

學生對體溫恆定作用解釋的本質

洪佳慧¹、林陳涌²

¹² 台灣師範大學科學教育研究所

b1121101@ms33.hinet.net、lcy@ntnu.edu.tw

摘要

恆定作用一直是中小學生在學習上具困難的單元，本研究的目的是由體溫恆定的角度切入，探討學生經由對恆定系統的深入學習後，其對體溫恆定作用的本體分類屬性為何。研究對象為六位已修習過高中基礎生物學、人體解剖學(含實驗)、人體生理學(含實驗)之學生，經由體溫恆定作用之開放式情境作答題組的晤談，分析其對體溫恆定作用的概念本體分類。結果顯示：學生在恆定作用中本體屬性大多以事件類別屬性為主，且最常以「因果關係」來解釋恆定作用。建議透過教學以及評量方法的提升，幫助學生瞭解學習的架構以及建立合適的心智模式，讓學生在多重螺旋學習後對於科學知識建立正確的概念屬性。

關鍵詞：本體論、恆定作用、概念類型

一、前言

恆定作用為學生由小學即已開始學習的概念，在小學時雖然學生所學習到的是恆定現象的觀察(例如：運動前後的心跳測量)，但在中學時經由教師以及教科書的引導，學習的內容漸漸加入恆定作用相關的機制以及理論的部分，在學習過程中，課堂的實驗活動甚至以預測、觀察以及解釋(Prediction, Observation, Explanation; POE)的方式來說明現實生活中所體驗到的恆定作用。恆定的概念由小學即開始導入，一直到中學、大學的課程中都不曾缺席，不僅代表此項概念在人類日常生活過程中具有重大意義，同時也表示此概念在生物學上的重要性。

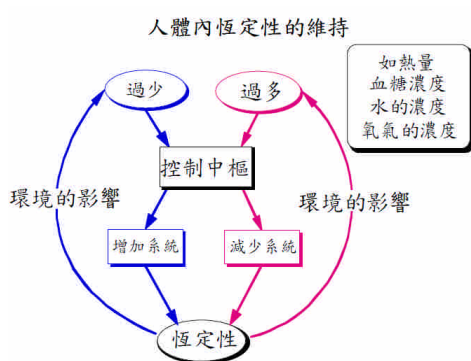
恆定作用涉及數個系統的相互協調，包含呼吸系統的恆定、水分的恆定、血糖的恆定與體溫的恆定等，每一個恆定系統的學習都有其難度及複雜性，但是學生的迷思概念來源常常不是來自於對恆定作用系統的學習不夠精確及深入，而是忽略了系統間整體的作用關係及微觀系統的動態過程，也就是不瞭解概念本體「平衡過程」的特質，若以Chi(1997)的概念學習的角度來看，學生在學習的初始，錯置了概念本體分類的屬性，因此也造成了往後學習的困難，恆定作用成為在生物學的學習上十大難學的概念之一(徐毓慧，2001)。因此，本文的目的是希望由體溫恆定的角度切入，探討學生經由對恆定系統的深入學習後其對體溫恆定作用的本體分類屬性為何。

二、文獻探討

恆定作用

所謂之恆定作用，依據國立編譯館(2000)在教科書中之定義，包含兩部分的意義，一個是恆定的現象：「在正常情況下，生物體內水分、動物的心搏和呼吸次數、血糖濃度和鈣、鐵的濃度以及某些動物(鳥類和哺乳類)的體溫等，都維持在某一特定的範圍內。這種現象稱為恆定性」，由教科書之描述可以看見恆定為一個平衡的結果，可以說是一種靜態的現象；另一個為恆定的過程，也就表示了恆定作用是一個內在環境維持和平衡的機制，恆定不僅只是一種現象，其包含物質交換、傳輸、平衡以及各個機制間不停監控的過程(徐毓慧，2001)。

表 1、事件和滿足限制條件的概念的屬性(修改自：Chi, 1997；邱美虹，2000)



事件概念(Event)	滿足限制條件的概念 (Constraint-based interaction, CBI)
1.明顯的行動(distinct actions)	1 單一行動的(Uniform actions)
2.有界線的(含起點與終點) (Bounded/ begins and ends)	2.無界線的 (Unbounded/ ongoing)
終止的(Terminates)	持續不斷的(Continuous)
3.序列的(Contingent)	3.同時發生的(Simultaneous)
4.因果關係(Causal)	4.隨機(Random)
5.目標導向(Goal-directed)	5.淨效應(Net effect)

圖一：恆定機制架構(引自：徐毓慧，2001)

徐毓慧(2001)與黃佳杏(2007)的研究中，整理出體溫恆定作用的分析，可以看出體溫恆定作用(圖一)包含5個主要要素：

- (一) 現象：在正常情況下，體溫會升高、降低且永遠落在某一特定的範圍內，持續變化淨反應的結果會呈現出體溫穩定的現象。
- (二) 物質與能量的維持：體溫恆定的維持具有輸入(受器)和輸出(動器)的區間。
- (三) 動態過程：體溫恆定是一個常態的內在環境維持的過程，是反覆循環，交互作用，生物恆定系統是一套複雜的系統，主要由回饋機轉負責調控。
- (四) 整體性：恆定性的整體形態是恆定各控制系統內，構成要素共同作用的結果。
- (五) 維持生命現象所需：恆定控制機制維持內部的物理與化學環境在一個有利於細胞活動的範圍。此說明恆定作用不僅是現象，也不僅是生物體的物質間的動態平衡，還具有維持生命現象的意義。

在上述五項原則中，可看出恆定作用應包含巨觀的現象面、微觀的物質交換及系統間全面性動態交互作用的過程，還可以發現恆定作用的學習是具有促成生命現象維持的意義。在現行的中學教科書中，無論是在文本的陳述或是圖示上，多著重在恆定作用的現象及物質維持、回饋作用上，對於恆定現象是持續動態平衡的結果，以及系統間具整體性的概念較少提及(康軒，2008)。生物教科書中呈現的文本及圖示或許包含了對恆定概念的所有原則及作用機制，但是對於初學者來說，其間的連結若僅由文本的閱讀甚為困難，亟需要教師加以教學的引導以及促進連結，才容易看見恆定作用的全面性(葉季昀，2006)。

體溫恆定性概念的本體屬性

(一) 過程本體的概念

在 Chi(1997)的文章中，提出了概念架構可以分為三個本體類別屬性(category attributes)，分別為：物質本體(Material substance)、過程本體(Processes)以及心智狀態(Mental states)，而過程本體又可以分為兩種本體的種類：事件(events)與滿足限制條件的概念(Constraint-based interaction, CBI)，也就是平衡(equilibration)。Chi認為本體樹間是相互獨立的，在同一本體類別內的概念改變屬於信念上的修正，是較容易的概念改變；只要是跨越本體樹的概念改變是較激烈的過程，屬較不容易的概念改變方式(邱美虹，2000)。

Chi 定義出六項「平衡」所具有，但是「事件」所缺乏的特質，也就是平衡過程是一致性的、同時的和持續進行的行動；並非有區別、具順序性或是具界線的事件(表1)。在 Ferrari & Chi(1998)的文章中，針對學生對天擇作用的素樸解釋作探討，發現學生可以使用正確的達爾文天擇原則解釋內容，則與使用「平衡」屬性間呈現正相關；若是其解釋為非達爾文式的原則，則與「事件」屬性呈正相關。平衡過程是一項學生較不熟悉的本體類別屬性，因此在學習過程中易將天擇系統上在過程本體內的概念，屬於平衡類別的概念錯置於事件類別上(黃佳杏，2007)。而事件與平衡過程的六項差異是使得學生對平衡本體類別較不熟悉，且在同一個本體類別的概念轉變顯得學習困難的主要原因。

(二) 體溫恆定作用與滿足限制條件的概念

體溫恆定作用是一個平衡的過程，經由上述表1，可以分析出五個體溫恆定作用在平衡過程的本體特質(徐毓慧，2001；黃佳杏，2007)：

1. 體溫恆定作用是單一行動：生物恆定性的整體形態是恆定系統內，構成要素共同作用的結果，這樣的結果使生物體內的心搏、呼吸、血糖濃度體溫、和離子的濃度維持在一定範圍，維持生命現象。
2. 體溫恆定作用是持續不斷發生的：體溫恆定系統是一套複雜的系統，由回饋機轉負責調控，反覆循環交互作用沒有終點。
3. 體溫恆定作用是同時發生的：體溫恆定作用在各系統的輸入(受器)和輸出(動器)相互引發與刺激，產生恆定作用的動態平衡，並非次序性發生的系統。
4. 體溫恆定作用是隨機發生的：體溫恆定作用的引發可以隨機由任何一個系統開始，沒有次序或因果關係。
5. 體溫恆定作用看似淨反應：體溫恆定作用在生物體僅可以觀察的生命現象穩定維持淨反應的結果。

體溫恆定相關的迷思概念

恆定迷思概念的來源，主要為學生常只看見恆定作用在人體的外在表現，加上在生活經驗中僅感受到平衡的最終結果，缺乏對體內微觀現象的覺察。而教學過程中，教科書僅能呈現靜態的結果，教師在教學中對於恆定作用的持續進行過程之說明與連結過少，都是讓恆定作用概念錯置於事件類別的主要原因(徐毓慧，2001；林陳涌、徐毓慧，2002；黃佳杏，2007)。在徐毓慧(2001)與黃佳杏(2007)的研究中，分析出學生在「體溫恆定作用」中常存在的恆定迷思概念包含下列類別：

1. 體溫不會改變：學生認為體溫與生命現象相關，所以不會改變。

2. 運動可以調節體溫，恆定會隨心跳加快而增加，體溫也會隨心跳加快而增加。體溫的調節來自血液的流動：學生認為血液在身體內流動產生熱能。
3. 流汗是身體排除廢物或毒素的作用。
4. 利用外在表現解釋恆定，缺乏恆定微觀現象及動態平衡的概念：對於恆定要維持的目標物混淆不清。

三、 研究方法

研究對象

為探討學生在學習過恆定作用後，對於體溫恆定作用的概念本體分類，參與研究的對象為五專已修習過高中基礎生物學、人體解剖學（含實驗）、人體生理學（含實驗）之學生共六位。為確保學生在學習過程中的學習成效良好，六位研究對象均為班級排名前 10 名（25%）之學生。在經由研究目的的解說過後，學生均願意且主動參與研究。

研究工具

研究工具為與體溫恆定作用相關之開放式作答題組，主要改編自徐毓慧（2001）對於學生恆定作用學習之研究，題組以情境問題為原則作設計，包含五個子題，每一子題的設計是依照探求學生對恆定作用的五個基本原則瞭解之解釋所設計。

研究程序與資料處理

參與研究學生在瞭解研究目的且願意參與研究後，給予每位學生 10 分鐘時間先理解體溫恆定作用題組內容，之後學生再針對每一子題內容做共 10 分鐘之晤談，學生在晤談過程必須對試題內容以及自己的作答，以所學過的恆定作用做預測與解釋，晤談過程均以錄音並輔以研究者之臨場筆記作詳盡的紀錄。

學生的晤談錄音經由轉檔後形成逐字稿，研究中所使用的編碼基模是依照 Chi(1998)對於天擇之素樸解釋之研究設計而來，首先將學生對於體溫恆定作用的解釋依照其所使用的原則作逐句的比對分析，接著，第二層的編碼則是檢視學生所使用解釋之本體分類。

四、 結果

恆定要素的使用與瞭解

由學生對體溫恆定作用的解釋與預測中一共分析出 75 個學生用來解釋說明的恆定作用要素（表 2），其中 47 個要素(63%)為清楚、明確的使用到恆定作用要素，其餘 28 個要素(37%)為學生只是隱約提及恆定的要素。

以各子題所引出的恆定要素次數作分析，可以發現第五子題「若醫生在大雄休息過後 30 分鐘再測一次體溫，身體的體溫調控會如何發生？大雄的體溫會如何改變？」所引出該題所要探測的要素最多（清楚提出要素：6），其次是第三子題「體溫恆定機制與腦幹體溫控制中樞、皮膚的血流、汗腺等因素相關，請問其作用的關係及機制為何？」所引出的要素數為次多（清楚提出要素：4；隱約提及：6）。

最後，再以學生所使用的要素次數分配做比較，發現學生最常用來解釋及預測之恆定原則依序為（以清楚提及次數多者為優先）：現象(21 次, 28%)、動態過程(21 次, 28%)、整體性(13 次, 17%)、物質與能量的維持(10 次, 13%)及維持生命現象所需(10 次, 13%)。

表 2：學生在恆定作用中所使用之解釋要素(N=75)

		恆定的要素				
問題		現象	物質與能量的維持	動態過程	整體性	維持生命現象所需
子題①	清楚	3	3	1	0	0
	隱約	2	1	1	0	1
子題②	清楚	6	3	2	0	0
	隱約	0	0	2	0	2
子題③	清楚	1	1	4	2	0
	隱約	0	0	2	4	3
子題④	清楚	2	1	4	2	1
	隱約	1	0	2	2	1
子題⑤	清楚	6	0	3	2	0
	隱約	0	1	0	1	2
清楚的提及要素		18	8	14	6	1
隱約的提及要素		3	2	7	7	9
總數		21	10	21	13	10

*灰底部分為該題所要探測的恆定要素

學生解釋類型的屬性

由學生的晤談資料中，可以分析出 48 個事件與平衡本體屬性的反應（表 3），其中 32 個反應為事件屬性，佔 67%；16 個反應為平衡（CBI）屬性，佔 33%。

在事件屬性中，學生最常使用的為「因果關係（21%）」，其次是認為恆定作用是具「目標導向（19%）」；在平衡本體屬性中，學生最常用以解釋的為「同時發生的(10%)」，其次為以「無界線的（8%）」模式做說明，而最不常使用到的為「一致性（4%）」及「隨機（4%）」的屬性。

表 3：學生解釋中所分析出的事件及平衡屬性比例(N=48)

事件	CBI
1.明顯的行動(10%) ①運動後流汗是因為體溫上升所以要散熱，是有目的性的。(2) ②散熱是散熱，維持是維持負責的機制（腦幹）(2) ③流汗是為了代謝廢物(1)	1.一致的(4%) 體溫本身有會維持恆定，大約維持在 36.5 度左右。體溫調控會循環，不會停，因為...這是人類奇妙的過程，不會停，體溫隨時再改變，所以不會停。(2)
2.有界線的(6%) ①體溫調節順序會循環發生，等溫度到 36.5 之後就會停了，除非在有一個刺激（如：體溫升高），才會再啟動機制。(3)	2.無界線的(8%) 體溫會回到 32 度，但是可能會有一些上下微幅變動。體溫調控是不會停的，一直在調控。(4)
3.序列的(10%) ①調節機制間是有次序發生的，由皮膚的血流先啟動，汗腺是最後的反應組織。(4) ②呼吸完才会有心跳，心跳完有呼吸才會流汗，是依次出現的關係，不不不，是心跳呼吸才會流汗。(1)	3.同時發生的(10%) 體溫調節機制是一起作用的。假如說原本已經排很多汗，就會感觸到皮膚的血流，就會告訴腦幹的中樞，告訴現在的體溫狀態，所以會是一種循環。會一直循環下去，因為我們會一直動，會一直到不同的環境中，所以會一直做調節。(5)
4.因果關係(21%) ①運動中體溫上升，所以刺激汗腺排汗，體溫下降，腦幹會下指令說，現在 OK 了，可以不排汗了。(5) ②因為排出大量水分，所以缺水要補水(4) ③運動後因為在休息，所以心跳慢慢降低，體溫會回到原本的平均處(1)	4.隨機(4%) 體溫調控機制會維持調控，一直維持在 36.5 度，身體在休息，身體的體溫調控中樞還是會一直調控，和剛剛的過程一樣，當調控到 36.5 時調控就不會那麼明顯，體溫會上下起伏，系統間一直作用，然後會一直調控（因為外界會有溫度改變）。(2)
5.目標導向(19%) ①運動後體溫會維持在 36.5 度。(5) ②體溫調控是一個循環，就到體溫下降為止，也就是達到目的（不再流汗）就停止。(4)	5.淨效應(6%) ①體溫調控機制不一定由誰（哪一個系統）開始，還是會有可能發生的順序改變，有可能是一起運作或是相互影響，尤其當身體溫度不在那麼高時（休息時），在排汗量就不會流那麼多，血流那麼快，這些都由腦部在控制。(2) ②體溫是因應外界環境去調節自己體溫，去平衡到自己可以適應的溫度，大約維持在 32 度。(1)

五、 討論

學生在學習許多的科學知識上是有困難的，學生總會以其自我的解釋去瞭解科學知識，不自覺的這種自我解釋就形成自我一套解釋科學的另有概念，與真正科學所要展現的概念越來越遠(Chi, 1998)。

(一) 恆定要素的使用與瞭解

本研究中之六位參與者皆已學習過國中小生物課程後進入五專學習，且已完成高中基礎生物、人體解剖學、人體生理學課程，具備較一般學生還要多關於人體生物學知識的學生，但是由研究結果可以看出，其對於人體體溫恆定作用的預測與說明仍有少部分(37%)無法清楚的使用恆定作用的要素作說明，且偏重於使用日常生活經驗或是舉例來做解釋。在清楚提及恆定要素的解釋中(47個要素，63%)仍有部分學生會誤用所學過的知識，造成雖清楚使用恆定要素，但是卻含有錯誤概念的情形，例如：當學生被問及「運動為何會流汗？」時，會過度的推論至「因為要排除運動時肌肉摩擦所產生的廢物....」，產生此類錯誤的原因可能來自於過多科學知識間片斷存在，相互間的聯繫不夠，或是對於教科書內容知識間僅是部分瞭解所造成的結果(Chi & VanLehn, 1991)。

在晤談過程中發現學生常將恆定系統的持續運作(動態過程)與生命現象的維持視為重要連結。據此想法，每位學生都會提及「人體溫度必須維持在36.5度左右」，將體溫恆定視為動態平衡的學生會認為體溫恆定系統是持續運作的；但將體溫恆定視為必須持續固定之學生，會認為恆溫系統的啟動代表生命面臨危急狀態，因此體溫恆定系統必須是在人體需要維持生命現象時才需要啟動，此類的另有概念在其他相關恆定系統的研究中沒有出現過，或許可以說明學生在學習過程中，因過於強調恆定現象，且學生在學習過後缺乏後設認知的覺知，才會產生此類的另有概念(Vosniadou, 1994)。

由學生在恆定要素的使用上來看，可以發現學生最常使用「現象」與「動態過程」做解釋與預測。但在晤談內容中可以發現學生對於「動態過程」的概念仍偏重於各器官或受器間的互動性，對於恆定系統的持續恆定概念提及較少。而「現象」與「回饋作用」正是在教科書中文本及圖示展示較多的部分，教科書中的說明也偏重在此兩項上，依據黃佳杏(2007)的研究結果，其利用Slotta & Chi(2006)對於突現(emergence)的研究結果融入生物恆定作用的教學中發現，在教學的開始先教授突現過程本體將會有助於此類概念的學習，讓學生對於整體恆定系統的學習之說明更具全面性。

(二) 學生解釋類型的屬性

六位參與研究學生中有三位在晤談過程中大部分的說明具有平衡本體屬性，其餘三位以事件屬性說明恆定現象。其中學生最常以「因果關係」的屬性來解釋恆定，而比例較高的原因是因為學生在說明時常使用到「因為.....所以.....」則易被歸為該屬性，雖已排除學生因為口語造成的原因，但此仍為學生最常用的說明屬性。此外，學生最不常使用的為「一致性」及「隨機」的屬性，此兩屬性多為複雜系統(complex system)中的概念，學生雖然持續在學習恆定系統，但是關於恆定，增加的僅是系統中的成分及名詞，而學習的結果仍是錯誤的解釋此類非線性的複雜系統，因此容易造成知識的零碎、對自然現象解釋的偏誤及未來在跨領域學習上的困難(湯偉君、邱美虹, 2007)。

六、 結論以及教學建議

恆定系統一直是生物學中重要的概念，學生由小學至中學甚至更高等教育的學習及不停的深入關於此概念的學習。本研究以六位學習過基礎生物學以及人體解剖學、人體生理學之學生為對象，發現學生對於恆定概念的解釋仍最常以「現象」及「回饋作用」，此類在教科書中最常見的方式做說明，無法說明恆定作用動態平衡的過程，顯見恆定作用是一個困難學習的單元。而學生對於恆定系統的「整體性」及「動態過程」較少提及，最主要的原因為學習過程中對於恆定現象的說明仍多於恆定過程，學習知識過於片斷、缺乏連結及缺乏以後設認知檢視學習成效的結果。

學生在恆定作用中其本體屬性大多為以事件類別屬性為主，且最常以「因果關係」來解釋恆定作用；在平衡本體類別中最缺乏的為「一致性」及「隨機」等具複雜系統及突現的概念，此類概念的缺乏可歸為教科書編寫時對於過於簡化，對於此類複雜系統的內容帶入缺乏，致使學生習慣以單一現象解釋及預測自然及人體中之過程。

科學概念多且繁雜，但更進階的學習中學生獲得的是更多的科學名詞，過度的簡化科學知識連結，使得學生無法窺得科學知識的結構全貌，造成學習困難。此時唯有透過教師教學以及評量方法的提升，才可幫助學生瞭解學習的架構以及建立合適的心智模式，而在提供新的學習材料之後，教師應該多注意學生在每一階段學習間的聯繫，以不至於讓學生在經由多重螺旋式學習後對於科學知識仍存有另有架構。

七、 參考文獻（部分）

Ferrari, M. & Chi, M. T. H.(1998). The nature of naïve explanations of natural selection. *International journal of science education*, 20(10), 1231-1256.

致謝：感謝邱美虹老師在課堂上的細心指導，使本文得以完整呈現。