修改效果。為便於論述，故以 D_H 版本的段落編號為例來說明。

1.植物與養分的分類關係之修改結果

從小句成分分析可看到 D 版使用「**分為兩類**」說明養分的類別且說明將養分分類的依據，並用「第一類的養分」及「第二類的養分」為參與者來承續小句2-2-2中的「兩類」養分（見圖6）；而段落6則明確說明植物吸收土壤中的水分和礦物質，並將訊息回溯到這兩種養分無法提供細胞能量，進而說明植物所合成的是能提供細胞能量的養分。

閱讀 D 版的學生要回答題1「土壤不提供植物能量」、題2「植物製造有能量的養分」及題3「水和礦物質不具能量」此三題，只需單獨從段落6就可得到所需訊息。相較於前述三個版本的論述內容，D 版的論述呈現的分類關係不僅較為外顯，且訊息間的距離亦較近，因此學生閱讀改寫版後在這三題的表現明顯優於閱讀現行版學生的表現。

2.葉的構造的分類關係之修改結果

葉的構造主題中，現行版使用一些不具分類意義的名詞組來論述，例如「透明的表皮細胞」及「成對的保衛細胞」等，D 版將之

表 8：現行版本與修改版本獨立樣本 *t* 檢定結果

主題	小主題	T（*N* = 364） *M/SD*	D（*N* = 347） *M/SD*	*t*	*ES*
植物與養分	養分的類別和植物的關係	1.60/1.01	2.02/1.12	5.211**	0.395
	行光合作用之處	0.88/0.61	1.22/0.72	6.836**	0.511
	小計	2.49/1.25	3.24/1.50	7.342**	0.545
葉的構造	角質層	1.41/0.91	1.78/1.03	5.075**	0.382
	保衛細胞	0.92/0.58	1.04/0.60	2.576**	0.204
	表皮與氣孔	0.96/0.75	1.10/0.74	2.600**	0.188
	小計	3.29/1.34	3.92/1.55	5.807**	0.436
光合作用過程及產物	光合作用過程	2.21/1.07	2.63/1.18	4.885**	0.374
	光合作用產物	1.83/1.24	2.08/1.34	2.596**	0.194
	小計	4.05/1.64	4.71/2.00	4.855**	0.362
總分		9.82/3.00	11.88/4.00	7.727**	0.585

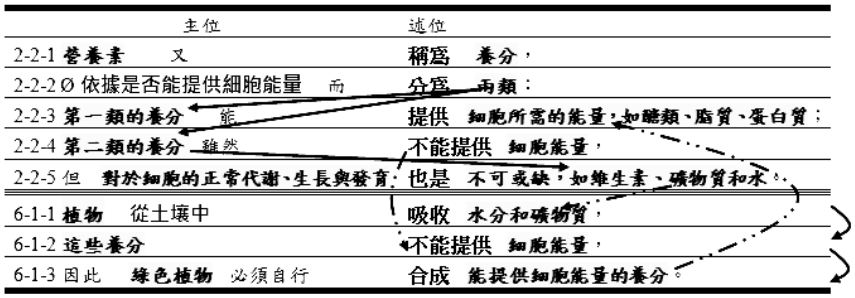
底線為修改版本優於現行版本的題目；*p < .05; **p < .01；*ES* = *Cohen's d*，小效果量 d = 0.20、中效果量 d = 0.50、大效果量 d = 0.80

修改成小句（組）的形式（見表9）。

修改版將「透明的表皮細胞」改寫成小句組（7-1-1~7-1-2），以避免學生誤解有非透明的表皮細胞之類別，由表5「表皮細胞是透明的（題 B）」的結果可看出 D 版的修改效果明顯優於現行版。小句7-3-2說明每個氣孔都是由兩個保衛細胞所組成，並沒有不成對的保衛細胞。雖然閱讀 D 版的學生在「保衛細胞是成對的（題 C）」及「有些保衛細胞是半月形的（題 E）」兩個題目的閱讀理解表現沒有明顯優於現行版，但整體的效果優於現行版。此結果顯示將不具分類意義的名詞組予以拆解，較不易讓學生產生類別上的誤解。

3.光合作用過程及產物的分類關係之修改結果

在「光反應提供能量和物質給暗反應（題 J）」的組成關係上，由於修改時涉及零代詞的考量，利用「高能物質」做為橋接光反應與暗反應之間物質與能量的傳遞，並於小句9-5-1說明高能物質會分解產生物質與能量兩種組成物（見圖7）。各版本對於光反應與暗反應之間能量與物質的傳遞，只論及能量成



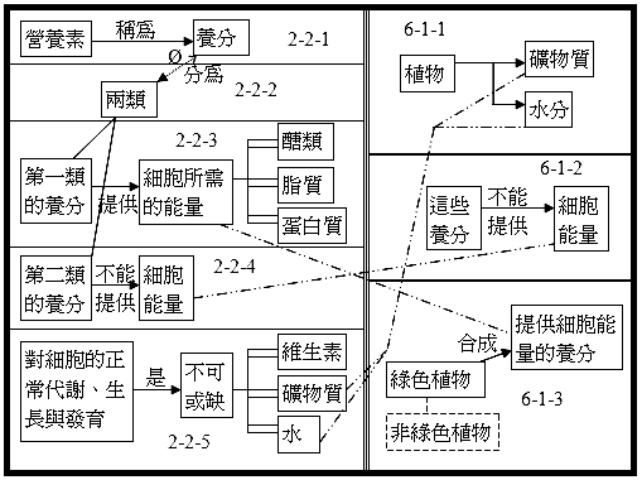


圖 6：D 版養分類別和植物的關係圖

表 9：D 版不具分類意義的名詞組之論述

	主位				述位	
7-1-1	植物體的表層細胞				排列	緊密且透明、無色，
7-1-2	Ø				稱為	表皮。
7-3-2	每個氣孔	都	由兩個保衛細胞	所	組成	

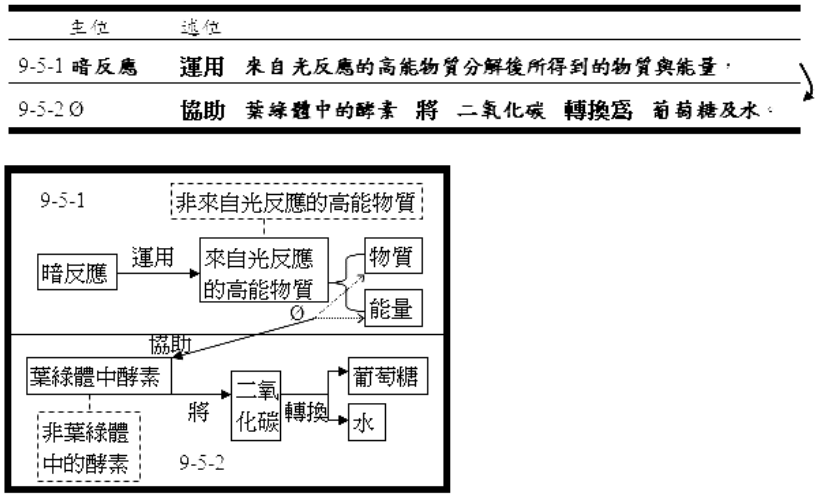


圖 7：D 版光合作用過程及產物的分類關係圖

份，而沒有提及物質成分，D 版將傳遞的組成成份說明得更為清楚，因此閱讀 D 版的學生較能瞭解光反應傳遞給暗反應的成分，不只是能量，還有某些物質。

4.小結

從上述修改的結果來看，由於 D 版使用較外顯且明確的分類/組成關係，所以閱讀 D 版的學生對光合作用所涉及的分類/組成關係較容易理解；有些版本的論述因為使用不具分類意義的名詞組，所以讓學生在閱讀時，可能會對這些不具分類意義的名詞組產生不必要的誤解，將這些不具分類意義的名詞組予以拆解之後，學生的閱讀理解表現較佳。

伍、結論與建議

整體而言，閱讀文本對學生的整體答對率並不如預期的高（分別為39.3% 及47.5%），此結果指出，不管是現行的科學文本，甚至是改寫後的版本，對於要進入七年級的六年級學生而言，從閱讀中學習的效果有其限制。若學生不能從閱讀中學習，就得仰賴他人（例如教師）的口述說明。正如 Norris 與 Phillips（2003）所指出的，即便口述也是一種文本，但其意義卻與書寫文本截然不同。學生不能從閱讀中學習，主要原因可能有二。一為學生未具科學識讀能力（scientific literate），也就是說學生對於科學文本的解讀尚待加強；另一個是書寫文本未能配合讀者的閱讀能力。

教科書的好壞，應由是否幫助學生釐清迷思概念及促進學生學習新概念兩向度來看，本研究第一部份的結果顯示現行版教科書雖然釐清某些迷思概念，同時亦加深另一些迷思概念，而分析被加深的迷思概念涉及的論述，則發現這些論述通常將分類/組成關係以內隱、不明確的方式呈現，學生閱讀之後，只會更遠離文本作者所欲學生理解的概念。這說明使用外顯且明確的方式來論述分類/組成關係之重要性。

考量斷詞歧異、零代詞等漢語特性及名詞組隱含分類、分類/組成關係論述等科學語言特性所改編的文本，雖然無法大幅提昇學生的答對率，然而改寫後的結果在每個主題的表現都顯著優於現行版。顯示改寫版不論是在迷思概念分測驗或重要概念的分測驗都優於現行版，亦即改寫版對釐清學生的迷思概念及新概念的學生都有助益。由第二部份

的研究結果說明編寫教科書時考量漢語與科學語言特性之必要性。

除了共有的三個主題外，在分析內容詞時發現漢語的分類系統相當特殊，例如「五穀根莖類」指的應該是五穀類和根莖類兩種作物的合稱，因為是五穀類就不會是根莖類，反之亦然，但卻被合稱為五穀根莖類。而何謂五穀，依據《大戴禮記》之記載，五穀為麻、黍、稷、麥、菽；然而<呂氏春秋審時篇>中則提及禾、黍、稻、麻、菽、麥這六種作物，而《三字經》的六穀則是稻、粱、菽、麥、黍、稷這六種。不論是五穀或是六穀的分類，在不同經典中似乎有不同的定義與說明。由此可知漢語對於名詞的命名規則、事物間的分類組成關係及分類/組成關係的論述，不只具有模糊性，亦存在著許多歧異，值得進一步比較與研究。

科學文本利用許多語法資源來說明事物間的分類/組成關係，其目的在於明確地將事物間的分類/組成關係傳遞給學生。利用上述文本分析方式可提供學生閱讀理解表現的解釋，然而這樣的方式是以專家的角度來截取文本中有用的分類/組成關係，相較於學生的閱讀理解歷程及答題時訊息的複雜程度來說，是相對簡約的。要瞭解學生實際的閱讀理解歷程，仍需藉由其他研究方式來處理。修改版在各主題上都優於現行版的閱讀理解情形，光合作用產物主題的改寫雖較傳統版更為外顯且明確，但改寫的效果並沒有表現在單一題目的閱讀理解進步上，目前本研究從量化資料及文本分析的方法，並無法提供足夠的證據以說明學生在閱讀文本時的歷程到底為何。欲瞭解其可能的原因，則需藉由對學生進行訪談或分析學生閱讀理解歷程的放聲思考過程等研究取向，才能得到較深入的理解。這亦說明對於科學文本的閱讀理解的研究，需要更多研究的投入與討論。

致　　謝

本文承國科會專案 NSC95-2522-S-003-017-MY3 及 NSC95-2511-S-003-027-MY3 補助，而吳季玲老師、何燿州老師、徐毓襄老師在實徵研究上的協助，以及論文審查者的指正及建議，使本文得以付梓，特此致謝。

參考文獻

1. 吳俊憲、黃政傑（2003）。健全教科書發展的機制：推動出版業實施教科書發展之自我評鑑。在中華民國課程與教學學會編，**教科書之選擇與評鑑**（pp. 025-053）。高雄：復文圖書出版社。
2. 吳麗娟（2002）。**國小五年級學童光合作用迷思概念之探討**。國立屏東師範學院數理教育研究所碩士論文，未出版，屏東縣。
3. 李世文、陳秋梅（1993）。漢語口語與書寫語的比較研究。**教學與研究，15**，63-96。
4. 李哲迪（2006）。**高中物理教科書與學生關於力的話語與合法化的語言策略**。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，台北市。
5. 周珮儀（2003）。教科書研究的現況分析與趨勢展望。在中華民國課程與教學學會編，**教科書之選擇與評鑑**（pp. 175-207）。高雄：復文圖書出版社。
6. 周婉綺（2007）。**教學對七年級學生理解科學文本語意的影響：以「植物的基本構造與功能」單元為例**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
7. 林文杰、楊文金（2008）。高一學生對物理文本過程詞隱含之連接關係的理解。**物理教育學刊，9**（1），1-18。
8. 林家平（2001）。**國小學童光合作用概念之分析研究**。國立台北師範學院數理教育研究

所碩士論文，未出版，台北市。
9. 洪緯玲（2006）。**國一生之科學文本斷詞能力與其閱讀理解作答表現間關係之探討**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
10. 胡壯麟、朱永生、張德祿、李戰子（2005）。**系統功能語言學概論**。北京：北京大學出版社。
11. 翁育誠（2004）。**以蘊含序列與詞彙密度兩種結構探討科學課文結構與閱讀理解的關係－以溫度與熱為例**。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
12. 許慶堂（2007）。**科學課文中零代詞對學生閱讀理解的影響**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
13. 郭惠芳（2002）。**國小四年級學童光合作用的概念及其概念改變情形之個案研究**。國立臺中師範學院國民教育研究所碩士論文，未出版，台中市。
14. 陳世文（2007）。**科學文本之級位分體論述與師生對其語意理解之研究**。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，台北市。
15. 程琪龍（1994）。**系統功能語法導論**。汕頭：汕頭大學出版社。
16. 黃湘菱（2006）。**學生答題寫作特性及其與表現之相關研究**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
17. 楊文金（1998a）。從「社會認同」探討「科學家意象」的意義。**科學教育月刊**，**206**，3-10。
18. 楊文金（1998b）。從「社會認同」探討「科學家意象」的意義（續）。**科學教育月刊**，**207**，18-24。
19. 楊文金（2007）。學生對「類屬--組成」論述的語意理解－以「血液」文本為例。**科學教育學刊**，**15**（2），195-214。
20. 楊文金、陳世文（2008）。科學漢語與科學英語論述特質的比較－以「觀念物理」文本為例。**師大學報：科學教育類**，**53**（1），113-137。
21. 楊文金、陳世文、李哲迪、任宗浩、古智雄（2008）。以閱讀困難觀點探討漢、英語科學論述之語意差異－以觀念物理文本為例。**科學教育學刊**，**16**（2），193-214。
22. 廖彩良（2006）。**運用 4MAT 系統於國中光合作用單元的成效**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
23. 趙元任（Chao, Y. R.）著（1979）。**漢語口語語法**（*A grammar of spoken chinese*，呂叔湘譯）。北京：北京語言學院出版社。（原作 1968 年出版）
24. 蔡佩君（2009）。**師生對教科書中使用「產生」表述概念關係論述之語意理解研究**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
25. 藍順德（2006）。**教科書政策與制度**。台北：五南圖書出版股份有限公司。
26. Beaty, W. (1996). *Recurring science misconception in k-6 textbooks*. Retrieved November 27, 2007, from http://www.amasci.com/miscon/miscon4.html.
27. Fang, Z. (2005). Scientific literacy: A systemic functional linguistics perspective. *Science Education, 89*, 335-347.
28. Fang, Z. (2006). The language demands of science reading in middle school. *International Journal of Science Education, 28*(5), 491-520.
29. Graesser, A. C., Leon, J. A., & Jose, O. (2002). Introduction to the psychology of science text comprehension. In O. Jose, J. A. Leon & A. C. Graesser (Eds.), *The psychology of science text comprehension* (pp. 1-15). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

30. Guo, L. (2004). Multimodality in a biology textbook. In K. L. O'Halloran (Ed.), *Multimodal discourse analysis: Systemic-functional perspectives* (pp. 196-219). London: Continuum.
31. Halliday, M. A. K. (1989). *Spoken and written language.* New York: Oxford University Press.
32. Halliday, M. A. K. (1993). The analysis of scientific texts in English and Chinese. In M. A. K. Halliday (Ed.), *Writing science: Literacy and discursive power* (pp. 124-132). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
33. Halliday, M. A. K. (2004). *The language of science.* London: Continuum.
34. Halliday, M. A. K. & Matthiessen, C. M. I. M. (2004). *An introduction to functional grammar (3rd Edition)*. London: Arnold.
35. Herron, J. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching.* Washington, DC: American Chemical Society.
36. Lai, T. L. & Yang, W. G. (2007). *Students' understanding of the taxonomic implications of nominal groups construed in photosynthesis science text*. Paper presented at the 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, HU.
37. Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values.* New York: Ablex Publishing Corporation.
38. Martin, J. R., Matthiessen, C. M. I. M., & Painter, C. (1997). *Working with functional grammar*. London: Arnold.
39. Norris, S. P. & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education, 87*(2), 224-240.
40. O'Halloran, K. L. (2005). *Mathematical discourse: Language, symbolism and visual images*. New York: Continuum.
41. Schleppegrell, M. J. (2004). *The language of schooling: A functional linguistic perspective.* Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
42. Shanahan, C. (2004). Better textbooks, better readers and writers. In E. W. Saul (Ed.), *Crossing borders in literacy and science instruction: Perspectives on theory and practice* (pp. 370-382). Arlington: NSTA Press.
43. Simpson, M. & Arnold, B. (1982). Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level. *Journal of Biological Education, 16*(1), 65-72.
44. Simpson, R. D. & Oliver, J. S. (1985). Attitude toward science and achievement motivation profiles of male and female science students in grades six through ten. *Science Education, 69*(4), 511-526.
45. Unsworth, L. (2001). *Teaching multiliteracies across the curriculum: Changing contexts of text and image in classroom practice*. Buckingham: Open University Press.
46. Wellington, J. & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education.* Buckingham: Open University Press.
47. Yeh, C. C., Yang, W. G., Lin, H. Y., & Lai, T. L. (2008). *An exploration of the effects of different versions of science text on the vicissitudes students' misconception on 'nutrition and plant leaves'*. Paper presented at the Fifth International Conference on Science, Mathematics and Technology Education, Udon Thani, TH.

A Study of the Effects of Photosynthesis Texts on Students' Reading Comprehension

Chia-Cheng Yeh, Wen-Gin Yang, Pin-Yin Liao,

Ting-Lun Lai and Hsin-Yu Lin

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This study aimed to explore the effects of different photosynthesis texts on students' reading comprehension. Three texts of 'photosynthesis' of current junior high science textbooks were excerpted as target texts (H-, K-, & N-text); these were the re-edited as D_H, D_K, & D_N-text according to the 'language of science', which is inspired in the light of systemic functional linguistics and features of Mandarin, such as the implicit taxonomic implications of nominal groups, zero anaphora, and part-kind discourses. These six texts deployed almost the same content words related to photosynthesis and were controlled to have the same layout and almost the same number of words and clauses. This research was composed of two stages. The effects on readers' conceptual change induced by reading current texts were explored firstly. Total 288 sixth graders were randomly assigned to reading H, K & N-text. The effects of current and re-edited texts were then compared. Total 711 sixth graders participated in this stage and were randomly assigned to read these six texts. Major findings indicated that (1) current texts did help the readers in understanding some concepts, unfortunately, they also worsened the level of understanding in other concepts, especially the concepts related to ambiguous part-of and kind-of relations deployed by the current texts. (2) The re-edited texts were more helpful to clarify readers' misconceptions and to learn new concepts. These results implied that readers could be benefited from the texts that constructed according to the features of Mandarin together with the 'language of science'.

Key words: Systemic Functional Linguistics, Science Text, Language of Science, Features of Mandarin