物質科學概念融入「物質循環及能量流動」單元之研究

楊鈞媛、林陳涌
國立臺灣師範大學生命科學系
cooltomato@tp.edu.tw

摘　要

「能量流動和物質循環」單元是屬於生態學領域討論的知識，包含了物質、生物學和生態學的概念。在現行國民中學七年級課程中卻缺乏了物質相關概念的教學，且在相關研究中發現，學生學習本單元是有困難的。本研究將研究對象分為實驗組和對照組，進行實驗組教學時，把物質科學概念融入「能量流動和物質循環」單元，共兩週的實際教學和評量。發現實驗組高分群學生與對照組有顯著差異，進行延宕測驗結果，發現實驗組全部的學生（不分群）與對照組也出現顯著差異。本研究建議國民中學自然與生活科技領域教師進行「能量流動和物質循環」單元教學時，應融入物質科學概念。

關鍵字：生態學概念、物質科學、科學教學

一、 研究背景

(一)「能量流動及物質循環」單元的重要性

「能量流動和物質循環」單元是屬於生態學領域討論的知識，此單元的教學目標是希望學生能知道物質和能量在生命世界及非生命世界間的傳遞情形，了解其實生物體和其生存環境是息息相關的，甚至與整個地球都是不可分割的，進而產生對環境尊重的態度，促進其保護環境的行動。

「能量流動和物質循環」單元應該包括三階層的概念(Lin et al. 2003)：第一個階層是外在現象知識，屬於生物體層次，也就是在生態學上的觀念，包括食物鏈、生產者、消費者、分解者的概念。第二個階層是內在機制知識，屬於細胞層次，包括光合作用、呼吸作用的概念。第三個階層是基本物質科學知識，屬於分子層次，包括物質和能量的概念。Hogen et al. (1996) 整理了「營養循環」的專家概念和相關的次概念，也提出了要了解物質和能量在生命世界和非生命世界的循環，需要有物質、生物學和生態學的概念。

在現在知識爆炸的時代，整合、應用知識的能力遠比能記憶多少知識來的重要。前人研究指出(Solomon1　1994)，許多學生分不清楚「陳述生物現象」和「解釋生物現象」有什麼不同，學生無法找到適合的機制來解釋外在現象。例如學生解釋葉子為什麼會從樹上掉下來，是因為葉子變成紅色和咖啡色；解釋澱粉為什麼會變成葡萄糖，是因為碘液不再變成黑色了。學生知道片段的知識，卻無法將這些片段的知識加以連結、整合，甚至會造成倒果為因的迷思，他們在學校課程中缺乏這樣的練習機會。在現行的國民中小學課程中，學生在小學學習過食物鏈的初步概念，七年級上學期學習過細胞學、光合作用、呼吸作用的概念，七年級下學期在學習「能量流動和物質循環」單元前也會學習到食物鏈中生產者、

消費者、分解者的概念。這些概念分散在不同年段的課程中，而「能量流動和物質循環」是一個整合性的教學單元，就學生而言，學習此單元是一個機會，他們可以應用學習過的內在機制，包括光合作用和呼吸作用，來解釋食物鏈中發生的能量和物質傳遞，藉此練習將學過的知識進行整合和應用。

（二）學生在「能量流動和物質循環」相關概念的學習困難

學生如果要在「能量流動和物質循環」單元學習得好，不但要學習好上述三個階層的概念，在三個階層概念之間也要有良好的連結。然而，探討文獻發現，許多研究都指出學生在「能量流動和物質循環」的相關概念學習上有許多困難，更是無法做到良好的概念連結。就外在現象知識而言，有些學生在建立食物鏈的時候，無法從生產者開始建立（Gallegos et al. 1994），無法產生「所有生物都要依賴生產者，生產者為食物鏈的底層」的想法，因為學生缺乏食物為能量蘊含物質的概念，也缺乏光能如何藉由光合作用轉化為化學能，進而在食物鏈中傳遞的概念（Hogen et al. 1996），如果學生的物質和能量的基本概念都沒有學習過，學生就只能由生活經驗中知道食物鏈是吃與被吃的關係，而物質和能量如何藉由食物鏈在自然界傳遞，就無從得知了。

在內在機制知識部份，學生對於養分的獲得和利用有許多另有概念或不完整的概念。植物獲得養分的方式是光合作用，而學生可以知道植物進行光合作用會吸收二氧化碳，釋放出氧氣，但是很少學生知道過程，也不知道過程中能量的轉換，以為只是動物和植物交換氣體（Waheed 1992, Hogen et al.1996, Ozay et al. 2003）。生物細胞以呼吸作用利用養分產生能量，對於學生而言是很困難的概念，學生通常可以指出養分對於人類的重要，但是無法了解養分是如何影響人體的，這反映出學生缺乏「化學」在生物過程中所扮演的角色的相關知識（Hogen et al. 1996）；而對於植物呼吸作用的另有概念更是常見於相關研究中，包括植物的呼吸作用與動物相反、植物只有在夜晚會進行呼吸作用(Leach et al. 1996, Ozay et al. 2003) ，這都是因為學生對於能量、物質與生命的關係不清楚，使學生只能由表面的現象或日常的經驗來學習片面的知識。

許多調查學生「能量流動和物質循環」相關概念的研究，認為學習生物學需要應用化學或物理學的知識(Leach et al. 1996, Barak et al. 1997)，更具體提出要融合物理或化學於生物學教學的建議(Solomon et al. 1994, Barak et al. 1997, Barak et al. 1999, Lin et al. 2003)。本研究著重在教學實務的落實，而不僅僅是調查學生的概念。希望融合物質科學概念後，能有效的幫助學生在「能量流動及物質循環」單元的學習。

二、 研究目的

本研究的目的在於探討學生在學習融入物質科學概念的「能量流動及物質循環」單元後，對於「能量流動和物質循環」的概念學習與對照組學生是否有差異。

三、 研究方法

（一） 研究對象

本研究是以台北市某國民中學七年級未學過「能量流動及物質循環」的六個班級學生為對象，學生人數共為 183 人，分班方式為常態編班。參與教學實驗的教師 1 人，是有五年教學經驗之自然與科技領域教師。

本研究將學生分成實驗組和對照組各三個班級，實驗組採用融入物質概念教學，共 94 人；對照組維持原課程教學，共 89 人。兩組學生在「自然與生活科技下學期第二次段考」以及「物質和能量概念測驗」的前測成績均未達顯著差異，分析結果如表 1。

表 1、實驗組與對照組學生兩項成績之分析結果

自然與生活科技下學期第二次段考					
	人數	平均分數	標準差	T 值	P 值
實驗組	94	76.117	20.0926	.226	.821
對照組	89	75.056	19.2250		
物質和能量概念測驗					
	人數	平均分數	標準差	T 值	P值
實驗組	94	9.22	3.223	.365	.716
對照組	89	9.11	3.413		

（二） 研究設計

本研究採用準實驗研究法，以六個國中七年級的班級為研究對象，三個班級為實驗組（N=94）而三個班級為對照組（N=89）。研究的獨立變因為教學內容及方法（是否融入物質概念教學）、生活與自然科技學習成就分群（高分群和低分群），依變因為「物質和能量概念測驗」。研究架構如圖 1：

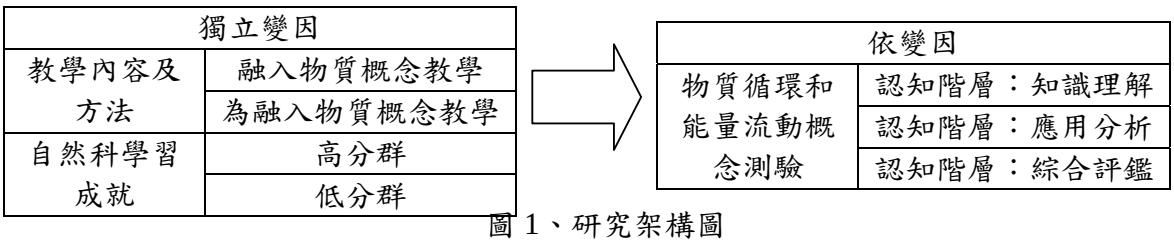

圖 1、研究架構圖

1. 獨立變因

(1)融入物質概念教學:在確立研究目的及方法後,民國 95 年 2 月開始發展教學法。 首先，分析康軒版七年級下學期自然與生活科技課本內容，第六章第三節-能量的流動及第六章第四節-物質的循環，並參考八年級自然與生活科技課本內容，作為融入物質科學概念教學的參考。接下來發展補充教材及設計適合七年級學生的補充活動，本研究設計兩週的課程，補充的單元包括「認識物質和能量」、「活動：超級拼一拼」，另外在「能量流動及物質循環」單元教學時，以融入粒子觀念和能量轉移的方式教學，以幫助學生連結之前補充的物質概念。

(2)自然科學習成就：以「自然與生活科技下學期第二次段考」成績作為標準，將實驗組三班全體人數的前 27%分為實驗組高分群，後 27%分為實驗組低分群；將對照組三班全體人數的前 27%分為對照組高分群，後 27%分為對照組低分群，以方便進一步的分析。

2. 依變因

依變因為學生之「物質循環和能量流動概念測驗」成績,「物質循環和能量流動概念測驗」為 28 題的單一選擇題，每題有四個選項，其中有一個最適當的答案。以布魯姆的教學目標為依據，將此份測驗分為知識理解、應用分析、綜合評鑑三個不同能力層次的題目，

知識理解 13 題、應用分析 6 題、綜合評鑑 9 題。「物質循環和能量流動概念測驗」施測時間，除了在「物質循環和能量流動」單元學習之後進行成就評量，並在兩個月後，以同一份工具進行延宕測驗，此時學生仍然還沒有進行正式的理化課程。此份工具經過兩班(60 人)已學過此單元的學生進行預試，經過兩次的修正，此份「物質循環和能量流動概念測驗」試題難度平均 65.6 到 82.7，鑑別指數達到 32.4 以上。

（三） 研究流程

研究流程分為三個階段，如表 2。

表 2、研究流程表

研究階段	時間	研究進行流程
研究準備階段	95 年 1 月	蒐集相關文獻，確立研究方法
	95 年 2 月	概念分析、編寫補充教材、發展教學法
	95 年 4 月	發展「物質和能量概念測驗」和「物質循環和能量流動概念測驗」，預試並修正，以求良好的難度和鑑別度。
實施教學階段	95 年 5 月下旬	前測：「物質和能量概念測驗」
	95 年 6 月上旬（為期兩週）	進行實驗組和對照組教學
	95 年 6 月下旬	後測：「能量流動和能量循環概念測驗」
	95 年 9 月上旬	延宕測驗:「能量流動和能量循環概念測驗」
資料分析階段	95 年 7 月至 9 月	資料彙整並進行分析、結果討論、撰寫研究報告。

四、 研究結果

（一） 本研究使用 spss12.0 for Windows 進行學生「物質循環和能量流動概念測驗」得分的共變數分析，以七年級下學期第二次段考自然科成績作為共變數，了解分組學生在此單元的學習成效有無顯著差異。結果如表 3。

表 3、「物質循環和能量流動概念測驗」得分的共變數分析表

	後測（總分 28 分）			**延宕測驗**（總分 28 分）		
	人數	平均分數	標準差	人數	平均分數	標準差
實驗組全部	94	18.27	6.098	89	**19.35***	6.566
對照組全部	89	17.73	5.626	81	**16.93***	6.455
實驗組高分群	26	**24.58***	2.062	26	**25.69***	1.668
對照組高分群	27	**22.41***	2.872	27	**22.41***	3.775
實驗組低分群	23	11.87	4.434	21	12.71	5.423
對照組低分群	25	11.48	3.853	20	11.20	4.299

*:p 值<.05

由表 3 可以發現，在後測得分中，實驗組全部的學生和對照組是沒有顯著差異的，但是在高分群部份，實驗組得分高於對照組得分，達到顯著差異。在兩個月後的延宕測驗得分中，實驗組全部學生的得分高於對照組，達到顯著差異，而且在高分群學生部份，實驗

組得分高於對照組，達到顯著差異。

（二） 本研究使用 spss12.0 for Windows 進行「物質循環和能量流動概念測驗」中不同能力層次-知識理解、應用分析、綜和評鑑得分的 t-test 統計考驗，以了解分組學生在不同能力層次上是否有差異。結果如表 4。

表 4、不同認知程度 t-test 分析

後測							
		知識理解（總分 13 分）		應用分析(總分 6 分）		綜合評鑑（總分 8 分）	
	人數	平均分數	標準差	平均分數	標準差	平均分數	標準差
實驗組全部	94	9.37	3.055	3.23	1.793	5.66	2.003
對照組全部	89	8.91	3.033	3.10	1.552	5.72	2.034
實驗組高分群	26	**12.077***	.935	**4.92***	1.020	7.50	1.105
對照組高分群	27	**11.37***	1.182	**3.96***	1.224	7.07	1.542
實驗組低分群	23	6.30	2.803	1.74	1.287	3.83	1.527
對照組低分群	25	5.52	2.400	1.96	1.369	4.00	1.826
延宕測驗							
		知識理解（總分 13 分）		應用分析(總分 6 分）		綜合評鑑（總分 8 分）	
	人數	平均分數	標準差	平均分數	標準差	平均分數	標準差
實驗組全部	94	**9.61***	3.062	**3.84***	1.852	5.90	2.277
對照組全部	89	**8.54***	3.198	**3.04***	1.860	5.35	2.192
實驗組高分群	26	**12.12***	.952	**5.58***	.902	**8.00***	.693
對照組高分群	27	**10.93***	1.708	**4.33***	1.617	**7.15***	1.350
實驗組低分群	23	6.57	3.155	2.57	1.399	3.57	1.630
對照組低分群	25	5.85	2.621	1.75	1.293	3.60	1.729

*:p 值<.05

由表 4 可以發現，在後測得分上，實驗組全部學生和對照組的得分是沒有顯著差異的，而高分群部份，實驗組學生在知識理解層次與應用分析層次的得分高於對照組，達到顯著差異。在延宕測驗得分上，全部的學生部份，實驗組學生在知識理解層次與應用分析層次的得分高於對照組，達到顯著差異；而高分群部份，實驗組學生在知識理解層次、應用分析層次與綜合評鑑層次的得分皆高於對照組，達到顯著差異。

五、 討論及結論

本研究的目的在於探討學生在學習融入物質科學概念的「能量流動及物質循環」單元後，對於「能量流動和物質循環」的概念學習與對照組學生是否有差異。由研究結果發現，學生在學習融入物質科學概念的「能量流動及物質循環」單元後，立即進行測驗（後測），只有高分群的學生有顯著的差異，而且只有知識理解層次與應用分析層次的得分上有差異。國內七年級學生的年齡為 13 到 14 歲，對於抽象概念、無法直接觀察到的現象較無法有良好的學習，在本研究中加入的物質科學概念，便屬於這類抽象、微觀的概念，對於這個年紀的學生而言是較為艱深的，所以只有高分群的學生在學習過後能有較佳的立即學習效果；知識理解層次與應用分析層次能力是較低階層的能力，為該年紀學生能力較能所及，而綜合評鑑層次能力是較高階層的能力，即使是高分群的學生在得分上也沒有顯著的差異。

延宕測驗是教學過後兩個月，以同一份工具進行測驗。過了一個暑假，七年級升上八年級的學生，心靈與認知上都有所成長，此時進行的延宕測驗結果也和兩個月前、剛教學過後進行的後測有所不同。在延宕測驗整體得分上，不但是高分群的學生有顯著的差異，以全部的學生進行統計分析，也有顯著的差異，表示不但高分群的學生有長期的學習效果，中間的學生的學習效果也顯現出來了。在不同認知能力部份，全部的學生在較低層次的知識理解層次與應用分析層次能力方面有顯著的差異，而高分群的學生在較高層次的綜合評鑑層次上也出現了顯著的差異，表示至少中間的學生在較低層次能力的學習效果也顯現出來了。

「能量流動和物質循環」單元包括外在現象知識、內在機制知識和基本物質科學知識，現行的七年級自然與生活科技課程中，卻只有介紹外在現象知識、內在機制知識，而基本物質科學知識卻延後到八年級才進行教學，而本研究融入物質科學概念於「物質循環及能量流動」課程中，就是希望補足學生學習「能量流動和物質循環」單元時所需要的概念。由研究結果看來，只有程度較好的學生有立即性的學習效果，但就較長期的學習成果而言，對中等以上的學生都有顯著的成效。依學生的年齡不同，年長的學生在概念連結上是較年幼的學生為廣泛(Leach et al. 1996)，隨著學生的成長，給予學生充足的概念，讓他們在進行概念連結時有原料可以運用，這不但是在科學知識的學習上可以達到事半功倍之效，更是在邏輯、整合能力的訓練上一個大好機會。因此，本研究認為學生在學習融入物質科學概念的「能量流動及物質循環」單元後，對於「能量流動和物質循環」的概念學習是有幫助的，建議國民中學自然與生活科技教師，在進行「能量流動和物質循環」單元教學時，應該嘗試融入物質科學概念，並給予學生適當的機會整合他們所學的知識。

六、 參考文獻

Barak, F., Sheva, B.& Gorodetsky, M. (1999). As 'process' as it can get：students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education, 21*(12), 1281-1292.

Barak, F., Gorodetsky, M.& Chipman, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International Journal of Science Education, 19*(1), 21-30.

Gallegos, L., Jerezano, M. E.& Flores, F. (1994). Preconceptions and relations used by children in the construction of food chains. *Journal of research in science teaching, 31*(3), 259-272.

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*(9), 941-970.

Leach, J., Driver, R., Scott, P.& Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2：ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education, 18*(1), 19-34.

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*(12), 1529-1544.

Ozay, E.& Oztas, H. (2003). Secondary students'interpretation of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education, 37*(2), 68-70.

Solomon, J.& Duveen, J. (1994). What's happened to biology investigations? *Journal of Biological Education, 28*(4), 261-266.

Waheed, T.& Lucas, A. M. (1992). Understanding interrelated topics：photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education, 26*(3), 193-199.