

美國《科學素養圖集》與我國自然與生活科技領域教材細目之比較 —以「生態系之物質循環與能量循流」為例

蔡維真^{1*} 王國華²

¹彰化縣南興國民小學

²國立彰化師範大學 科學教育研究所

*childlike67@yahoo.com.tw

(投稿日期：2009年4月29日；修正日期：2009年6月3日；接受日期：2009年6月15日)

摘要

本研究旨在探討美國《科學素養圖集》中有關生態系之「能量循流」與「物質循環」概念圖，各主要面向所包含的概念命題陳述，並依概念內容和學習階段與我國九年一貫教材細目進行比較。研究方法採內容分析法，主要對概念內容進行質性分析，並以百分比呈現兩國於概念內容與學習階段上之差異。研究結果發現：一、分析美國《科學素養圖集》生態系之「能量循流」與「物質循環」概念圖時，「能量循流」圖於「分解作用」與「食物網」面向之概念有所缺漏。二、我國與美國之差異有以下二點：（一）我國與美國的概念內容「相同」的佔23.81%，「部分相同」的佔66.67%，無法產生對應關係的則有14.29%；學習階段「相同」的佔57.14%，「部分相同」的佔23.81%，無法找到對應與不同的佔19.05%；（二）關於「清除者角色之認識」、「食物能做為燃料並提供構築生物體的材料」、「陽光幾乎是所有食物能量的來源」等三項概念無法自我國教材細目找到相對應之概念，研究者建議未來於教材細目或是教學上應增列以上概念，使生態系的教學能更完善。

關鍵字：九年一貫教材細目、物質循環、科學素養圖集、能量循流

壹、緒論

一、問題背景與研究目的

科學教育主要的學習目標之一即是獲得科學概念 (Lloyd, 1990)，因此適當的概念連結有助學生於概念上的學習，概念間的關係包括橫向與縱向的連結，「主題式」的教案設計方式，能視「主題」內容的需要將相關的概念加以組織，依此進行教學不僅有助學生形成新的知識與技能，亦能協助學生形成良好的概念架構 (教育部，2008；陳文典，2003a，2003b)。

我國現行頒訂的自然與生活科技課程綱要 (教育部，2008)，教材細目標示出各學習階段需學習的概念內容，並依學科間共同的概念形成課題與主題，列出應學習的概念 (邱美虹，2000；教育部，2008)。而美國《科學素養之基準》(Benchmarks for Science Literacy) (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1993) 亦呈現學生於各學習階段所應學習的概念內容，但卻是以各學科內的重要主題加以組織，並且於《科學素養圖集》(Atlas of Science Literacy) (American Association for the Advancement of Science & National Science Teachers Association [AAAS & NSTA], 2001) 一書中，呈現《科學素養之基準》各概念間的關聯性與階層性，所代表的是概念的學習路徑圖。因此，由概念的呈現，顯示美國重視不同認知層次間概念的關係。

從上述可知，強調主題式的課程設計，所著重的是透過此種模式協助學生對所習得的概念或技能形成更緊密的網絡，但我國科學課程目前僅以獨立的方式呈現概念，未如美國《科學素養圖集》針對各主題形成概念學習的路徑圖，為使國內教師在進行此主題教學時能有所參考，因此本研究以美國《科學素養圖集》做為參照，分析國內教材細目與主題相關的概念，探討合適我國教學的概念路徑圖，並依此設計教學流程與主題。

研究主題選擇與生態相關，乃因環境議題已成為全球所關注的焦點，亦為教育的主要課題。以往研究指出理解生態系統間與其內物質的運輸是具備生態素養的重要面向 (Hogan & Fisherkeller, 1996; Risser, 1986)。生態系為生態學中完整的功能單位，因其具有長期性的功能與個體存活所必需的組成成分，而體系運作與仰賴的兩個基本功能即是能量循流與物質循環，生物與非生物間即是透過此兩循環產生交流，能量與物質是藉由食物網的營養階層加以傳遞 (李

家維、徐歷鵬、崔文慧、張立雪、黃壁祈、葉開溫、鍾楊聰譯，2002）。所以「能量循環」與「物質循環」可說是生態學的核心概念，欲使學生瞭解生態議題內各概念的關連性，應由兩個循環的教學中著手。

現今我國科學課程中的「教材細目」所陳述的是獨立的概念，未建立各概念間的關聯性。而美國科學課程已就各主題中概念間的關聯進行連結，並呈現於《科學素養圖集》。因此研究者以「生態系之物質循環與能量循環」為主題，探討美國科學課程所包含的主要概念，並以其所建立的關聯性與階層性為參照，瞭解我國「自然與生活科技領域」於該主題所包含的概念為何，及探討兩國在概念內容和學習階段上的差異，建立合適我國教學的概念路徑圖。

二、待答問題

基於上述研究目的，本研究有以下兩個待答問題：

- (一) 解讀美國《科學素養圖集》(AAAS & NSTA, 2001) 中「生態系之能量循環」與「生態系之物質循環」概念圖所包含的主要面向之概念命題陳述為何？
- (二) 以《科學素養圖集》概念圖為參照，比較我國教材細目中有關「生態系之能量循環」以及「生態系之物質循環」主題所屬的概念內容和學習階段與美國之差異為何？

貳、文獻探討

依據研究目的與待答問題，以下將分別就與生態學相關的課程內容、生態學學習相關之研究加以陳述。

一、與生態學相關的課程內容

(一) 我國課程與生態學相關內容

教育部（2008）將九年一貫課程綱要依各學習領域的課程目標轉換成分段能力指標，在自然與生活科技領域中，能力指標則以八個科學與科技素養能力要項表示，其中「科學與技術認知」一項與教材內容相關。課程綱要之附錄一、附錄二詳列出教材細目，「附錄一」以五大課題、十三項主題及四十五個次主題呈現出教材內容要項；「附錄二」則依次主題條列出各細目。課題與主題是由學科間共同的概念形成，「教材細目」則是標示出各學習階段可學習的「概念」（邱美虹，2000；教育部，2008）。

在我國課程綱要中與「生態系之物質循環與能量循流」主題相關的概念出現於自然界的組成與特性、自然界的作用、永續發展等三大課題中，包含於生命的共同性、生命的多樣性、植物的構造與功能、動物的構造與功能、地表與地殼的變動、動物體內的恆定性與調節、能的形態與轉換、生物對環境刺激的反應與動物行為、燃燒及物質的氧化與還原，以及生物和環境等十個次主題下，本主題是許多概念所構成的複雜網絡關係，如表1所示。

表1 「生態系之物質循環與能量循流」相關之概念體系

課題	主題	次主題
1 自然界的組成與特性	13 地球上的生物	130 生命的共同性
		131 生命的多樣性
	14 生物的構造與功能	141 植物的構造與功能
		142 動物的構造與功能
		143 生物對環境刺激的反應與動物行為
2 自然界的作用	21 改變與平衡	210 地表與地殼的變動
		213 動物體內的恆定性與調節
		217 能的形態與轉換
	22 交互作用	221 生物對環境刺激的反應與動物行為
		225 燃燒及物質的氧化與還原
5 永續發展	51 保育	510 生物和環境

(二) 美國課程中與生態學相關內容

美國於1985年進行一系列的科學課程改革時，發展出數個協助達到教育目標之工具，《科學素養之基準》(AAAS, 1993)一書詳述學生在特定年級時所應達到的認知程度，內容之第五章為生命科學，第E小節為物質與能量循環，關於各學習階段學生所應學的內容陳述如下(pp. 118-121)：

1. 幼稚園至國小二年級：

- (1) 植物和動物都需要水，動物需要食物，植物需要陽光。
- (2) 許多物質可以被再循環與再利用，有時是以不同型態加以進行。

2. 國小三年級至國小五年級：

- (1) 幾乎所有動物的食物可以追溯到植物。
- (2) 某種能量的來源對所有生物維持活動力和成長是必須的。
- (3) 地球上，個體經歷成長、死亡與被分解，新的個體利用死亡個體中的養分產生所需的物質。

3. 國小六年級至國中二年級：

- (1) 食物提供可成為燃料和構築所有生物體的材料。植物使用光能並以水和二氧化碳為原料製造糖。食物可以直接作為燃料或材料，也可被加以儲存。生物吃植物並分解其構造去產生生存所需的物質和能量。然後這些動物也被其他生物所消費。
- (2) 經過一段長時間，物質會不斷地從一個生物轉換至另一個生物，並在生物和環境之間轉換。在所有的物質系統，物質的總量維持一定，即使它的形態和位置產生改變。
- (3) 能量在生命體可以自一種形式轉變成另一種形式。動物從對食物的氧化中獲取能量，並以熱的形式散失部分能量。幾乎所有的食物能量都源自太陽光。

4. 國中三年級至高中三年級：

- (1) 有時環境條件會呈現如下狀態：植物和海中生物的成長快過物質分解到環境的速度，在地層的壓力下，富含能量的有機物，會逐漸轉為煤炭及油坑。燃燒這些化石燃料時，人們正在以熱的形式將儲存的能量大部分轉換至環境中，並釋放出大量的二氧化碳。
- (2) 任何環境可支持的生命總數是受限於可使用的能量、水、氧氣及礦物質，以及生態系統再循環生物殘骸的能力，人類的活動與科技會改變循環及減少土地的養分。

- (3) 構成生命所需的化學元素，是經由食物網得來，並以不同的方式組合與再組成。食物中的每個連結，一些能量被儲存用來製成新的物質結構，但大部分的能量以熱的形式散失於環境中。太陽光不斷地注入能量維持過程的運行。

為了更清楚《科學素養之基準》中，物質循環與能量循流概念的關聯性，「2061計畫 (Project 2061)」出版《科學素養圖集》一書 (AAAS & NSTA, 2001)，以概念圖的方式呈現各階段學生所應理解的概念，以及這些概念的關聯性。《科學素養圖集》是以《美國科學全民化》(Science for All American) (AAAS, 1994) 的教育目標與《科學素養之基準》(AAAS, 1993) 內的準則為依據，依各主題所需之概念自《科學素養之基準》中的準則進行適當的拆取，經由多位教師、課程專家、科學家等共同討論所產生的主題概念圖；概念圖中各箭號（關聯性）的建立是以過去相關的認知研究、心理學及發展因素為依據；圖中箭號所連結的兩個概念代表的意義為「起始端概念的學習對於終端概念的學習能產生貢獻」；因此《科學素養圖集》呈現的是有關學生概念與技能理解的成長路徑。在教學上的應用包括：1. 有助教師瞭解學生在學習前應具備的先前概念，並可做為教師評鑑學生缺乏何項先備知識之工具，2. 有助課程發展者瞭解特定概念學習的內容應於何時出現，協助其設計出具連貫性的課程，並可應用於主題或學科統整的設計，3. 協助發展適合不同學習階段的評量內容來診斷學生之概念理解 (AAAS & NSTA, 2001, pp. 3-11)。

《科學素養圖集》中的「生態系之物質循環」、「生態系之能量循流」概念圖主要是來自《科學素養之基準》的第五章生命環境，以及部分的第四章物理環境。由於本研究的目的在於探討生物領域中「生態系之物質循環與能量循流」，因此所使用的概念圖（附錄一、二）只採用第五章生命環境相關的部分 (AAAS & NSTA, 2001, pp. 77, 79)。

研究者認為《美國科學全民化》相當於能力指標，以概括的方式陳述國民所應具備的科學素養，關於學生於各學習階段所應獲得的科學知能，則詳列於《科學素養之基準》，並將基準內各概念準則的學習路徑以概念圖的方式呈現，經專家效化後彙整於《科學素養圖集》；我國則於「自然與生活科技」課程附錄二之「教材細目」指出教材設計時可參考的概念，其地位相當於《科學素養之基準》，然而教材細目間的概念關聯則尚未建立，因此參照《科學素養圖集》所呈現的概念圖，做為分析教材細目之相關概念與建立關聯圖的依據。

二、生態學學習相關之研究

本研究所探討的生態學概念是需要配合學生認知發展階段，因此以下針對中小學階段生態學概念的研究，瞭解學習生態系主題的重要面向。研究發現兒童學習「生態系」的困難在於缺乏科學家定義的「植物」和「動物」的先備知識，亦即未具備「生產者」、「消費者」之科學社群概念（王美芬、熊召弟，1998，頁83；Bell & Barker, 1982），關於「生產者」和「消費者」名詞引介的適切學習階段，張敬宜與熊召弟（1994）建議應於高年級進行。

Leach、Driver、Scott 與 Wood-Robinson（1995）研究北英格蘭5-16歲兒童關於生態學的理解時，認為與「生態系之物質循環與能量循環」相關的關鍵概念包含：物種之間的物質與能量的轉移、環境中物質與能量的交換、光合作用、呼吸作用、分解作用；而這些關鍵概念間是有關聯的，比如：要瞭解「生物體間」物質與能量的轉移以及對「生物與環境」中物質與能量轉換的理解，就必須理解光合作用、呼吸作用及分解作用的過程。

Lin 與 Hu（2003）認為「物質循環與能量循環」是鑲嵌於光合作用、呼吸作用、生產者、消費者與分解者的脈絡中；而光合作用、呼吸作用是鑲嵌於食物鏈中，亦是生命與無生命間的橋樑，因此在探討國一學生於該主題的理解時，應在食物鏈、光合作用、呼吸作用的脈絡下探討。研究發現，學生對交互關係的理解比對個別概念的理解困難，在個別概念的理解中，對物理相關概念的理解最差，可能因為國小課程中與物理相關的知識有限，並且在國中關於「能」的概念是在國二課程中才有的敘述，致使國一學生在生物中有關「能」概念的學習產生困難。Barak、Gorodetsky 與 Chipman（1997）的研究結果亦指出，能量的概念是影響生物概念學習的關卡，因為生物學中能量的傳遞是屬於物理的知識，當學生能夠學習到這些概念時，便能應用物理和化學的抽象概念來解釋生物現象。針對我國國中學生在生物學中能量概念學習上的困難，Lin 與 Hu（2003）建議重新編排教材的順序，讓國一學生習得能量相關的物理概念後再學習生物領域的能量；而張敬宜與熊召弟（1994）的研究則認為透過適當的敘述能使低年級學生學習到「生物需要能量才能生存」的概念，並且學生在高年級階段即能理解「太陽光能透過植物行光合作用轉變成植物賴以維生的物質（葡萄糖），這是能量輸入生物世界的途徑」之概念；Novak（2005）的研究亦顯示若以適切的教學策略可讓學生在小學階段學習到「能」與「能量轉換」的概念。

Hogan 與 Fisherkeller (1996) 認為「分解」概念是學生建立營養循環理解之關鍵概念，並且「分解者在環境中所扮演的角色」是進行營養循環高階概念學習的基礎。國內學者胡瑞萍與林陳涌（2001）和游淑媚與張政昌（2003）的研究也同樣發現，對「分解」的理解會影響物質循環概念的學習。游淑媚（2003）探討小學生生物腐化原因的想法類型時發現，年級與學習經驗會影響其對分解者的想法；腐化知識的發展歷程為從「未能覺察分解者」到「包含自己的想法解讀分解者的功能」，最後才能「覺察分解者」；而四年級學生多數持「動物消費：生物殘骸的腐化與細菌有關，因為會被細菌跟一些小動物吃掉」想法，而非符合科學概念的「分解因素」，乃因受限於直覺及學習經驗。AAAS Project 2061 (2002) 提到學生對於食物網中參與者的「食物」觀點與「科學」上定義的食物概念是有所差異的，而此概念是學生學習物質循環與能量循環相關概念的基礎。食物的一般概念是：動植物為成長與存活所攝取的任何營養；而科學上對於「食物」的概念為：單指他們獲得成長與運作所需的能量及他們所製作出物質的部分，如碳水化合物、蛋白質、脂肪，並可從「物質」與「分子」階層加以瞭解，在物質階層食物能提供生物增加重量所需的材料，在分子階層則是認為食物提供如碳、氫、氧等分子，這些分子經過再結合可成為身體構造的一部份 (AAAS, 1993; AAAS Project 2061, 2002)。

從上述文獻可知，生產者、消費者、分解者角色、能、食物等概念對於生態系概念學習之重要性。此外，生態系之物質循環與能量循環是呈現於食物網的脈絡中，以及藉由不同形式（呼吸作用、光合作用及分解作用）的轉換來推動食物網中「物質」與「能量」之循環；而對於食物網中的生產者、消費者與分解者的理解有助學生了解複雜生態系統中的交互作用。因此研究者認為「生態系之物質循環與能量循環」主題包含「光合作用」、「分解作用」、「食物鏈/網」與「不同營養來源的分類觀點」等四個面向，並以此四個面向解讀本研究主題。

參、研究方法

本研究採用內容分析法，解讀美國《科學素養圖集》中生態系的能量循環與物質循環概念圖，依此探討我國各學習階段所應具備的概念內容，提出合宜的概念學習路徑。進行內容分析時，先選定具效度之分析類目，再視研究需求

決定分析單位，接著將各分析單位歸入各類目中。以下將針對研究範圍、分析單位、分析類目、研究流程、資料收集與分析、以及信效度說明之。

一、研究範圍、分析單位與分析類目

- (一) 研究範圍：美國《科學素養圖集》中「生態系之能量循流」與「生態系之物質循環」概念圖內的概念命題陳述與我國九年一貫「自然與生活科技領域教材細目」。
- (二) 分析單位：我國自然與生活科技領域之每一教材細目為一個分析單位。
- (三) 分析類目：以美國《科學素養圖集》中「生態系之能量循流」與「生態系之物質循流」概念圖的「概念命題陳述」（指能呈現概念與概念間有意義的敘述）為分析類目。
- (四) 分析類目效度說明：本研究所使用的概念類目是 AAAS 與 NSTA (2001) 依據學習與教學相關文獻所建立，經由多位教師、課程專家等共同討論針對課程主題所型塑出的概念圖，呈現出各年段間的概念關聯以及可以明確發展之概念，因此已具有良好的專家內容效度。

二、研究流程、資料分析與編碼

(一) 研究流程

本研究流程分兩階段，第一階段針對待答問題一，研究者經由探討生態學相關之書籍、文獻，瞭解適合於中小學階段的概念範圍，藉以形成研究主題之主要面向。接著，分析《科學素養圖集》中本研究主題之概念圖，其所蘊含的各主要面向包括哪些分析類目。最後，將分析結果延請兩位具生物教育背景之專家審核，針對研究者前後兩次不同之分析結果進行修正、增減。

第二階段針對待答問題二，研究者首先分析概念圖中每一分析類目與分析單位在概念內容上對應的情形為何，並將分析結果延請兩位具生物教育背景之專家審核，針對研究者前後兩次不同之分析結果進行修正增減。接著，比較每

一個分析類目與上述分析後產生對應之分析單位在學習階段上的差異，分析結果亦請專家審核、修正。在分析比較概念內容與學習階段後，參考《科學素養圖集》概念圖，建立我國「生態系之物質循環」與「生態系之能量循流」主題之課程概念圖，並將結果請專家進行效化。

（二）資料編碼

本研究資料編碼共有兩大部分：（1）分析類目（圖集中的概念命題陳述）的編碼：「概念編號a-b」，a與b均以阿拉伯數字表示之，a代表四個不同的學習階段，1相當於我國幼稚園到國小二年級，2相當於我國國小三年級到國小五年級，3相當於我國小六年級到國中二年級，4相當於我國國中三年級到高中三年級。b為各學習階段的流水號。例如：「概念編號2-1」，2代表國小三年級至五年級，1代表概念命題陳述於該年段出現的流水編號。（2）分析單位（教材細目）的編碼：依據我國九年一貫自然與生活科技領域中對於各教材細目的編號呈現之，例如：130-1a，130代表次主題之編號，1代表學習階段（國小一年級到二年級），a為在該年段出現的流水編號。

（三）資料分析與信效度

根據問題類型，待答問題一進行內容分析時主要是以質的形式進行；關於待答問題二，為了比較我國與美國在概念內容與學習階段之差異，因此是以質的方式進行比較，並輔以量的內容分析形式瞭解差異之幅度。

第一階段之資料分析步驟如下：1.根據文獻所整理出的各主要面向，解讀各面向應包含的分析類目及類目間的關聯。2.研究者反覆檢核分析結果。3.針對分析不一致的部分與專家進行討論並修正，例如：分析「生態系之物質循環」概念圖之「食物網的觀點」所包含的分析類目與類目間的關聯時，經討論後增加概念編號3-5以及概念編號2-4至3-5的連結線，使食物網中各角色更完備。4.請專家對修正後各主要面向之概念圖進行效化。

第二階段之資料分析步驟如下：在「概念內容」部分1.共二十一個分析類目，確認每一個分析類目的概念內容，找出分析單位中最符合分析類目的概念（1）一個分析類目可能由數個分析單位共同呈現之，則應全數納入以求完整（2）若分析類目中所包含的概念能從分析單位中找到與之完全相符應的概念，顯示我國與美國在該概念內容上是「相同」的（3）若分析類目中所包含的概念，無法自分析單位中找到與之完全相符應的概念，顯示我國與美國在該

概念內容上僅「部分相同」(4)若分析類目中所包含的概念，分析單位中找不到能與之符應的概念，顯示我國教材細目缺乏該概念，關於分析單位與分析類目於概念內容和學習階段之符合程度，舉例說明如附錄三所示；2.分析一致性之考驗於第一次分析後兩個月進行，針對研究者分析穩定性所得之內在一致性信度為0.98，公式為： $(\text{研究者前後兩次評定項目一致性的次數}) / (\text{研究者前後兩次評定項目一致性的次數} + \text{不一致的次數})$ ，針對本研究的可信度，尋求另一位評定者進行獨立分析，其外在一致性信度為0.93，公式為： $(\text{研究者與評分者評定項目一致性的次數}) / (\text{研究者與評分者評定項目一致性的次數} + \text{不一致的次數})$ ；3.針對前後不一致的部分與專家討論並修正。在「學習階段」部分，由於每一分析類目可能由一個或數個分析單位呈現，因此在比較學習階段時，1.分析類目與所對應的分析單位均屬於同年級，代表所對應的學習階段是「相同」的；2.分析類目與所對應的分析單位若為一個以上，其中有一項分析單位與分析類目所對應的學習階段不同，代表我國與美國在該概念上的學習階段是「部分相同」；3.分析類目與所對應的分析單位無一學習階段相同，代表對應結果為「不同」；4.分析結果請專家進行效化。最後，研究者根據「概念內容」與「學習階段」對應之結果，計算其百分比（以二十一個分析類目為分母，以對應結果之個數為分子計算之），並建立我國科學課程在「生態系之能量循環」與「生態系之物質循環」主題中各概念間的關聯性，並將建立之結果請專家進行效化。

肆、研究結果

《科學素養圖集》的概念命題陳述取自《科學素養之基準》的第五章，兩者不同之處在於圖集是依據與科學學習相關研究結果將基準內的各概念進行連結，形成具階層性與關連性的概念圖。研究結果首先呈現圖集中「生態系之能量循環」與「生態系之物質循環」概念圖各面向所包含的概念命題陳述，其次比較我國與美國課程於相關概念內容以及學習階段之差異，並以《科學素養圖集》為參照，建立我國教材細目中各概念間適切的關聯。

一、美國《科學素養圖集》概念圖解讀

從附錄一、二之概念圖及生態學相關概念研究（王美芬、熊召弟，1998，頁83；AAAS & NSTA, 2001; Hogan & Fisherkeller, 1996; Leach, Driver, Scott, & Wood-Robinson, 1995; Lin & Hu, 2003）可知，物質循環與能量循流相關概念是在食物網的脈絡中進行，以及藉由呼吸作用、光合作用及分解作用推動食物網中的物質循環與能量循流。基於上述觀點，研究者從光合作用、分解作用、食物鏈/網與不同營養來源的分類觀點等四個面向來瞭解其關聯性與階層性。

（一）解讀「生態系之能量循流」概念圖

能量循環包含「不同營養來源的分類觀點」、「不同能量形式轉換的觀點」、「食物網觀點」三個面向，其含括的概念命題陳述如附錄一所示，說明如下：

「不同營養來源的分類觀點」所要呈現的是生態系中動、植物所需之「能量」來源是不同的。此面向顯示學生應習得以獲得營養來源方式不同做為區分動、植物的依據，在幼稚園到小二階段，學生應知道動物透過「吃東西」來維生，而植物需要生活在有光的地方（概念編號1-2）；小六到國二階段學生應該學會更明確地區分植物能夠「自製食物」但動物卻「不能自製食物，需依賴其他生物維生」（概念編號3-2、3-7與3-6）。此外，植物亦能將自行製造之養分加以儲存，以供自身利用（概念編號3-3）或為動物所消費（概念編號3-3至3-6）。雖然動植物的能量來源不同，但是這些不同的來源都可視為是生物生存所需的「食物」—提供能量的來源（概念編號3-10）。

「光合作用」、「分解作用（廣義上包含呼吸作用與消化作用）」面向可以「不同能量形式轉換的觀點」合併呈現之，本面向是從驅動生態系能量轉換的作用加以探討。在幼稚園到小二階段先讓學生知道生物需要「食物」或「光」來維持生命（概念編號1-1與1-2）；到了小三至小五階段，學生應具有「能量是維持生命力之所需」的概念（概念編號2-2）；而小六至國二階段，學生必須瞭解能量可以不同形式於生命體中進行轉換（概念編號3-4），並且動植物的轉換方式有所差異，轉換的作用包括：光合作用（概念編號3-7）、呼吸作用（概念編號3-8）與消化作用（概念編號3-6）以及在轉換過程中伴隨的「熱量之散失」（概念編號3-8）；這些能量最初源自於太陽（概念編號3-11），並儲存於各種食物類型中（概念編號3-10）；上述概念內容均為學生於國三至高三學習概念編號4-1之基礎。

「食物網觀點」所傳達的是「能量」是經由食物網加以傳遞。學生在幼稚園至小二階段應先瞭解最基本的食物鏈概念，瞭解動物「吃些什麼」（概念編號1-3）；到了小三至小五，則應瞭解線性的「食物鏈」關係，並意識到所有動物的食物都可回溯至植物（概念編號2-1），而這部分的概念可做為瞭解概念編號3-11的基礎；較複雜的「食物網」概念（概念編號3-1）則是屬於小六至國二學生所應學習的。

（二）解讀「生態系之物質循環」的概念

物質循環包含「不同營養來源的分類觀點」、「食物網觀點」、「分解作用的觀點」、「食物網與分解作用的觀點」四個面向，其含括的概念命題陳述如附錄二所示，說明如下：

「不同營養來源的分類觀點」所包含的概念命題陳述與附錄一是相同的，不同之處在於附錄二探討此面向時，是以「物質」的觀點進行，著重的是瞭解食物除了是能量來源之外，也是構成生物體的重要物質，而構成動、植物所需的物質來源是不同的。

「食物網觀點」所傳達的是「物質」是經由食物鏈/網加以傳遞（概念編號1-3、2-1、3-1），並且以物質的觀點探討食物網時，必須強調清除者與分解者在物質循環中所扮演的角色（概念編號2-4與3-5），也就是那些死亡的生物同樣地會在「生物間的交互作用中」被利用。而清除者和分解者也是屬於「消費者」的角色，因為他們與生產者（植物）不同的是不會製造養分。清除者所扮演的是將大的物質轉為小的物質，而分解者則是將有機物轉為無機物，發散至環境中。

「分解作用的觀點」著重的是分解概念中的分解者角色（概念編號2-4與3-5）及其功能（概念編號3-9），而生物體的物質被分解回到環境後，經由各種生命現象的展現過程再次回到生物世界（概念編號2-3至3-9）。

「食物網與分解作用的觀點」是將生物系統與物理（環境）系統中的物質加以連結。概念編號3-1呈現各種生物透過食性關係使得物質在生命世界傳遞，並藉由分解者的功能（概念編號3-9），讓物質從生物系統回到物理（環境）系統，而物質在兩系統的質量總和是固定的（概念編號3-12），也就是物質是不斷地被循環與利用。

從附錄一、二的概念圖可發現，概念編號1-1、1-2、1-3、2-1、3-1、3-2、3-3、3-6、3-7、3-10以及4-1是兩概念圖共有的概念，亦即物質與能量的概念內容是相關聯的，同時其最終應達到的概念學習是「概念編號4-1」，此概念依

《科學素養圖集》建議，學生應於國三至高三階段學習。由圖1可知，概念編號4-1是由概念編號3-8、3-11、3-10及3-12所共同達成；概念編號3-11表示植物是生命系統能量的基礎，而植物所獲得的能量來自太陽，亦即太陽是維持生命系統能量的最初來源；所有的食物不論其來源是植物或動物均包含構成生命體所需的「能量」與「物質」（概念編號3-10）；食物中的能量經由氧化作用釋放出來（概念編號3-8）；而所有的物質則是在食物網中不斷地在生命系統與物理系統傳遞循環著（概念編號3-12）。

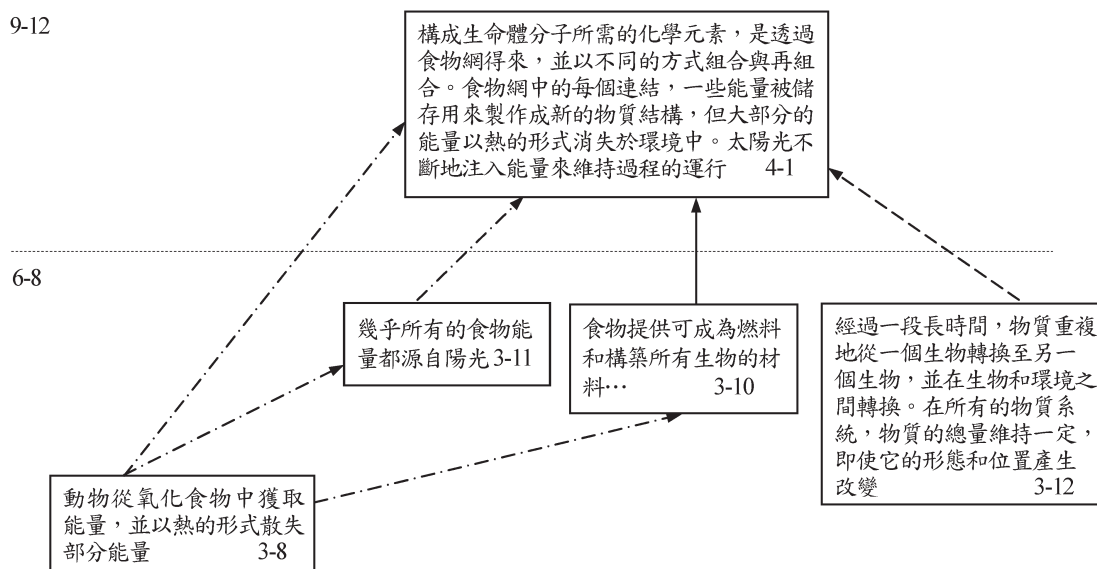


圖1 「生態系之物質循環」與「生態系之能量循環」的共同交集

註：1. 編號 a-b 為粗斜體者表示為物質與能量共有之概念

2. —→ 物質與能量概念之共同關連

--→ 物質概念間之關連

---→ 能量概念間之關連

資料來源：AAAS & NSTA (2001). Atlas of science literacy (pp. 77, 79). Washington D. C.: Author.

二、我國與美國課程在概念內容與學習階段上之差異

在文獻探討處已整理出我國教材細目中和物質循環與能量循環相關的內容，並依前節對於兩概念圖之解讀，進行我國九年一貫教材細目與美國《科學素養圖集》概念內容與學習階段之比較。

表2分析結果顯示，我國與美國科學課程於「概念內容」上只有概念編號1-1、2-1、3-1、3-2與3-4等五個具有「相同」的概念內容，佔23.81%；而概念編號2-4（關於清除者角色之認識）、3-10（食物能做為燃料並提供構築生物體的材料）與3-11（陽光幾乎是所有食物能量的來源）則無法找到能相符應的教材細目，佔14.29%；其餘之概念編號則是部分內容可產生對應，佔61.9%。根據《科學素養圖集》所建議的「學習階段」與上述分析出之教材細目的學習階段進行比較，發現：概念編號2-4、3-10與3-11因無法找到相符應的教材細目，因此無可對應之學習階段，學習階段是「不同」的僅有概念編號2-1，兩者佔19.05%；學習階段是「部分相同」的有概念編號1-1、3-3、3-5、4-1與4-2，佔23.81%；其餘的概念編號所對應出的學習階段則是「相同」的，佔57.14%。

此外從表2可知，以《科學素養圖集》為參照，欲從我國教材細目中的概念內容建立「生態系之物質循環與能量循流」主題，將因概念內容陳述之不同與缺漏，無法呈現出較完整的主題面貌。然而能產生對應的概念內容，其學習階段的建議多數是與美國相同的。

表2 我國與美國概念內容與學習階段差異表

對應結果	概念內容		對應結果	學習階段	
	概念編號	百分比		概念編號	百分比
相同	1-1、2-1、3-1、 3-2、3-4	23.81	相同	1-2、1-3、2-2、 2-3、3-1、3-2、 3-4、3-6、3-7、 3-8、3-9、3-12	57.14
部分相同	1-2、1-3、2-2、 2-3、3-3、3-5、 3-6、3-7、3-8、 3-9、3-12、4-1、 4-2	61.9	部分相同	1-1、3-3、3-5、 4-1、4-2	23.81
無法產生對應	2-4、3-10、3-11	14.29	無法產生對應	2-4、3-10、3-11	19.05
			對應結果不同	2-1	

對應結果並參考附錄一、二之概念圖，將我國教材細目中與研究主題相關的概念做一連結，形成圖2「我國教材細目中關於生態系之能量循流概念圖」與圖3「我國教材細目中關於生態系之物質循環概念圖」。

圖2與圖3之「130-1a」、「130-1b」在與附錄一、二對應時，皆是對應到「概念編號1-1」，且學習階段同樣是1-2年級，因此本研究將此兩概念以虛框

結合，表示其內容相似。圖2之「142-4c」、「213-4b」均與瞭解生物體之呼吸概念相關，因此以虛框結合，此與「概念編號3-8」部分概念內容產生對應。此外，圖3之「130-2a」、「141-2b」、「141-2a」皆與附錄二之「概念編號2-3」產生對應，且同樣是位於3-4年級階段（美國是3-5年級），因此本研究將此三個概念以虛框結合，表示其內容之相似；「510-4b」、「510-c」兩者之概念結合後與美國附錄二之「概念編號3-12」產生對應，因此本研究將此二個核心概念以虛框結合。

從圖2與圖3得知，至國中階段，我國課程關於物質循環與能量循流概念，最終應習得的概念為「217-4f」。此概念位於「課題：自然界的作用」之「主題：改變與平衡」的「次主題：能的型態與轉換」下，概念「217-4f」在次主題下的分項標題為「養分與能量的轉換」，從標題明顯可知此概念意欲結合生態系中「物質」與「能量」之關聯，而本研究所建構之我國物質循環與能量循流概念圖的最上位概念也正是核心概念「217-4f」。

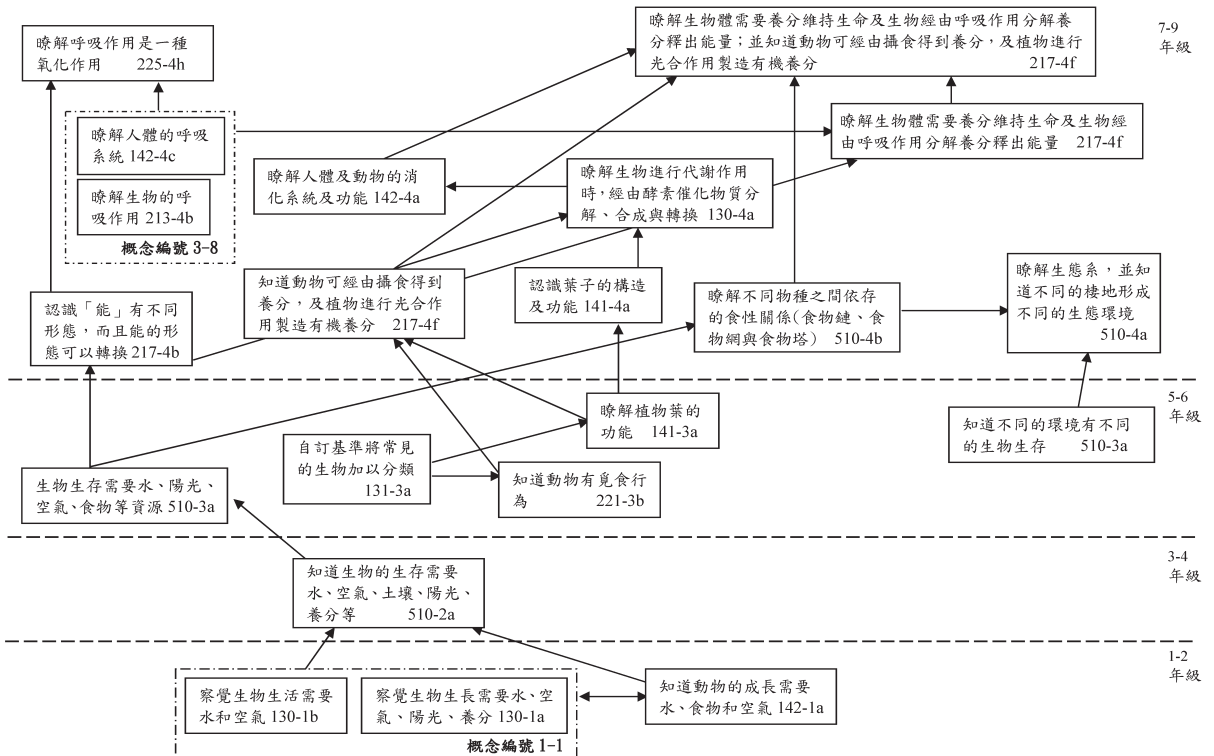


圖2 我國教材細目中關於「生態系之能量循流」概念圖

註：分析類目之概念編號以粗體表示

美國《科學素養圖集》與我國自然與生活科技領域教材細目之比較
 —以「生態系之物質循環與能量循流」為例

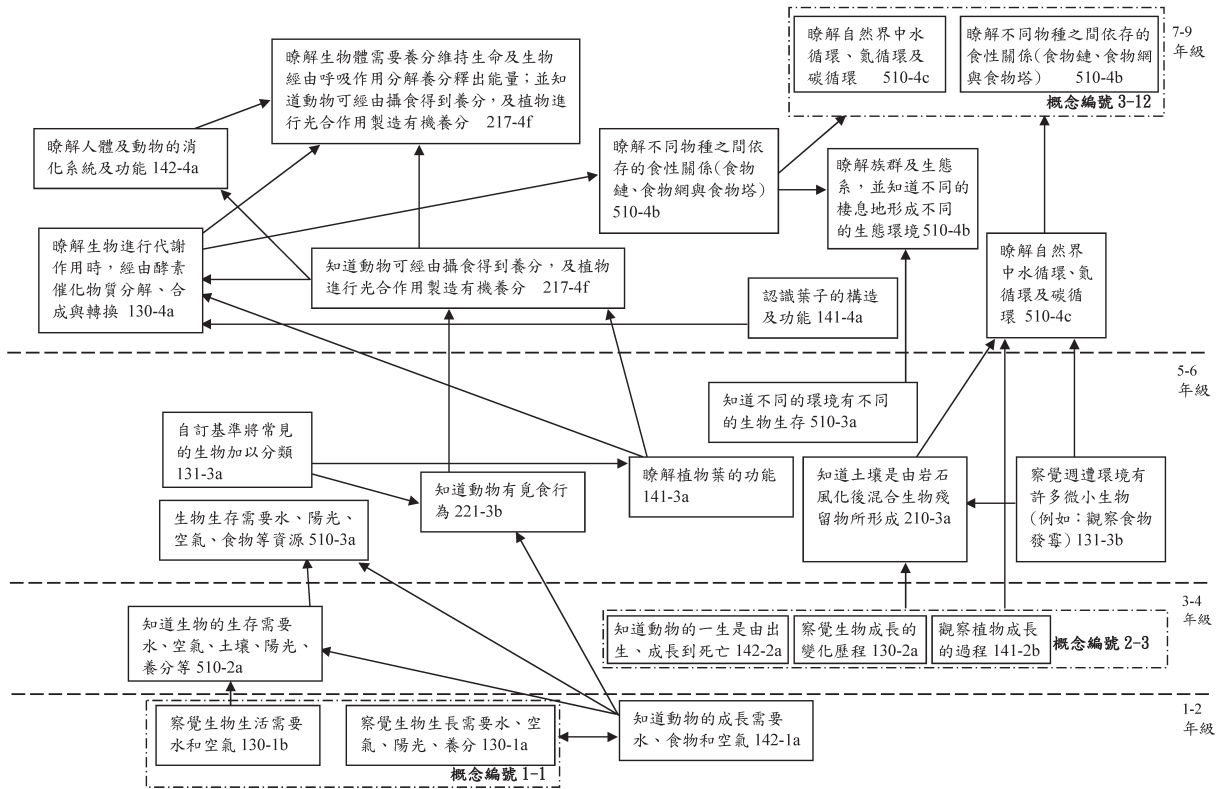


圖3 我國教材細目中關於「生態系之物質循環」概念圖

註：分析類目之概念編號以粗體表示

伍、結論與建議

本研究旨在透過內容分析法解讀美國《科學素養圖集》中「生態系之物質循環與能量循流」概念圖內各面向的概念命題陳述，並比較其各概念命題陳述及學習階段與我國教材細目之差異。研究結果重要結論如下：

一、美國《科學素養圖集》概念圖各面向所包含的概念命題陳述

經由生態學相關文獻（李家維等譯，2002；周光裕、明延凱，1999；蔡伸章，2006；AAAS Project 2061, 2002; Barak et al., 1997; Leach et al., 1995; Lin & Hu, 2003）分析各面向應包含的概念命題陳述時，發現能量循環概念圖中有關「不同能量形式轉換的觀點」、「食物網的觀點」，所包含的概念內容並不完整，說明如下：

依 Leach、Driver、Scott 與 Wood-Robinson (1995) 對於學習物質與能量循環的觀點，認為光合作用、呼吸作用和分解過程的理解有助學生瞭解「生物體間」、「生物與環境」中物質與能量的轉換，因此能量循環主題內有關「不同能量形式轉換的觀點」應包含「分解作用」，然而研究者在進行面向分析時，發現分解的相關概念多數（概念編號2-4、3-5與3-9等）沒有出現在能量循環概念圖中（附錄一），致使建構該面向概念圖時，有關廣義的物質分解概念僅包含「生物體間」（概念編號3-6、3-8），而如此會導致物質的再利用部分有銜接上的缺漏，學生無法理解生物死亡後，透過何種過程來循環。探討「食物網的觀點」時（附錄一、二），應包含生產者、消費者、清除者與分解者之角色，然而關於清除者角色與分解者角色（概念編號2-4與3-5）未出現於「能量循環」概念圖。

二、我國與美國在概念內容與學習階段上之差異

參照《科學素養圖集》分析教材細目中「生態系之物質循環與能量循環」概念時，許多概念命題因陳述方式不同而無法完整對應，而在學習階段的建議上多數是相同的。我國科學課程在本研究主題所缺乏的概念內容有：概念編號2-4、3-10與3-11；學習階段僅概念編號2-1為「不同」，我國現行課程是安排於國中階段，和張敬宜與熊召弟（1994）建議的學習階段相同。有關我國課程所缺乏的三個概念於本研究主題之重要性闡述如下，以期能做為我國課程修正時之參考：

- （一）「概念編號2-4」所包含的概念為「認識有些生物是以死亡個體為食，亦即清除者角色之認識」，此為「6-8年級」學習食物網以及分解作用概念

之基礎，亦即國小階段的學生對於食物網中參與者的認識除了生產者與消費者外，還應包含清除者和分解者，此有助其發展食物網和分解作用等概念，而這些內容的學習，能夠延伸到國中階段，達到概念初步統整的結果。此概念編號於《科學素養圖集》中建議之學習階段為國小三～五年級，所著重的學習內容為「認識清除者」。游淑媚（2003）的研究顯示四年級學生關於分解的概念，多數持有「動物消費」的想法類型，亦即能理解清除者之角色，顯示我國小學生於該年段能理解與學習此概念。

- (二) 從圖1可知「概念編號3-11」是最上位概念的基礎之一，此概念所傳達的是「陽光幾乎是所有食物能量的來源」與「能量」概念相關，並且以食物鏈以及光合作用做為其基礎概念。依 Lin 與 Hu (2003) 對物質循環與能量循流概念的分類來看，縱使學生能理解個別的概念如：食物鏈、光合作用，卻未必能以整合的方式理解具有交互作用的知識（如：概念編號3-11）。此外 Barak、Gorodetsky 與 Chipman (1997) 和 Lin 與 Hu (2003) 的研究亦顯示，能量概念的學習為學生學習「生態系之能量循流」主題之關鍵概念或產生困難的關卡，因此在課程設計上，必須讓學生提早接觸有關能量概念的學習，在教學內容上應注意不可省略生物學中的物理知識及避免以分離的方式呈現教材 (Lin & Hu, 2003)，若透過適切的陳述或教學策略，學生確實能理解有關能量的基本概念（張敬宜、熊召弟，1994；Novak, 2005）。
- (三) 「概念編號3-10」是關於「食物」角色的概念內容：食物能做為燃料並提供構築生物體的材料，AAAS Project 2061 (2002) 認為此概念是學生學習物質與能量循流相關概念的基礎。我國教育部於2003年頒行的九年一貫課程綱要之教材細目在「食物」角色概念上僅呈現「能量」的概念部分（修正前之教材細目編號為410-2a：覺察食物能提供熱量…），缺少了「食物可提供生物體組織構成所需物質之所需」的概念，然此教材細目於2008年所頒佈之課程綱要修正案中被刪除（教育部，2003，2008）。

三、建議

基於上述研究結果，本研究提出下列建議：

(一) 課程方面：

為使概念學習更完備，建議教材細目增列下列概念：

1. 「分解的基本概念—認識有些生物是以腐敗、死亡之生物或動物排泄物作為食物的」，此為瞭解「動物吃什麼（低年級）」廣度學習的延伸，以及認識「清除者與分解者（國中）」名詞概念之基礎。
2. 「陽光幾乎是所有食物能量來源」，此概念為理解「能量在生態系之傳遞是單向的並且於轉換過程中部分能量會被消耗，然而能量之所以能源源不絕存在生態系中，乃因陽光為其重要的輸入來源」之基礎。
3. 「食物不僅可提供能量，也提供個體組成所需的物質」，此整合食物網中生產者與各層級消費者均包含物質與能量之概念，並做為理解「構築生物體所需之化學元素與維持生存所需之能量是透過食物網獲得」之基礎。

(二) 教學方面：

本研究所分析之面向可做為教師設計教案、教學或評量學生概念理解與診斷學習困難之參考。此外，概念內容對應之結果，可提供中小學教師瞭解進行該主題教學時，應補充之概念為何。

(三) 未來研究方面：

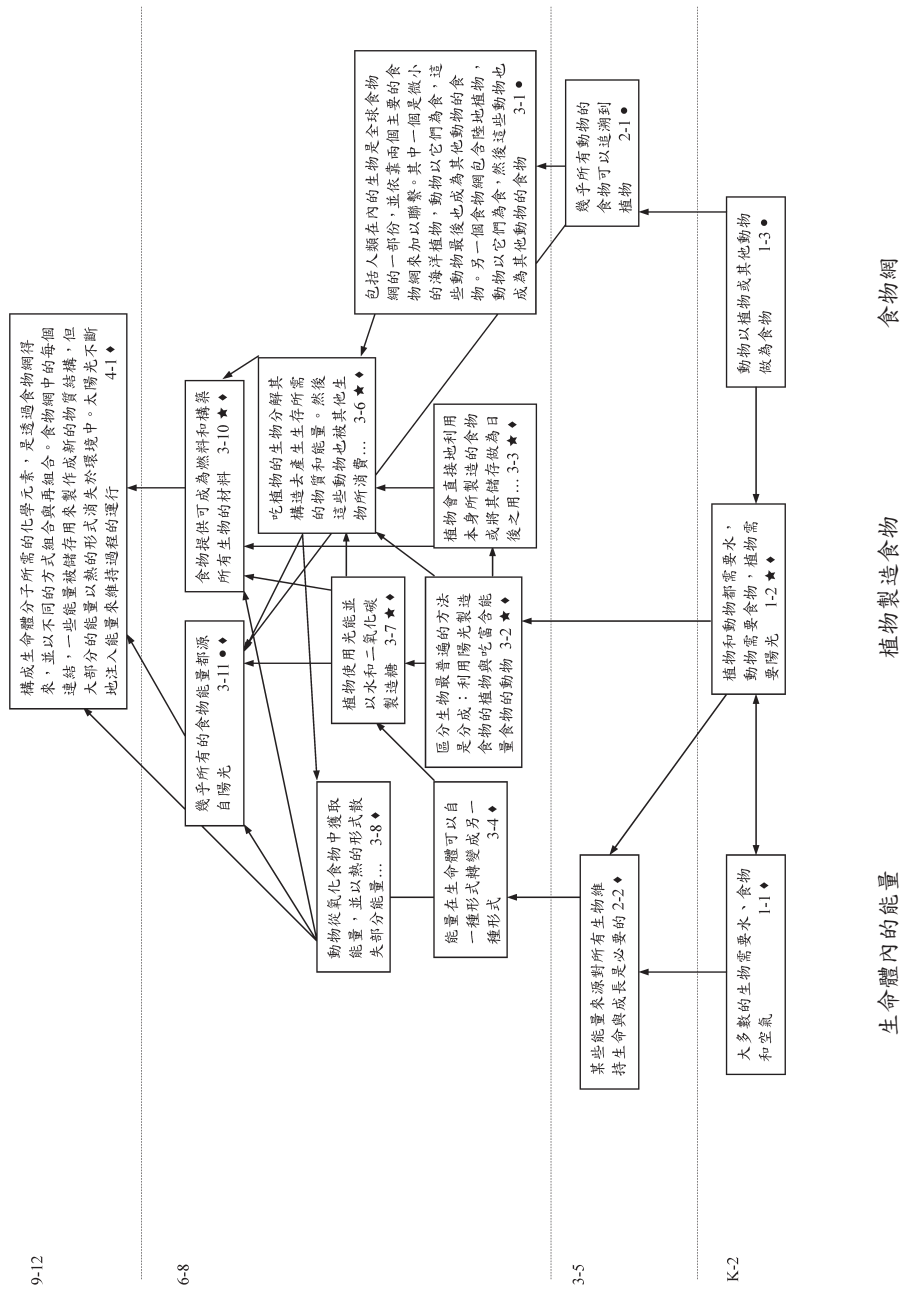
1. 解讀《科學素養圖集》的概念圖後，發現部分路徑仍未臻完整，AAAS (2001) 亦指出爾後概念學習研究如提出更新之結果，其所建構之圖可依其調整，因此關於能量循流圖中分解作用與食物網面向之修正，俟後續相關研究提供支持。
2. 運用本研究所建構之我國概念關聯圖進行教學設計，檢核其學習路徑是否適切。

參考文獻

- 王美芬、熊召弟（1998）。國民小學自然科教材教法。台北市：心理。
- 李家維、徐歷鵬、崔文慧、張立雪、黃璧祈、葉開溫、鍾楊聰（譯）（2002）。N. A. Campbell 著。生物學(Biology: 4th ed.)。台北市：偉明。
- 周光裕、明延凱（1999）。生態學。台北市：地景。
- 邱美虹（2000）。國民教育階段九年一貫課程綱要「自然與科技」領域中「自然科學」課程綱要之評介。科學教育月刊，231，20-27。
- 胡瑞萍、林陳涌（2001）。學生對物質循環與能量流動概念的診斷分析。論文發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。高雄：國立高雄師範大學。
- 陳文典（2003a）。能力本位課程的解讀與實行。2005年6月20日，取自<http://www.phy.ntnu.edu.tw/nstsc/doc/class/921027.doc>
- 陳文典（2003b）。「自然與生活科技」學習領域之課程及其實施。2005年6月20日，取自<http://www.phy.ntnu.edu.tw/nstsc/doc/class/920908-1.doc>
- 教育部（2003）。國民中小學九年一貫課程綱要。台北市：教育部。
- 教育部（2008）。國民中小學九年一貫課程綱要。台北市：教育部。
- 張敬宜、熊召弟（1994）。國民小學環境教育概念研究：生態平衡（二）。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告（報告編號：NSC-83-0111-S-152-002-Z）。台北：國立台北師範學院數理教育系。
- 游淑媚（2003）。中、小學學生對生物腐化原因的想法類型。師大學報：科學教育類，48，16-196。
- 游淑媚、張政昌（2003）。中、小學學生對生態概念的理解：物質循環。台中師院學報，17，251-280。
- 蔡伸章（譯）（2006）。D. F. Owen 著。生態學的第一堂課（What is ecology）。台北：書泉。
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *The living environment*

- in benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science. (1994). *Science for all Americans* (9th ed.). New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science & National Science Teachers Association. (2001). *Atlas of science literacy*. Washington D. C.: Author.
- AAAS Project 2061. (2002). *Key science ideas used in evaluating the programs' content*. Retrieved October 22, 2005, from <http://www.project2061.org/publications/textbook/mgsci/report/ideas.htm#life>
- Bell, B. F., & Barker, M. (1982). Towards a scientific concept of "animal" . *Journal of Biological Education*, 16, 197-200.
- Barak, J., Gorodetsky, M., & Chipman, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International Journal of Science Education*, 19, 21-30.
- Hogan, K., & Fisherkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: Bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 941-970.
- Lin, C. Y., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25, 1529-1544.
- Leach, J., Driver, E., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1995). Children's ideas about ecology 1: Theoretical background, design and methodology. *International Journal of Science Education*, 17, 721-732.
- Lloyd, C. V. (1990). The elaboration of concepts in three biology textbooks: Facilitating student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 1019-1032.
- Novak, J. D. (2005). Results and implications of a 12-year longitudinal study of science concept learning. *Research in Science Education*, 35(1), 23-40.
- Risser, P. (1986). Ecological literacy. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 67, 264-270.

附錄一 「生態系之能量循環」概念發展圖—生命科學部分，譯自AAAS和NSTA
(2001, p. 79)



註：1. 「不同營養來源的分類觀點」所包含的概念命題陳述以★標示。
2. 「不同能量形式轉換的觀點」所包含的概念命題陳述以◆標示。
3. 「食物網觀點」所包含的概念命題陳述以●標示。

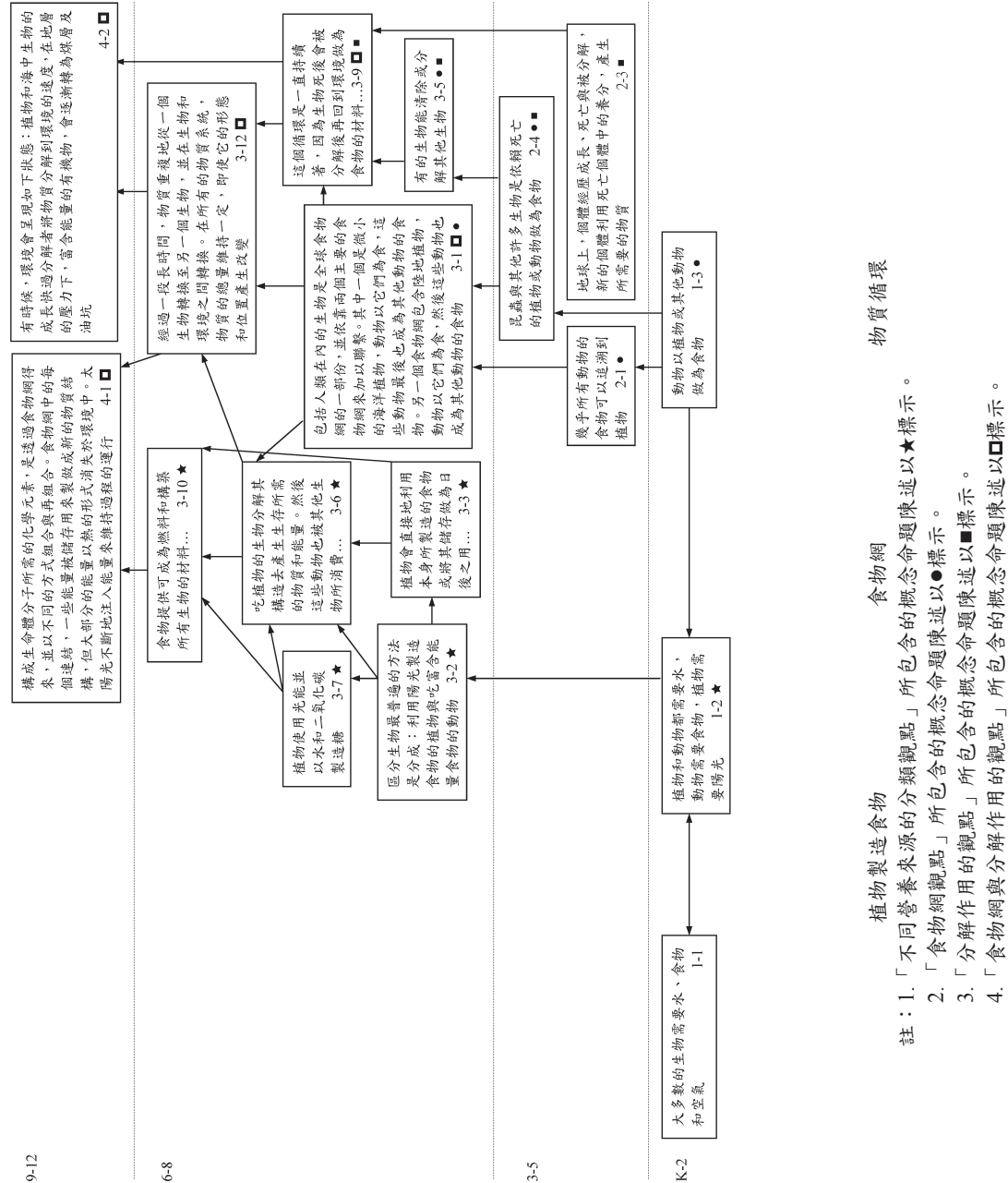
9-12

6-8

3-5

K-2

附錄二 「生態系之物質循環」概念發展圖—生命科學部分，譯自AAAS和NSTA (2001, p. 77)



註：1. 「不同營養來源的分類觀點」所包含的概念命題陳述以★標示。
 2. 「食物網觀點」所包含的概念命題陳述以●標示。
 3. 「分解作用的觀點」所包含的概念命題陳述以■標示。
 4. 「食物網與分解作用的觀點」所包含的概念命題陳述以□標示。

美國《科學素養圖集》與我國自然與生活科技領域教材細目之比較
—以「生態系之物質循環與能量循環」為例

附錄三 分析類目與分析單位對應結果表

分析類目		分析單位		差異說明	判定	
概念編號-概念命題陳述	細目編號-概念命題陳述				概念內容	學習階段
1-1 大多數的生物需要水、食物和空氣	130-1a	察覺生物生長需要水、空氣、陽光、養分		1. 有關生物生存的需求，我國相對應的細目位於：「130生命的共同性—生物生活」、「510生物和環境—生物生長所需的條件、生存的環境」，共有四個細目。 2. 細目的核心概念內容非常相近，雖然分佈在三個學習階段、兩個不同的次主題，但都是要傳達「生物生存的需求」。	相同	部分相同
	130-1b	察覺生物生活需要水和空氣				
	510-2a	知道生物的生存需要水、空氣、土壤、陽光、養分等				
	510-3a	知道生物生存需要水、陽光、空氣、食物等資源……。				
1-2 植物和動物都需要水，動物需要食物。此外植物需要陽光	142-1a	知道動物的成長需要水、食物和空氣		1. 關於食物鏈的基本部分，我國找不到一個教材細目可以完對應至「動物需要覓食，植物需要光」。 2. 尋找同樣是第一階段的細目，僅能找到「動物」對應的細目位於：「142動物的構造與功能—動物的生長歷程」。	部分相同	相同
3-11 幾乎所有的食物能量都源自陽光	無相對應的細目			1. 關於「太陽是生態系能量來源」的概念，於我國教材細目找不到相對應的概念。	無對應之內容	無對應之階段

附錄四 我國與美國概念內容與學習階段對應表

概念編號	教材細目編號
1-1	130-1a、130-1b、510-2a、510-3a
1-2	142-1a
1-3	142-1a
2-1	510-4b
2-2	510-2a、510-3a
2-3	130-2a、141-2b、142-2a
2-4	無對應之項目
3-1	510-3a、510-4a、510-4b
3-2	131-3a、221-3b、217-4f
3-3	141-3a
3-4	217-4b
3-5	131-3b
3-6	130-4a、142-4a、510-4b
3-7	141-3a、141-4a
3-8	213-4b、217-4f、225-4h、142-4c
3-9	210-3a、510-4b、510-4c
3-10	無對應之項目
3-11	無對應之項目
3-12	510-4 b、510-4c
4-1	217-4f、510-4 b、510-4c
4-2	510-4c

The Comparison of the Teaching Material Contents Between Atlas of Science Literacy and the Science and Technology Curriculum in Taiwan: Flow of Matter and Energy in Ecosystems

Wei-Jan Tsai^{1*} Kuo-Hua Wang²

¹Nanhsiing Elementary School, Changhua County

²Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

*childlike67@yahoo.com.tw

Abstract

The purposes of this study were twofold: (a) analyzing the concepts of “Flow of energy in ecosystems” and “Flow of matter in ecosystems” in Atlas of Science Literacy [Atlas]; (b) comparing “Flow of matter and energy in ecosystems” concepts representation and learning stages between the Taiwan Curriculum and the Atlas. The content analysis method was used in this study, including the qualitative and quantitative data. After repeatedly coding, analyzing, and comparing, we found that: (a) the Atlas covers most concepts of “Flow of matter and energy in ecosystems” except concepts of “decomposition” and “food web” . (b) There are 23.81% of the teaching materials in the topic of “Flow of matter and energy in ecosystems” were the same between the Taiwan curriculum and the Atlas, 66.67% of the teaching materials were partially same, and only 14.29% of teaching materials were not match each other; In addition, 57.14% of proposed learning grades were the same, 23.81% of proposed learning grades were partially same, and 19.05% of proposed learning grades were not match or different in two curriculum. Three material contents, such as “Know the role of scavenger” , “Food provides molecules that serve as fuel and building material for all organisms” , and “Almost all food energy comes originally from sunlight” couldn’t match between the Taiwan curriculum and the Atlas. Suggestions for teachers and curriculum development are provided in the study.

Keywords: the teaching material content of Grade 1-9 Curriculum, Matter Cycling, Atlas of Science Literacy, Energy Flow

