

# 論自然科學教科書中關於「科學方法」表述的謬誤

劉湘瑤\* 廖英凱

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

## 摘要

本文旨在評論自然科學教科書中呈現以定律為終極形式、具步驟流程式的科學方法圖像，隱含諸多迷思，其既非真實科學活動的樣貌，亦不利於科學探究與科學本質的教學與學習。文中論述假設演繹推理模式的侷限，指出課本內容對實驗的狹隘定義，並舉例討論科學理論和定律兩種知識類型的特徵。作者繼而建議教材編寫應修正科學方法的教學內容，運用科學史或當代科學研究案例，透過適當的提問與反思，引領學生認識科學知識發展及其探究方法的特性。

**關鍵字：**科學本質、後實證主義、教科書

## 前言

檢視國民中學自然科學第一冊以及高中物理課本，幾乎所有版本的第一章都介紹了科學方法，那個章節除了文字敘述之外，也常伴隨一張具有步驟順序的流程圖。作者回憶起自己過去的學習經驗，如圖 1 的科學方法流程圖和「大膽假設、小心求證」的科學精神標語，曾經深深刻劃在我們腦海中。後續從事科學本質教學研究時，於民國 90 年訪談當時自然科學科系的師資生，發現他們也能清楚背誦且繪出圖中的內容。圖 1 曾出現在民國 85 年以前國立編譯館出版的國中生物教科書，隨著課

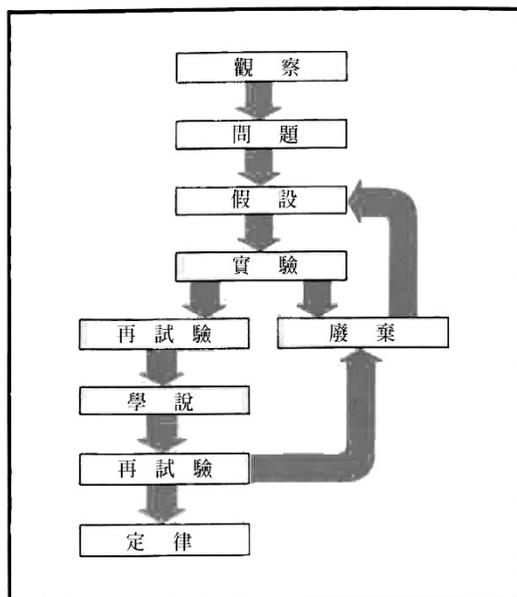
程標準變遷為課程綱要以及教科書版本開放，雖不再使用這張圖，但在許多版本仍保留類似的流程描述：觀察→問題→假設(說)→實驗→結果不成立時推翻假設(說)→重複驗證形成學說。此番具有一定程序的科學方法圖像，甚至重現在現行某版本高中生物教科書，介紹孟德爾遺傳法則的章節，將定律或法則視為科學方法流程的終極目標。

這個悠久的科學方法已受到後實證主義(post-positivism/post-empiricism)思潮的挑戰，認為此類單一科學方法與真實科學知識發展歷程相違背，徒增科學教學的困

---

\*為本文通訊作者

擾(林陳涌, 1995)。本文基於後邏輯實證的觀點，試以末代國編版的圖為例逐一論述流程步驟中的爭議。雖無意針對現行教科書版本進行系統性的內容分析，但確實可見現行教科書的編撰內容復刻了該圖像的部分概念，例如某 A 出版社之教師手冊，強調以實驗驗證假說，並在描述實驗時明確提及「實驗的對象必須分成實驗組和對照組」，限縮科學探究於單一的實驗方法。



圖一：國中生物(上冊)第一章我們的環境  
(國立編譯館，民國 85 年版本)

又如某 B 出版社教科書描述「有些假說經過多次實驗證實後會成為學說」，某 C 版本更提及「經多方實驗驗證，最終結論可成為學說，甚或成為定律或法則」。若從科學史角度深究教科書中記載的科學理論和定律的發展歷程，或以當代科學家從事的真實科學研究觀之，這個流程能否套用，確實值得商榷(Castillo, 2013)。

之所以存在上述科學方法的流程，是因其本質為「假設演繹」的推理模式(hypothetico-deductive reasoning, 以下簡稱 HD 模式)(林陳涌, 1995; 陳瑞麟, 2003)，又有中文翻譯為「假說演繹法」(張惠博、黃文吟、謝青龍, 2000)。其悠久的歷史可追溯自柏拉圖的對話中所使用的「假設法」(the method of hypothesis)，中世紀之後應用於科學上，即成為特定科學方法的代表(Nola, 2007)。後人更以哲學家 Karl Popper 的否證論為依據，將此推理過程以具有步驟性方式呈現，如從經驗中尋找問題，對問題提出暫時性的解釋，即圖 1 所示的「假設」，有些文本則使用「假說」(假設性的說法)一詞，然後進行實驗或觀察得出結論，以證實或否證該理論。美國的生物教師學會官方期刊，先後有生物學者撰文認為，要使生物學成為「科學」必須要使用 HD 推理形式(Lewis, 1988)，因為只有透過這種科學方法才能獲得有用的知識—可確定因果並做出可靠的預測(Lawson, 2000)。由此觀之，生物課本中會特別強調科學方法，除了是中學階段自然科學領域的入門課程，更可能是要凸顯「科學的」特性。

本文作者試圖批評以 HD 模式為基礎的科學方法之侷限，指出教科書以此簡化的科學方法圖像，在教學上可能傳達哪些錯誤訊息，尤其是這些步驟流程與真實科學探究活動的落差。另以教科書中的幾個理論(學說)與定律的案例探討科學知識發展的特徵，藉以評論科學方法的不當教學可能阻礙學生對科學本質的認識。

## 壹、假設演繹推理是科學發現的必要模式嗎？

假設演繹法是邏輯經驗主義的哲學觀，在過去兩個世紀的確受到廣泛的支持。許多當代重要科學理論或許是仰賴 HD 法被驗證或推翻，例如物理領域中，以太假說無法通過實驗的檢驗而被推翻，光子假說則持續透過理論推導和實驗的檢驗而成為量子理論。然而，有許多重要科學理論的問世過程無涉 HD 法，如達爾文的演化論。

對於科學實踐過程的典型描述是：人們(通常是指科學家)面對現象(或數據資料)需要尋求解釋，而從現有理論中推導出可檢驗的假設(hypothesis)，接著設計實驗以測試假設是否為真，已證實的假設被保留和再測試，被否證的則廢棄。此流程構成當代認定的「科學方法」的兩個要素——「形成假設」和「檢驗」(Mahootian & Eastman, 2012)。

美國生物教師期刊(*The American Biology Teacher*)五十週年特刊刊載一篇文章，是由一位長期關注科學教育的生物學者 Ralph W. Lewis 所撰述的，他有感於生物學長期被認為是描述性的科學，總是與大宗的分類學、形態學和自然研究有關，因此強調 HD 模式可拯救生物學成為理論科學(Lewis, 1988)。他續以哈維的血液循環理論為例，試圖解讀原始文獻中哪些陳述是假設(如：血液從心臟沿一個方向連續流動並流回心臟)，而當提出證據解釋並預

測時則是演繹的階段。另一位致力於科學史教學的生物學者 Anton E. Lawson 更進一步用「如果 if」...「然後 then」...「和/但是 and/but」...「所以 therefore」的論述邏輯，再次解析哈維的理論，甚至將此公式般的 HD 論述邏輯套用在地質學(萊爾的地質學原理)、物理學(楊氏干涉實驗)、化學(道爾吞的原子論)等案例，且將此論述邏輯設計成學習流程(Lawson, 2000)。

在後續的文章，Lawson (2002)又以伽利略的天文學論文《星際信使》(*Sidereus Nuncius*)中描述使用望遠鏡發現木星的衛星為例，主張「許多(如果不是全部)科學發現本質上都是假設演繹的」(p. 21)，延續先前的解析策略，他指出伽利略的論文至少有三個 HD 推理的循環。這篇文章立刻引起一位科學史哲學者 Douglas Allchin 的評論，用「鞋耙子」形容 Lawson 用特定的方法論錯誤解讀科學史案例(Allchin, 2002)。當從科學哲學的專業角度觀之，HD 推理架構是用來驗證想法，伽利略以自己發明的望遠鏡觀察天體，「並沒有使用 HD 模式預測木星的衛星，似乎也沒有使用演繹推理來產生假設」(Allchin, 2002, pp.317-318)。同樣在這個以刊登科學史哲與科學教學學術論文的期刊 *Science & Education*，Lawson (2003)再次撰文反駁，批評 Allchin 將科學發現視為盲目的尋找和歸納(induction)是古老的科學觀，強調 HD 思考邏輯才是科學，同時以孟德爾的遺傳實驗為例，引述知名演化生物學家 Ernst Mayer

的說法支持其觀點。

前述兩位學者的論戰圍繞在「科學發現」的方法。值得注意的是，科學哲學在討論方法論時，通常會區別「發現」(discovery)的脈絡和「驗證」(justification)的脈絡(Woodcock, 2014, p.2073)。發現的脈絡是指科學家腦中出現新的想法，而驗證的脈絡則是該想法如何被證實，因此，以 HD 模式為主的科學方法，是經由驗證而形成科學解釋。相對來說，發現的脈絡則主要是歸納推理的過程，從觀察的數據資料中找出規律，但也並非 Allchin 所述的盲目尋找，應該是基於問題而促發的探討過程。此外發現脈絡中還有溯因推理(abduction)，根據觀察結果提出多個可能的假設，從中得出最簡潔、合適的科學解釋(Mahootian & Eastman, 2012)。

由此來看，教學上呈現以假設驗證為主的單一科學方法，強調科學研究都要提出一個假設再透過實驗驗證，如此將僅限於驗證的脈絡。Woodcock (2014)指出這種簡化步驟式的方法流程，恐忽略一些可討論的問題，例如：需要有多少符合那一個假設的數據或證據才算通過驗證，使得該假設成立？假設的敘述是基於研究問題對可能的結果所做出的預測，還是為了得出因果關係的命題？根據 McPherson (2001)的觀察，科學實驗課堂中常常錯誤使用假設這個詞，許多生物科學領域的研究經常藉助統計工具探索觀察結果以尋找樣態(pattern)及其規律性，例如兩個地區生物

分佈的差異，有些計畫書使用假設一詞，其實實際上僅能視為統計假設，目的是對資料分析的預測(prediction)。持有類似圖 1 對科學方法的想像，則總以實驗作為驗證因果關係的必要步驟，但如前述生物分佈差異的研究，則是從觀察資料找出特徵或樣態(發現的脈絡)，而不是確定因果關係。因此，回到前述伽利略發現木星衛星的例子，伽利略自然不可能透過實驗來確認星體的因果關係，若要說伽利略提問它們是恆星、行星還是衛星是提出假設，也應該是預測而不是假設。

## 貳、科學活動始於客觀觀察嗎？

無論是圖 1 乃至於 108 課綱指引下的幾個版本教科書所描繪的科學方法，多由「觀察」開始，而且特別強調是透過感官或儀器進行客觀的觀察，例如某版本教科書描述：「觀察通常是科學方法的第一步，可利用感官或儀器進行觀察，必須客觀且注意安全」，在此描述中，科學方法之起始具有「客觀」與「觀察」兩個要件。

第一個要件的「客觀性」一向是科學權威的象徵，相對於其他學科容許基於個人價值信念的主觀論述，科學社群常以科學知識必須建構於客觀事實為準則，相信透過客觀地忠於事實，科學知識將逐漸接近真理(truth)。然而，我們有必要釐清所謂「主觀的」和「客觀的」形容詞在科學實踐中所指稱的對象。

教育部國語辭典簡編本對客觀一詞的釋義為：凡存於意識或精神之外者，以及

觀察事物的原貌而不摻入個人好惡成見。英國知名的科學史哲學家威廉·惠威爾(William Whewell)，是他創造了科學家(scientist)這個名詞，他曾在 1840 年的書中一個章節討論哲學上主觀和客觀的對立關係，他寫道：「心智(mind)是思想所固有的主體(subject)...因此一個人的知識中屬於他自己心智的那部分是主觀的(subjective)」；「人的能力和行為被運用於外在物體(objects)，所有的感覺也是從物體產生的...因此...從外在流入的部分是客觀的(objective)」；「正如在人對自然的思考中...他的知識中每一部分都存在著主觀和客觀的因素。」(Whewell, 1847, p.30)。Stamenkovic (2023)針對前述引文有深入的討論，也將人們對於科學中的客觀性所持有的概念整理成以下幾點：(1)客觀性是忠於事實；(2)程序的客觀性；(3)客觀性是不受科學之外(如社會、政治、經濟等)價值觀影響的自由；(4)客觀性是指免受個人或集體隱性或隱藏偏見的自由；(5)客觀性是科學界及其實踐的特徵(或稱社會規範)。

針對第一個概念—客觀性是忠於事實，乃預設世界上存在著原始的事實(brute facts)等待被發現、分析和系統化，這些事實被檢驗確定為科學事實的過程是不受到任何個人(科學家)特定視角所影響。這個概念連同第二點的程序客觀性早期受到科學哲學家如 Carl Hempel 和 Karl Popper 的擁護(Stamenkovic, 2023)，其中否證論和 HD 推理模式即與其相互呼應。然而，後邏輯實證主義提出兩個著名的問題批判了客

觀性的概念，即觀察是理論負載的(theory-laden)，以及證據對理論的不確定性。觀察若指的是透過感官獲取資訊者，確實無法完全獨立於人的心智活動之外，若指的是透過儀器量測以收集數據或資料，儀器本身也是人為了延伸其感知能力所設計出來的工具，仍是基於經驗和理論的產物。因此，科學事實的形成並非由外在物體自行揭露數據(如惠威爾對客觀的定義)，「而是在某種程度上是工具性、實驗性和理論性等的建構...只有當科學家在既有實驗和理論架構的幫助下闡述了研究觀點後，它們才能建立起來」(Stamenkovic, 2023, p.283)。

其次探討第二個要件「觀察」，當談論觀察的理論負載性，常以孔恩的《科學革命的結構》(Kuhn, 1962)第十章採用完形心理學(Gestalt psychology)的視角為依據，指出許多科學史案例中可見科學家們針對相同的觀察數據，當持有不同的理論觀點時，會形成不同的結論。其中經典的案例是天王星的發現，在 1690 年到 1781 年之間已有許多人透過望遠鏡觀察記錄到這顆星，並認定為恆星，直到赫歇爾(William Herschel)察覺其圓盤狀的不尋常和在恆星間移動，而試圖以彗星來解讀未果，隨後不久，雷克謝(Anders Lexell)才建議為行星。根據孔恩的論述，任何觀察都受到理論預設的影響，如質量或長度的觀察在古典力學和量子力學機制下有不同，而科學家覺知到要觀察什麼以及哪些觀察是有意義的，也取決於他們所從事的理論架構(典範)(Brewer & Lambert, 2001)。

觀察不只是用感官「看到」外在的事物，而是基於經驗基礎而有目的性的行為。若說孩童天生就是自然觀察家，是因為他們對周遭世界充滿好奇，則好奇和提問才是驅動觀察的來源。Eberbach 與 Crowley (2017)的研究指出，在植物園的戶外學習活動中，孩童能否針對昆蟲幫植物授粉 (pollination) 進行自然觀察，取決於指導者 (家長) 是否有充分的背景知識以營造出有意義的提示或對話，當孩童逐漸以科學概念理解自然現象時，直覺觀察就被更具選擇性、複雜性和理論驅動的觀察所取代。

以此反思教科書中的科學方法，既然科學知識的實證基礎源自於對自然世界的觀察，而觀察本身受限於我們的感知能力 (儀器裝置)，且受到理論 (已知) 所引發的問題所驅動，並框架哪些觀察可用於證實該知識 (Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998)。科學知識永遠不會像數學邏輯那般被證明為真 (proven) (Stamenkovic, 2023)，而是透過對自然世界的提問得到證實所形成的知識體系，因此可以被修正和改變 (暫時性)。更重要的是，科學教學應強調觀察進行時，是透過具有意義的提示、對話與問題的探究，以激發和引導出有意義的觀察，以及觀察資料是經過分析、解釋、多方檢驗成為支持假設/理論的證據，如此反而不需要將科學探究的起始點放在客觀中立的觀察。

## 參、實驗的意義

在科學方法流程中，實驗具有舉足輕重的地位，從中文語境來看，實驗一詞幾

乎等同於做科學。然而科學知識的產生，卻不必然仰賴實驗，實驗研究法僅是眾多研究方法中的一種，許多真實的科學研究採用了理論推導、觀察、調查、數據模擬等，都不是具有實驗組和對照組的實驗設計。

從實驗相關詞彙的歷史脈絡來看，實驗主要對應的英文字是 *experiment*，與經驗一詞有相同的字首，源自十四世紀中葉，字義包含了觀察、測試、試驗、證據或驗證。從事科學活動的空間稱為實驗室，其英文 *laboratory* 起源於中世紀拉丁文，原始的意義為勞動或工作的地方，十七世紀開始即特別指稱用於科學實驗的房間或建築物。因此單就詞彙的意義，教科書已然呈現了較狹隘的描述。

又依照 HD 架構，實驗是驗證假設、得出因果關係的必要步驟，著重於控制條件下進行測試，以證實已知的事實或檢驗假設的正確性。前述提及有實驗組與對照組的實驗設計，是多數國中教科書科學方法的章節中，用以驗證因果關係的研究設計，該段落會強調設計實驗時需考慮的變因包括控制變因、操作變因和應變變因，以確認實驗組和控制組的差異是受到操作變因的影響。然而，做為科學入門課程的生物科，在首章的課文內容中介紹上述的實驗時，即已無法兼顧以觀察為主的描述性研究 (如形態學、解剖學和分類學常用的研究方法)，也不包含探討變因之間關係的相關性研究，而這些被排除的研究方法，也並未在後續章節或教學階段被提取出來。

我們在日常口語對話中，的確常用實驗一詞代表各種有量測和試驗的流程或是一般探索性的活動，但在科學教科書中又將實驗定位在單一科學方法中的重要角色，賦予特定的意義，卻又缺乏足夠的案例可套用該定義，並操作那樣的設計流程。前言提及的生物科遺傳學單元，孟德爾的單性狀雜交實驗常被視為經典，因此我們試以國中學過的科學方法和設計實驗組和控制組的實驗研究法來分析孟德爾的實驗。在這個案例中，我們會特別提及孟德爾培養純品系是為了控制遺傳性狀在世代間達到一致性，再研究以不同性狀親代雜交後，其子代性狀的變化，透過人工授粉、培育、觀察記錄，從大量數據中得出了比例關係，而推導出生物性狀是由顯性和隱性遺傳因子決定。按此描述，孟德爾種植豌豆做雜交培育是為了驗證怎樣的假說？其操縱的變因為何？他有設計實驗組和控制組嗎？由上述這些提問檢視孟德爾的研究，顯然並不符合教科書科學方法章節介紹的實驗研究法。當我們再追溯孟德爾原始著作的標題<sup>1</sup>，他使用德文 *Versuche* 一詞，其原意應該是「試圖」或「嘗試」，內文中有時與 *Experimenten* 交錯使用，因此英文翻譯版本的標題則使用實驗一詞。教科書中強調單一科學方法並對實驗做出狹隘的定義，後續套用到所記載的歷史上科學研究案例時，將顯現出其中流程步驟的矛盾和不

合理。

McComas (1996)提出關於科學的十個迷思，「實驗是獲得科學知識的主要途徑」是其中的第九個，所舉的例子是天文學，赫赫有名的科學家如哥白尼和克卜勒，他們提出這個領域重要的知識並不是在實驗室透過實驗所能得到的。另一例是達爾文的演化論，若要論其採用的方法，大概只有大量觀察記錄、推測和歸納。因此，過度簡化成只有操縱性的實驗研究設計才是科學的方法與獲得科學知識的途徑，即會與科學史上的經典研究和當代前沿科學研究產生衝突。

#### 肆、理論（學說）與定律的關係

現行國中自然科學第一冊第一章的科學方法單元，描述「成為學說」為此流程的終點，尚有某版本教師手冊描述學說與定律的關係為「建立學說後，經過長久的測試與驗證才可再成為正確性更高的定律」，並舉化學的質量守恆定律和物理的牛頓運動定律為例，且提及生物學因範圍廣且物種包羅萬象，故有許多學說但形成定律者不多。此教師手冊內容呈現出科學理論（學說）與定律有先後的階層關係，強調定律才是絕對的正確知識，而生物科較缺乏這類知識。

在科學文本中，我們會用理論或學說對應英文的 *Theory*，定律則對應的是 *Law*，

1 孟德爾(Gregor Mendel) 1865年在自然歷史學會上宣讀的論文題目是 *Versuche über Pflanzenghybriden*，1901年英國生物學家 William Bateson 首次將孟德爾的論文翻譯成英文。可參閱 MendelWeb 網站(<http://www.mendelweb.org/>)。

有時會翻譯成法則或定則。本段後續內容將討論教材中如何處理這兩種科學知識類型，並針對學說與定律具有階層關係的觀點提出質疑。

我們先透過檢視課綱的學習內容條目特別明列了哪些理論/學說和定律/法則，概觀這兩類科學知識在各科目的分布狀況，此時也發現這些學習內容僅出現在高中學習階段。生物科提及的學說或理論包括：細胞學說、遺傳的染色體學說、達爾文的演化理論；加深加廣選修關於演化的次主題則包含生源說與無生源說的爭議和現代生物演化理論；屬於定律的僅有孟德爾遺傳法則。物理科學學習內容提及的學說或理論包括：光的微粒說和波動說、物質波理論、理想氣體動力論、光量子論、物質波理論等，另有許多則的定律如：克卜勒行星運動定律、牛頓三大運動定律、萬有引力定律、力學能守恆律、司乃耳定律、歐姆定律、必歐-沙伐定律、安培右手定則、法拉第定律等。化學科的科學理論有原子說、阿瑞尼斯的酸鹼學說、混成軌域與價鍵理論、碰撞學說等；屬於定律的條目如「CAa-Vc-2 道爾頓根據定比定律、倍比定律、質量守恆定律及元素概念提出原子說」，其呈現了一位科學家、三項定律與一個學說之間的關係；化學選修學習內容尚涵蓋赫斯定律、理想氣體三大定律、道耳頓分壓定律、拉午耳定律等。地球科學的

學習內容關於科學理論的描述有：「EHa-Vc-1 天文學家以太陽星雲學說來解釋太陽系的起源和形成...」、「EIa-Vc-1 科學家曾經提出大陸漂移、海底擴張和板塊構造等主要學說來解釋變動中的固體地球」，以及選修內容關於地心說和日心說的演進史，但沒有關於定律的內容。

以地球科學這兩項學習內容條目所示，課綱編寫者已清楚說明學說是用來解釋或推論某自然現象及其成因，而且有的是針對一現象有多個學說或理論。又以生物科的演化理論為例，教材中會呈現拉馬克的用進廢退說和達爾文的天擇說，做為解釋生物種類和特徵為何隨時間而演變的競爭理論，選修生物則會介紹整合族群遺傳學和分子生物學的現代演化綜論。化學科的原子說也是多理論的案例，教材裡除了介紹道耳頓提出原子說的各主要論點，也會強調原子說的修正歷程，介紹後續幾位科學家做了各種測試和觀察<sup>2</sup>(例如用 $\alpha$ 粒子撞擊金箔)所推導出不同的原子模型。

課綱中有關科學定律的學習內容，是以物理和化學為大宗，這類知識往往伴隨著數學方程式和精要的陳述。試以克卜勒行星運動定律為例，其中第三定律所對應的數學關係式是平均軌道半徑的立方等於公轉周期的平方，後人總是津津樂道克卜勒是如何從第谷(Tycho Brahe)留下的觀測資料，透過數學推導出兩組數據間的關係。

<sup>2</sup> 教科書多以實驗稱之，但此文已指出教科書對實驗的狹隘定義，故根據科學活動的性質稱之為測試和觀察。

眾人熟知牛頓第二運動定律的公式  $F=ma$ ，姚珩、楊艷玲與吳承宣(2023)從科學史和物理思維，精闢地介紹牛頓在 1684 年著作中推導和論證的歷程。翻閱牛頓的原始著作，所看到的是如數學幾何證明題般的定義、公理和假定，但未見有任何不斷做實驗和再試驗的跡象。據 McComas 所引述，牛頓自己曾強調定律和理論的不同：「...我無法從現象中發現引力具有這些特性的原因，也沒有提出任何假設...」（引自 McComas, 1996, p.55）。牛頓基於各項前提（如絕對的時間和空間）論證得出萬有引力定律，用以描述萬有引力的存在，但他不曾試圖解釋萬有引力的原因，也就是說牛頓並沒有致力於提出理論或學說。至此，我們已可明確指出在眾多經典科學研究中，其理論與定律之間並非圖 1 或某些現行教科書所呈現的先理論後定律的階層關係。

科學定律是用來描述可觀察現象間的關係及規律性，理化領域的定律多數可用於決定變項之間的關係(deterministic)，而生物領域的定律則屬於機率性的(probabilistic)。課綱中沒有明確列出，但在選修生物教材對應現代演化綜論關於族群遺傳學的章節會提及哈溫定律，算是除了孟德爾的遺傳定律之外，生物學上唯二的定律。哈溫定律是英國數學家哈代(Godfrey H. Hardy)和德國醫生溫伯(Wilhelm Weinberg)兩人各自提出的，又稱為遺傳平衡定律，教材中會用數學的合平方公式  $(p+q)^2=1$ ，描述一個理想族群(沒有演化的族群)在個體隨機交配後的等位基

因頻率和基因型比例保持平衡的狀態，公式中的  $p$  和  $q$  代表顯性和隱性基因的頻率。在孟德爾遺傳法則的單元，描述基因組合的比例關係，也是機率性的特徵。這些定律往往是基於理想狀態的前提，如真實族群不可能沒有突變和遷入、遷出且族群無限大，又如孟德爾以豌豆進行雜交，也恰好是理想的單一性狀素材，而實際觀察數據也是經過理想化的概算所得出的比例關係。縱然各學科中屬於定律的知識份量不同，不應認定是因生物領域龐大或生物物種多樣而有例外之故，而應該明示不同學科對現象之間的關係與規律各有其可接受的描述方式。

更值得注意的是，線性單向的科學方法圖像，會錯誤暗示定律是科學知識的終極形式。適當的理解定律這類的知識，是將定律視為在限制條件下描述特定現象的規則，因此並不是絕對不變的。在孟德爾 39 頁的論文中出現 law 這個字 17 次，依其前後文脈絡，這個字是用來表達一些預設的原則和各種規則性(如雜交、發育、組合和機率)。當然，科學理論不必然是定律的前身，反之，科學理論或學說本身也可解釋多個定律所描述的現象，如前述化學科編號 CAa-Vc-2 學習內容提到原子說所對應的三個定律(定比定律、倍比定律、質量守恆定律)，它們往往指引著更多的研究問題和方向，在科學發展進程上發揮著重要的作用(Lederman, Bartos, & Lederman, 2014)。再者，科學理論並非如此單純地透

過重複驗證而形成的。達爾文描述自己的演化理論著作《物種源始》是一個長篇大論(one long argument)，旁徵博引許多領域的概念知識以論證其學說。愛因斯坦的狹義相對論，是基於兩個基本假定：相對性原理和光速恆定原理，利用數學推導出用來解釋時間與空間關係的理論(Weinberg, 1995)。由此可見，科學理論(學說)和科學定律是兩類知識呈現方式，前者是解釋或推測現象的成因和機制，後者往往是用簡約的方式(如數學公式)描述規律性或特徵之間的關係。各學科中某些理論和定律發展過程有交互關聯，但並非階層關係。

## 伍、對認識科學本質的影響

在本文開頭，作者曾指出 108 課綱高中某版本生物教科書，在介紹孟德爾遺傳法則的單元時，特別以補充延伸知識的區塊闡述科學方法的步驟，最後強調遺傳法則的產生過程屬於科學方法，甚至以提問方式要求學生找出孟德爾的單性狀雜交實驗過程對應了科學方法的哪些步驟。Lederman (2004)在一篇專書篇章中，用粗體字標示這種具步驟式的科學方法是對科學探究的扭曲觀點，我們卻還將其描述成如演算公式般，期望學生記憶、背誦和遵循做為能成功進入科學的祕訣(p.309)。

對照 McComas (1996)文章所列對科學的十個迷思，除了前段曾引用過的第九個迷思「實驗是獲得科學知識的主要途徑」之外，這個不當的科學方法圖像直接呼應第三個迷思「有一種普遍且一體適用的科

學方法」。其餘本文討論到的迷思還包括：迷思一「假設變成理論再變成定律」的階層關係、迷思五「科學及其方法提供絕對的證明」、迷思八「科學家特別客觀」等。這些迷思代表的是一般大眾錯誤看待科學知識及其發展歷程的特性，而學校科學教材和教學活動則是助長這些迷思傳播的主要來源。翁秀玉與段曉林(1997)曾為文介紹科學哲學觀點的流變，最後提出五個問句討論不同科學本質觀對科學教學的影響，包括：「科學知識是否為真理」、「觀察是否絕對客觀」、「科學的探究方法是否是唯一的、到處適用的」、「產生科學知識的過程是否是客觀的」以及「科學活動是否會受社會的影響」(pp. 9-11)。他們指出，科學教學若採用這種一體適用的科學方法進行科學探究活動，將會特別強調按部就班遵照程序，形成食譜式的實驗操作，讓學生誤以為科學研究只是檢驗和證明的過程，而忽略創造力在科學探究的地位。

科學探究中的探究一詞指的是從問題到尋求解答的過程(劉湘瑤, 2016)，自然科學課綱新增自然科學探究與實作的學習內容，即是透過課程讓學生體驗如同科學家一般從事思考和探究活動進而產生科學知識的過程。課綱中學習表現不論是探究能力或科學的態度與本質，都揭示了科學探究是從察覺問題開始。科學探究可以有不同的形式，大致可分為描述性研究、相關性研究或實驗研究，端看所要探討的問題而定。Lederman (2004)認為哈維一開始對血液循環系統的研究是描述性研究，後續

才進一步探討解剖構造間相關性的問題，或根據心血管系統的模型設計操縱性的實驗研究。因此，單以「實驗」涵蓋所有的科學探究活動，使得教材裡的科學史案例無法被適當的描述，教學就落入削足適履的窘境，無法讓學生對科學本質有適當的認識。

## 陸、結論與建議

前文中引用愛因斯坦提出狹義相對論的例子，是諾貝爾物理學獎得主史蒂文·溫伯格(Steven Weinberg)在一場論壇的後記中寫道的。他認為愛因斯坦的工作為二十世紀的科學方法定下了新風格，強調衡量科學成功的標準會隨時間而變，因而增加科學哲學探討以及與大眾溝通「什麼是科學」的難度。他同時回想起與一位高中教師的對話，這位教師說道在課堂上他們試圖擺脫只教科學事實，而讓學生了解科學方法是什麼。然而，溫伯格卻回應：「我不知道科學方法是什麼」，他反問當大多數科學家們並沒有按照一套固定的科學方法從事研究，為何要教導學生所謂的科學方法，還不如將教學心力放在教導科學事實(Weinberg, 1995, p.8)。溫伯格的回應對科學教育者無疑是個當頭棒喝，卻也在當代教育觀點下顯得過於極端。相較於僅給予科學事實，若能讓學生體驗探索和建立科學知識的方法，更能達到科學教育的目標。

作者近年與中學教師對話過程中，發現教師們雖能理解科學方法的多樣和複雜，仍認為簡化步驟式的科學方法在教學實務上較易執行。然而，綜合以上論述，作者

必須強調類似圖 1 以定律為最終形式、簡化成步驟式的科學方法圖像傳達許多迷思，已違反課綱所著重的科學探究意涵：「科學探究是科學家們透過多種途徑對自然界進行的研究，並從證據提出解釋」(NRC, 1996; 引自劉湘瑤, 2016)。教科書中僅介紹單一科學方法更阻礙了學生學習科學本質重要面向，如：科學知識是暫時性的，以經驗證據為基礎，具有主觀性(理論負載)，是人類推理、想像力和創造力的產物，受到社會和文化因素的影響(Lederman, 2004)。此外，此一方法既不適用於科學史上的經典研究，也非今日科學研究的樣貌。

因此，未來教材設計可思考兩種不同的改革方向，一是能讓學生在自然科學學習歷程中，逐步建構出相對完整的科學方法圖像。例如，從科學史或當代科學研究案例，歸納出最常見/重要/必要的方法途徑有哪些？特徵為何？再依此設計編寫入自然科學各科教材中，讓學生循序漸進學習到如何透過多種方法途徑探討自然界的問題。此一改革路徑，需要對科學之學(science studies)與對今日科學研究有宏觀的理解，此為未來課綱發展應致力的基礎工程。

另一改革路徑為直接刪除此類表述科學方法的內容，或者教師必須明確強調此科學方法的片面與侷限，如前文提及許多版本的國中自然科學第一冊第一章第一節，提及科學方法時是以專節介紹類似圖 1 的線性流程。取而代之的是不以專節介紹單一科學方法，而是更建設性地思考教材編

寫和教學內容如何修正，才能符應課綱強調之科學探究與實作的內涵。若關心的是如何在科學入門課程引領學生認識科學知識發展及其探究方法的特性，國中自然科學第一冊第一章的教學確實是個重要時機，該單元的學習主題通常包括認識生命現象和生物體的基本單位，練習運用儀器延伸感官進行微觀世界的觀察，正式提供學生在實驗室裡從事科學實作(practices)<sup>3</sup>的體驗。此時的教學活動亟需示範科學探究是從問題出發，營造出吸引學生有興趣探討的問題情境，再學習操作顯微鏡做有意義的觀察。問題情境的布置可結合科學史例(劉湘瑤、王國雄，2015)，讓學生模擬科學家探索思考的歷程，學習運用儀器觀察收集與問題相關的資訊而找出答案。這也呼應林陳涌(1995)針對自然科實驗課堂教學所提出的建議，此教學的重點並非只有實驗操作與做出結果，而是使學生體驗解決問題的過程不能完全遵照固定的流程，其中有許多討論與協商的環節。換言之，科學方法的教學正如同科學哲學家 Paul Feyerabend 所主張的科學無政府主義「怎麼做都行」(anything goes)，重點不在教導學生有哪些科學方法，而是讓學生體驗真實的科學探究與實作過程，在教師適當的提問與引導反思之下，自行建構出科學方法的特徵。

## 柒、參考文獻

- 林陳涌(1995)。從經驗證據和科學理論之間的關係來探討自然科實驗教學的意義。科學教育月刊, 184, 2-16。
- 姚珩、楊艷玲、吳承宣(2023)。牛頓如何想出第二運動定律—由早期運動的原因到外力概念的出現。科學教育月刊, 460, 15-23。
- 翁秀玉、段曉林(1997)。科學本質在科學教育上的啟示與作法。科學教育月刊, 201, 2-16。
- 張惠博、黃文吟、謝青龍(2000)。Hypothetical Deductive Method 假說演繹法。賈馥茗(總編纂), 教育大辭書。  
<https://terms.naer.edu.tw/detail/ef439a07ba78d1ab849190e58a1c0550/>
- 陳瑞麟(2003)。台灣科學哲學的首航：殷海光的科學哲學。政治大學哲學學報, 10, 1-33。
- 劉湘瑤(2016)。科學探究的教學與評量。科學研習, 55(2), 5-11。
- 劉湘瑤、王國雄(2015)。以蘆葦發現史看博物學的探究歷程與知識發展特性。科學教育月刊, 382, 19-31。
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Allchin, D. (2002). Lawson's shoehorn, or should the philosophy of science be rated 'X'? *Science & Education*, 12, 315-329.
- Brewer, W. F., & Lambert, B. L. (2001). The theory-ladenness of observation and the theory-ladenness of the rest of the scientific process. *Philosophy of Science*, 68(3), S176-S186.
- Castillo M. (2013). The scientific method: a need for something better?. *American Journal of Neuroradiology*, 34(9), 1669-1671.

---

3 科學實作或可稱為科學實踐活動，此類教學應該是讓學生體驗如科學家在探討自然世界時所從事的活動，不應簡化為動手操作實驗。

- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. The University of Chicago Press.
- Lawson, A. E. (2000). The generality of hypothetico-deductive reasoning: Making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482-495.
- Lawson, A. E. (2002). What does Galileo's discovery of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery? *Science & Education*, 11, 1-24.
- Lawson, A. E. (2003). Allchin's shoehorn, or why science is hypothetico-deductive. *Science & Education*, 12, 331-337.
- Lederman, N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 301-317). Kluwer Academic Publishers.
- Lederman, N. G., Bartos, S. A., & Lederman, J. S. (2014). The development, use, and interpretation of nature of science assessment. In M. R. Matthews (ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 971-997). Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Mahootian, F. & Eastman, T. E. (2009). Complementary frameworks of scientific inquiry: Hypothetico-deductive, hypothetico-inductive, and observational-inductive. *World Futures: The Journal of New Paradigm Research*, 65(1), 61-75.
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10-16.
- McPherson, G. R. (2001). Teaching and learning the scientific method. *The American Biology Teacher*, 63(4), 242-245.
- Nola, R. (2007). The hypothetico-deductive method. In R. Nola & H. Sankey (eds.), *Theories of scientific method: An introduction* (pp. 170 - 184). Acumen Publishing.
- Stamenkovic, P. (2023). Facts and objectivity in science. *Interdisciplinary Science Reviews*, 48(2), 277-298.
- Weinberg, S. (1995). The methods of science... and those by which we live. *Academic Questions*, 8(2), 7-13.
- Whewell, W. (1847). *The Philosophy of the inductive sciences: Founded upon their history* (2nd Edition). London: J.W. Parker.
- Woodcock, B. A. (2014). "The Scientific Method" as myth and ideal. *Science & Education*, 23, 2069-2093.

投稿日期：112年11月24日

接受日期：113年03月27日

# Problems with the Expression of “The Scientific Method” in Science Textbooks

**Shiang-Yao Liu\* and Ying-Kai Liao**

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

## **Abstract**

In this article, we intend to critique the image of “The Scientific Method” presented in science textbooks, discussing the potential misconceptions it conveys. This image expresses the existence of the particular step-by-step scientific method with scientific laws as the ultimate knowledge. It neither represents the characteristics of authentic scientific activities nor is it conducive to the teaching and learning of scientific inquiry and the nature of science. The article comments on the limitations of the hypothetical-deductive reasoning model, points out the narrow definition of experiments presented in textbooks, and discusses the characteristics of two types of knowledge, scientific theories and laws, with examples. We urge that the simplified image of the scientific method needs to be amended. The design of teaching materials should make full use of examples from the history of science and contemporary scientific research, and guide students to understand the characteristics of the development of scientific knowledge and its inquiry methods through reflective questioning.

**Keywords:** nature of science (NOS), post-positivism, textbooks

---

\* corresponding author